UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE RIBEIRÃO PRETO

MARCO AURÉLIO VERSIANI

Avaliação do preparo biomecânico e da obturação de canais radiculares ovais promovidos pelos sistemas de instrumento único WaveOne, Reciproc e SAF

Ribeirão Preto
2012

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

MARCO AURÉLIO VERSIANI

**Avaliação do preparo biomecânico e da obturação de
canais radiculares ovais promovidos pelos sistemas de
instrumento único WaveOne, Reciproc e SAF**

Ribeirão Preto
2012

MARCO AURÉLIO VERSIANI

**Avaliação do preparo biomecânico e da obturação de
canais radiculares ovais promovidos pelos sistemas de
instrumento único WaveOne, Reciproc e SAF**

Tese apresentada a Faculdade de
Odontologia de Ribeirão Preto da
Universidade de São Paulo para a obtenção
do grau de Doutor em Ciências – Programa:
Odontologia Restauradora – Área de
Concentração: Odontologia Restauradora
(Opção: Endodontia)

Orientador: Prof. Dr. Manoel D. Sousa Neto

Ribeirão Preto
2012

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: 01/02/2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento da Informação do
Serviço da Biblioteca – EEC-USP**

Versiani, Marco Aurélio

Avaliação do preparo biomecânico e da obturação de canais radiculares ovais promovidos pelos sistemas de instrumento único WaveOne, Reciproc e SAF. Ribeirão Preto, 2012.

192p. : il.; 30 cm

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

Orientador: Prof. Dr. Manoel Damião de Sousa Neto

1. Odontologia. 2. Endodontia. 3. Dentes tratados endodonticamente. 4. Instrumentos rotatórios. 5. Obturação.

VERSIANI, M. A. **Avaliação do preparo biomecânico e da obturação de canais radiculares ovais promovidos pelos sistemas de instrumento único WaveOne, Reciproc e SAF.** 2012. 192 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Manoel Damião de Sousa Neto (Orientador)

Instituição: Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto FORP/USP

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

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

À minha **FAMÍLIA, Sinara Mendes Jacinto Versiani, Sofia Mendes Versiani e Bernardo Mendes Versiani**, razão única de minha existência, pela compreensão, paciência, carinho e amor, mesmo nos momentos das ausências inexoráveis ao longo desta etapa de formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao Grande Arquiteto Do Universo

Pelas experiências de vida, pelos momentos de crescimento pessoal e espiritual, pelas amizades que fiz e farei no transcorrer da minha passagem por este mundo e, em nome das quais, materializo esta etapa de minha vida acadêmica.

Aos meus pais, **Moacir Pinheiro Versiani** e **Maria José Versiani**

Por terem me feito Homem com princípios morais diferenciados, por compreenderem minhas ausências e estimularem minha vocação, propiciando-me todas as oportunidades educacionais para que eu seguisse com meus sonhos. Obrigado!

Ao Prof. Dr. Manoel Damião de Sousa Neto

Após tantos anos de convivência produtiva, mais do que professor e orientador, hoje sei que posso chamá-lo de amigo. Registro aqui meu sincero reconhecimento pela confiança em me aceitar novamente como seu orientado; pelas oportunidades diuturnas oferecidas a mim no decorrer de todos estes anos; pelo aprendizado profundo e embasado por seu exímio conhecimento e capacidade de gerenciamento; pelos conselhos e cuidado no trato com minha complexa personalidade. Obrigado pela orientação segura, pelo exercício contínuo do entendimento, e por ter descoberto e ampliado minhas potencialidades, sempre me estimulando e mostrando que se existem barreiras é justamente para que sejam vencidas. Muito obrigado!

Ao Prof. Dr. Jesus Djalma Pécora

“Como uma estrela que é reconhecida pela sua luz, cada ser humano pode ser reconhecido por aquilo que manifesta, por aquilo que emite” (Andretta & Andretta 2008). Obrigado por me aceitar sob o facho de luz de sua estrela que a cada dia se abrilhanta mais. Agradeço por me aceitar em seu Departamento e pela oportunidade da realização deste curso, pelas discussões filosóficas e pelo respeito a mim dispendido no decorrer destes anos.

À Profa. Dra. Vera Lúcia Resende

Responsável pelos meus primeiros passos no ensino e na pesquisa, ainda na graduação. Obrigado!

Ao Prof. Dr. Cássio José Alves de Sousa

Um dos maiores responsáveis pela minha formação técnica e docente. Você não me ensinou apenas como fazer, você me deu asas para voar. Obrigado pelas oportunidades e pela confiança de permitir que, durante 10 anos, eu pudesse auxiliá-lo na coordenação dos seus cursos de Endodontia na Associação Brasileira de Odontologia – Seção Uberlândia. Saiba que fiz o melhor que pude e espero ter contribuído um pouco com a concretização de seus sonhos. Sempre procurei me espelhar nas suas qualidades e, neste sentido, serei grato eternamente. Obrigado por tudo!

Ao Prof. Dr. Elizeu Álvaro Pascon

Minha maior inspiração. Seu amor e envolvimento com a arte da Endodontia me contagiaram desde a primeira aula que assisti há 13 anos. Você me acolheu na sua arte, na sua casa e no seio de sua família...sinto-me orgulhoso de poder chamá-lo de amigo. Com você aprendi que o mundo não tem fronteiras e que tudo depende de dedicação e comprometimento. Companheiro, levo seu nome comigo em todas as jornadas que fiz e farei...infelizmente ainda não foram criadas as palavras que representem a admiração que tenho por você. Assim, muito obrigado por todos os momentos que passei ao seu lado, aprendendo, aprendendo, aprendendo...

À Profa. Ms Graziela Bianchi Leoni

"Nenhum dever é mais importante do que a gratidão." Cícero. Querida Graziela, não há palavras que consigam expressar minha gratidão por sua colaboração neste trabalho. Você foi a extensão de meus sentidos no decorrer destes anos de trabalho. Muito obrigado por sua paciência, disposição e doação. Obrigado pela sua companhia, sua solidariedade e seu riso fácil mesmo nas situações de conflito e dificuldades pelas quais passamos. Parabéns por suas conquistas, pois tenho certeza que você terá um futuro brilhante. Saiba que poderá sempre contar comigo!

À Polícia Militar do Estado de Minas Gerais

Por ter acreditado e investido em minha formação profissional.

To Prof. Liviu Steier

I already had the opportunity to tell you in person how much I appreciate your friendship. It was a pleasure having you and Regina as my friends! Thank you very much for all support you gave me since we met. I'm sure that we will always cross our paths.

Ao Prof. Dr. Fuad Jacob Abi Rached-Junior

Sempre prestativo, atencioso e sereno, teve papel fundamental na realização deste trabalho. O destino providenciou para que nossos caminhos se cruzassem. Compartilharemos ainda muitos momentos juntos. Conte sempre comigo, meu amigo! Muito obrigado!

Aos colegas de Doutorado **José Estevam Vieira Ozório, José Antônio Brufato Ferraz e Frank Ikeda.**

Pela amizade contruída no decorrer destes anos, ajudando-me a superar a saudade de estar longe de casa. A amizade de vocês é um bem precioso que sempre levarei comigo!

Aos funcionários **Carlos Feitosa dos Santos e Reginaldo Santana da Silva,**

Pela amizade sincera, pelos conselhos oportunos e por nunca terem me negado sua ajuda. Que o Grande Arquiteto do Universo possa retribuir-lhes com saúde e união em suas famílias.

AGRADECIMENTOS

À **Profa. Dra. Yara Teresinha Corrêa Silva Souza**, coordenadora do programa de pós-graduação da Universidade de Ribeirão Preto, pelo carinho, amizade e confiança em manter as portas sempre abertas para me receber.

Ao **Prof. Dr. Gustavo André de Deus Carneiro Vianna**, pela confiança, contribuição intelectual e oportunidades oferecidas no transcorrer desta caminhada acadêmica. Por me mostrar que nenhuma verdade deveria ser imposta a outrem e nenhum conhecimento deveria ser exposto de forma fechada e definitiva. Obrigado, amigo!

À **Profa. Dra. Débora Fernandes Costa Guedes**, técnica do Laboratório de Gerenciamento de Resíduos Químicos da FORP/USP, pela tranquilidade e pelos momentos de aprendizado que tive.

À **Cláudia Aparecida Rodriguês**, técnica do Laboratório de Microscopia Eletrônica da FCAV-UNESP Jaboticabal, pela atenção e profissionalismo na realização da aquisição das imagens de microscopia eletrônica de varredura.

Aos colegas doutores e mestres **Homero Casonato Júnior, Cid Manicardi, Marcus Vinícius de Melo Ribeiro, Kleber Campioni Dias, Fábio Heredia Seixas e Rodrigo Gonçalves Ribeiro**. Obrigado pelo companheirismo e respeito no transcorrer destes anos de convivência.

Às funcionárias do Departamento de Odontologia Restauradora da FORP-USP, **Maria Amália Viesti de Oliveira, Maria Izabel Cezário F. Miguel, Rosângela Angelini**, às secretárias da Secção de Pós graduação da FORP-USP, **Isabel Cristina Sola e Regiane Moi Sacilotto**, e à técnica do laboratório de Endodontia da FORP-USP **Luiza Godoi Pitol**, pela convivência, atenção, carinho e disponibilidade em ajudar.

À **Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo** e ao **Departamento de Odontologia Restauradora**, pela oportunidade de realização do curso de Doutorado.

À **CAPES** – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – pela ajuda financeira necessária à realização do curso de Doutorado.

À **FAPESP** – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – por acreditar neste projeto de pesquisa e viabilizar os recursos financeiros necessários para a aquisição do microtomógrafo.

*Nenhuma descoberta cria coisas novas, pois que tudo já existe;
apenas estabelece novas relações entre as coisas, dando-lhes mais significado*

Pietro Ubaldi

RESUMO

VERSIANI, M. A. **Avaliação do preparo biomecânico e da obturação de canais radiculares ovais promovidos pelos sistemas de instrumento único WaveOne, Reciproc e SAF.** 2012. 192 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.

O objetivo deste estudo *ex vivo* foi avaliar o preparo biomecânico e a obturação de canais radiculares ovais utilizando os sistemas ProTaper, WaveOne, Reciproc e Self-Adjusting File. Com esta finalidade avaliou-se: 1) área, perímetro, circularidade, diâmetro maior, diâmetro menor, área de superfície, volume e SMI após o preparo biomecânico, por meio de microtomografia computadorizada (μ TC); 2) percentual volumétrico de espaços vazios após a obturação do canal, por meio de μ TC; 3) resistência de união (RU) e tipo de falha ocorrida após teste de *push-out*, e 4) a interface dentina/material obturador em microscopia eletrônica de varredura (MEV). Cem caninos inferiores humanos foram escaneados no microtomógrafo SkyScan 1174v.2. Após o preparo do terço cervical dos canais, os dentes foram distribuídos em 4 grupos ($n=25$), de acordo com o sistema usado no preparo biomecânico: ProTaper; WaveOne; Reciproc; Self-Adjusting File (SAF). Após a segunda μ TC, 18 espécimes de cada grupo foram redistribuídos em dois grupos ($n=9$), de acordo com a técnica de obturação: Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação e técnica recomendada pelo fabricante. Os sete espécimes restantes de cada grupo constituíram os grupos controle negativo e positivo. Após a μ TC dos espécimes obturados, as raízes foram seccionadas transversalmente em fatias de 1 mm de espessura correspondentes às regiões cervical, média e apical. A RU foi avaliada pelo teste de *push-out* e as falhas após desunião observadas em microscópio digital. Após preparo para MEV, avaliou-se a interface adesiva de forma qualitativa nominal e ordinal pelo estabelecimento e determinação de escores. No conjunto, a análise dos parâmetros avaliados no preparo biomecânico mostraram que as alterações mais significativas ocorreram nos grupos ProTaper e WaveOne. Os resultados no grupo Reciproc ficaram em um nível intermediário, enquanto as menores alterações foram observadas no grupo SAF (ANOVA, $p<0,05$). Em relação à obturação, a Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação apresentou menor percentual volumétrico de espaços vazios que a técnica recomendada pelo fabricante apenas no terço cervical (Kruskal-Wallis, $p<0,05$). Após o teste de *push-out*, a análise das médias indicou RU (MPa) significativamente maior nos espécimes obturados pela técnica do fabricante em comparação com a Técnica Modificada de Onda Contínua de Condensação (teste *t* para amostras independentes, $p<0,05$). Em todos os grupos foi verificado maior percentual de falhas adesivas, com predominância de falhas mistas na técnica do fabricante e de falhas adesiva na dentina na Técnica Modificada de Onda Contínua de Condensação. Em MEV, não houve *tags* na maioria dos espécimes obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação e quando presentes, eram pequenos e irregularmente distribuídos. Nos espécimes obturados pela técnica recomendada pelo fabricante observou-se formação de *tags* longos e bem distribuídos, principalmente no terço apical (teste de Friedman, $p<0,05$). Concluiu-se que todos os sistemas resultaram em alterações nos parâmetros bidimensionais e tridimensionais do canal após o preparo biomecânico; a técnica recomendada pelo fabricante resultou em maior volume de espaços vazios no terço cervical e maior RU do material obturador do que a Técnica Modificada de Onda Contínua de Condensação.

ABSTRACT

VERSIANI, M. A. **Evaluation of biomechanical preparation and obturation of oval canals using WaveOne, Reciproc and SAF single-file systems.** 2012. 192 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.

The purpose of this *ex vivo* study was to evaluate the biomechanical preparation and obturation of root canals using ProTaper, WaveOne, Reciproc and Self-Adjusting File systems. It was evaluated: 1) area, perimeter, roundness, major diameter, minor diameter, surface area, volume and SMI after biomechanical preparation, using microcomputed tomography (μ TC), 2) percentage volume of voids in the obturation material by means of μ TC, 3) bond strength (BS) and type of failure after the push-out test, and 4) the analysis of the interface dentin / filling material using scanning electron microscopy (SEM). One-hundred human mandibular canines were scanned in the SkyScan 1174v.2 device. After preparing the coronal third of the canals, the teeth were divided into 4 groups (n=25), according to the biomechanical preparation system used: ProTaper, WaveOne, Reciproc, and Self-Adjusting File (SAF). After the second μ TC, eighteen specimens of each group were assigned to two groups (n=9), according to the obturation technique: the Modified Continuous Wave of Condensation Technique and the technique recommended by the manufacturer. The remaining seven specimens of each group were used as negative and positive controls. After scanning, the obturated specimens were sectioned perpendicularly to its long axis into 1-mm slice thickness of the coronal, middle and apical thirds. The bond strength (BS) was performed by the push-out test and, after dislodgments, the failures were observed in a digital microscope. The specimens were processed for SEM analysis to observe bonding interface formation and resin tag density using a four-step scale method. Overall, the analysis of the biomechanical parameters showed that the most significant changes in the root canal occurred in the ProTaper group and WaveOne groups. Reciproc results were in an intermediate level and smaller changes were observed in the SAF group (ANOVA, $p < 0.05$). In the coronal third, the Modified Continuous Wave of Condensation Technique showed a lower percentage volume of voids than the technique recommended by the manufacturer (Kruskal-Wallis test, $p < 0.05$). After the push-out test, the analysis indicated the mean BS (MPa) was significantly higher in specimens filled by the manufacturer's technical than the Modified Continuous Wave of Condensation Technique (*t* test for independent samples, $p < 0.05$). The adhesive failures were frequent in all groups. The Modified Continuous Wave of Condensation Technique showed the highest percentage of adhesive failure in dentin while in the technique recommended by the manufacturer, mixed failure was predominant. Overall, in SEM analysis, no tags were observed in most of the specimens filled by the Modified Continuous Wave of Condensation Technique. When present, they were small and irregularly distributed. The specimens filled by the technique recommended by the manufacturer showed long and well-distributed tags, especially in the apical third (Friedman test, $p < 0.05$). It was concluded that all systems promoted root canal changes after the biomechanical preparation, the obturation technique recommended by the manufacturer resulted in a higher volume of voids in the coronal third and BS of the Modified Continuous Wave of Condensation Technique group.

SUMÁRIO

Introdução.....	1
Proposição.....	15
Materiais e Métodos.....	19
Parte 1. Avaliação microtomográfica do preparo do canal radicular.....	31
Parte 2. Avaliação microtomográfica do percentual volumétrico de espaços vazios após a obturação.....	40
Parte 3. Avaliação da resistência de união ao cisalhamento por extrusão.....	54
Resultados.....	63
Parte 1. Avaliação microtomográfica do preparo do canal radicular.....	69
Parte 2. Avaliação microtomográfica do percentual volumétrico de espaços vazios após a obturação.....	83
Parte 3. Avaliação da resistência de união ao cisalhamento por extrusão.....	90
Discussão.....	101
Parte 1. Avaliação microtomográfica do preparo do canal radicular.....	103
Parte 2. Avaliação microtomográfica do percentual volumétrico de espaços vazios após a obturação.....	115
Parte 3. Avaliação da resistência de união ao cisalhamento por extrusão.....	123
Considerações Finais	131
Conclusões.....	139
Referências.....	143
Anexos.....	169
Apêndices.....	179

/INTRODUÇÃO

O conhecimento da morfologia do sistema de canais radiculares (SCR) é um dos pré-requisitos para se atingir os objetivos do preparo biomecânico: a completa remoção do tecido pulpar, dos microrganismos e da dentina infectada, além da modelagem adequada (SCHILDER, 1974), propiciando condições ideais para o selamento da cavidade pulpar e reparo dos tecidos periapicais (SIQUEIRA, 2005; METZGER et al., 2010c; HARGREAVES; COHEN, 2011). Estes conceitos tridimensionais de limpeza e modelagem, bem como da obturação hermética e tridimensional do SCR, postulados há cerca de quatro décadas (SCHILDER, 1967, 1974) revolucionaram o enfoque eminentemente germicida e medicamentoso vigentes à época, lançando as bases da endodontia contemporânea (HÜLSMANN et al., 2005).

Até o início da década de 1990 o preparo do canal radicular era realizado utilizando-se principalmente técnicas manuais com instrumentos confeccionados em aço inóx (THOMPSON, 2000; MORTMAN, 2011). Tal abordagem tornava-se especialmente complexa quando consideradas as limitações destes instrumentos no preparo de canais ovais, atrésicos ou curvos (WEIGER et al., 2002; VERSIANI et al., 2011a), podendo levar a acidentes operatórios e comprometer o prognóstico do tratamento (DE ALENCAR et al., 2010; PANITVISAI et al., 2010).

Após décadas sem inovações significativas, os primeiros protótipos de limas manuais fabricadas com uma liga de níquel-titânio (NiTi) foram testados por WALIA et al. (1988). A utilização desta liga para a confecção de instrumentos endodônticos havia sido sugerida previamente em razão das propriedades de memória de forma e superelasticidade (CIVJAN et al., 1975). O efeito memória de forma está relacionado à capacidade de uma liga metálica recuperar sua forma original pelo seu aquecimento acima de uma determinada temperatura. A superelasticidade, por sua

vez, é uma propriedade do efeito memória de forma, na qual a temperatura final de transformação reversa é menor ou próxima da temperatura de deformação. Desta maneira, o retorno da forma original acontece logo após a interrupção da deformação e a retirada da carga, sem a necessidade do aquecimento (CIVJAN et al., 1975; THOMPSON, 2000; BAUMANN, 2004). Com o advento desta liga, surgiram novos instrumentos que, em razão de sua maior flexibilidade e resistência à torção, tornou possível seu emprego em movimento de rotação contínua (BAUMANN, 2004; GUTMANN; GAO, 2012), reduzindo-se o tempo de trabalho, a fadiga do operador (MORTMAN, 2011) e o risco de acidentes operatórios (RUDDLE, 2003; VERSIANI et al., 2008; YOU et al., 2011; BÜRKLEIN et al., 2012).

Com a liga de NiTi foram desenvolvidos instrumentos com variadas conformações geométricas (THOMPSON, 2000; BAUMANN, 2004; PETERS; PAQUÉ, 2010; GUTMANN; GAO, 2012). Dentre as alterações mais significativas, a conicidade, que representa a medida de aumento do diâmetro da parte ativa a cada milímetro a partir de sua ponta, passou a diferir do padrão de 0,02 mm previamente estabelecido (ANSI/ADA, 1976, 1982). O conceito de conicidade avançou posteriormente com o desenvolvimento dos instrumentos ProTaper (Dentsply Maillefer, Baillagues, Suíça), aonde a parte ativa de secção triangular convexa passou a apresentar conicidades múltiplas e progressivas. Este sistema era constituído de três instrumentos usados para a modelagem do SCR (SX, S1 e S2) e três instrumentos para o acabamento do preparo (F1, F2 e F3) (CLAUDER; BAUMANN, 2004; BAUMANN, 2005; RUDDLE, 2005; VERSIANI et al., 2008).

Como o instrumento mais calibroso deste sistema detinha 0,30 mm de diâmetro na base da guia de penetração, o preparo de canais com maiores dimensões dependeria do emprego de outros instrumentos ou permaneceriam

subinstrumentados (PAQUÉ et al., 2009a; PAQUÉ et al., 2010a). Além disso, a maior rigidez dos instrumentos de acabamento, em razão de sua maior conicidade, limitava seu emprego em raízes curvas e achatadas, aumentando o risco de fratura e perfuração (BERGMANS et al., 2003; PETERS et al., 2003; OZGUR UYANIK et al., 2006; MAHRAN; ABOEL-FOTOUH, 2008; GEKELMAN et al., 2009). Para superar estas limitações, a secção transversal dos instrumentos mais cônicos e o ângulo de transição entre a ponta e a parte ativa foram alterados (WEST, 2006). A associação destas modificações com a inserção de dois instrumentos mais calibrosos, denominados F4 e F5, deram origem ao sistema ProTaper Universal (AGUIAR et al., 2009a; AGUIAR et al., 2009b; DA SILVA et al., 2009; DE-DEUS; GARCIA-FILHO, 2009; UNAL et al., 2009; DE-DEUS et al., 2010; DE ALENCAR et al., 2010; KUNERT et al., 2010; GAO et al., 2011; OUNSI et al., 2011; OZER, 2011; VIEIRA et al., 2011; YANG et al., 2011).

Apesar do impacto resultante do desenvolvimento dos instrumentos rotatórios de NiTi na endodontia (PÉCORA; CAPELLI, 2006), a complexidade anatômica do SCR continuava a ser um fator limitante durante o preparo biomecânico (PETERS et al., 2001a; GLUSKIN, 2007), favorecendo a permanência de remanescentes teciduais e bacterianos em istmos, reentrâncias e ramificações, especialmente em canais ovais, achatados ou curvos (BARBIZAM et al., 2002; BARATTO-FILHO et al., 2004; SASAKI et al., 2006; PAQUÉ et al., 2009b; SOMMA et al., 2009; FORNARI et al., 2010; ADCOCK et al., 2011; ENDAL et al., 2011; PAQUÉ et al., 2011; VERSIANI et al., 2011a; MARKVART et al., 2012; PAQUÉ et al., 2012; PARANJPE et al., 2012). Nestas condições anatômicas, os sistemas rotatórios não têm sido capazes de promover um preparo adequado, deixando um percentual significativo da área de superfície do canal sem sequer ser tocada (BARBIZAM et al., 2002; PETERS et al.,

2003; AGUIAR et al., 2009b; DE-DEUS; GARCIA-FILHO, 2009; DE-DEUS et al., 2010; FORNARI et al., 2010; METZGER et al., 2010c; PETERS et al., 2010; SIQUEIRA et al., 2010; DE-DEUS et al., 2011b; OUNSI et al., 2011; OZER, 2011; PAQUÉ; PETERS, 2011; VERSIANI et al., 2011a; YANG et al., 2011; PARANJPE et al., 2012; SOLOMONOV et al., 2012).

Uma tentativa de superar as limitações impostas pela complexidade anatômica surgiu com o desenvolvimento do instrumento Self-Adjusting File (SAF) (Redent-Nova Inc., Ra'anana, Israel) (METZGER et al., 2010b). A SAF foi criada com a proposta de preparo do canal com um único instrumento e está disponível nos diâmetros de 1,5 e 2,0 mm. Sua estrutura compreende um *design* revolucionário: um corpo oco, compressível, de paredes finas, compostas por uma delicada treliça de NiTi recoberta por uma camada abrasiva. Sua ação promove o desgaste uniforme da dentina pelo movimento vibratório (3000 a 5000 vibrações por minuto) de baixa amplitude (0,4 mm) promovido por um aparato específico, resultando em um canal com secção transversal similar ao original, mas com dimensões ligeiramente maiores (HOF et al., 2010; METZGER et al., 2010a; METZGER et al., 2010b).

Apesar dos estudos demonstrarem que a limpeza, a desinfecção e a modelagem do SCR com a SAF foram significativamente melhores que com os sistemas rotatórios (METZGER et al., 2010c; PETERS et al., 2010; SIQUEIRA et al., 2010; ADIGUZEL et al., 2011; ALVES et al., 2011b; DE-DEUS et al., 2011b; KAYA et al., 2011; PAQUÉ; PETERS, 2011; PETERS; PAQUÉ, 2011; SOLOMONOV, 2011; VERSIANI et al., 2011a; BÜRKLEIN et al., 2012; GUTMANN; GAO, 2012; PAQUÉ et al., 2012; PARANJPE et al., 2012; YOLDAS et al., 2012), este instrumento também não foi capaz de preparar toda a área de superfície das paredes dentinárias, evidenciando a influência da complexidade anatômica no preparo biomecânico.

Mais recentemente foram lançados os sistemas WaveOne (Dentsply Maillefer, Baillagues, Suíça) e Reciproc (VDW GmbH, Munique, Alemanha), também baseados no conceito de preparo biomecânico com instrumento único (YARED, 2008). Estes instrumentos são fabricados com a liga M-Wire, desenvolvida por um processo especial de tratamento térmico, e apresentam maior flexibilidade e resistência à fadiga cíclica que a liga convencional de NiTi (KIM et al., 2012; PEREIRA et al., 2012; YE; GAO, 2012). Sua parte ativa apresenta conicidade variada que diminui progressivamente até o intermediário. No sistema Reciproc, a secção transversal em formato de “S” ocupa toda a parte ativa do instrumento, enquanto no sistema WaveOne ela varia, com a presença de superfície radial na ponta e que se modifica até o formato triangular convexo próximo ao intermediário. Cada sistema é constituído por três instrumentos indicados de acordo com as dimensões do canal radicular. No sistema WaveOne tem-se os instrumentos 21.06, 25.08 e 40.08 e, no sistema Reciproc, os instrumentos 25.08, 40.06 e 50.05 (BERUTTI et al., 2011; BERUTTI et al., 2012; BÜRKLEIN et al., 2012).

A dinâmica de movimento destes instrumentos, denominada recíprocante, consiste basicamente em rotação no sentido anti-horário (direção de corte) seguido de uma rotação menos ampla no sentido horário (direção de liberação do instrumento), favorecendo sua movimentação de forma contínua e progressiva em direção apical (YARED, 2008). Os ângulos de rotação, a velocidade e o torque variam entre os instrumentos e estão programados automaticamente nos motores de cada sistema (BÜRKLEIN et al., 2012). Segundo alguns autores, o movimento recíprocante poderia, em teoria, eliminar os riscos de fratura por torção, uma vez que o instrumento não estaria mais sujeito aos níveis de estresse causados pelo movimento rotatório contínuo (THOMPSON, 2006; YARED, 2008; VARELA-PATINO

et al., 2010). Até o momento, os estudos disponíveis têm mostrado que, em comparação com os sistemas rotatórios, os sistemas Reciproc e WaveOne apresentaram similaridades quanto à remoção de debris e da camada de *smear* (BÜRKLEIN et al., 2012), sendo capazes de manter o eixo original de canais curvos durante o preparo biomecânico (BERUTTI et al., 2011).

Com exceção da SAF, os fabricantes dos instrumentos ProTaper Universal, WaveOne e Reciproc ampliaram o conceito de “sistema” relacionando as etapas de preparo e obturação do SCR. Nesta abordagem, o material obturador sólido é produzido com as mesmas dimensões dos instrumentos, otimizando o procedimento obturador (WEST, 2006; WEBBER et al., 2011). Assim, os sistemas de instrumento único se apresentam como alternativa interessante, pois, em princípio, sua conformação geométrica e a cinemática de trabalho facilitariam estas complexas etapas do tratamento endodôntico.

Dentre os modelos experimentais disponíveis para se avaliar o preparo biomecânico e a obturação do SCR em dentes humanos merecem destaque o uso de imagens radiográficas (GUTMANN et al., 1993; KARABUCAK et al., 2008), a diafanização (AYHAN et al., 1996; VENTURI, 2006) e o corte seriado da raiz utilizando-se o sistema de muflas ou suas variações (JUHLIN et al., 1993; HÜLSMANN et al., 2005; EPLEY et al., 2006). Em relação à avaliação radiográfica, apesar de ser um método rápido e que não compromete a estrutura física do espécime, tem como principal limitação a análise do canal radicular em apenas duas dimensões (FAN et al., 2008; DE ALENCAR et al., 2010; KUNERT et al., 2010). O sistema de muflas, por sua vez, permite a avaliação de diversos parâmetros em uma mesma região do canal (BRAMANTE et al., 1987). Entretanto, assim como a radiografia, permite apenas a análise bidimensional (DOWKER et al., 1997),

consumindo tempo excessivo no seu preparo e produzindo alterações irreversíveis na amostra (HÜLSMANN et al., 2005; JUNG et al., 2005; PAQUÉ et al., 2005a; TAŞDEMİR et al., 2005).

As primeiras reconstruções tridimensionais do canal radicular só foram possíveis por meio da interpolação digital de imagens bidimensionais após o desenvolvimento dos recursos computacionais (BERUTTI, 1993; BLAŠKOVIĆ-ŠUBAT et al., 1995; BJØRNDAL et al., 1999; LYROUDIA et al., 2002). Porém, assim como no sistema de muflas, o dente precisava ser seccionado e, com isto, parte da amostra se perdia, impedindo sua análise completa (HÜLSMANN et al., 2005).

Uma solução para a avaliação tridimensional não destrutiva do SCR surgiu com a disponibilidade do uso da tomografia computadorizada e da ressonância magnética em procedimentos experimentais (TACHIBANA; MATSUMOTO, 1990; BAUMANN; DOLL, 1997). Apesar do avanço, seu alto custo e a geração de imagens pouco definidas limitaram seu uso (TAŞDEMİR et al., 2005; VERSIANI et al., 2008; PASTERNAK-JÚNIOR et al., 2009; GERGI et al., 2010). Posteriormente, o desenvolvimento da microtomografia computadorizada (μ TC), a partir do tomógrafo convencional, permitiu maior precisão na avaliação do SCR (GAMBILL et al., 1996; DOWKER et al., 1997; PETERS et al., 2000; ALENCAR et al., 2008).

Atualmente, a nova geração de aparelhos de μ TC conectados a computadores de alta performance e utilizando programas específicos tem permitido avaliar de forma precisa e não-invasiva a anatomia, o preparo e a obturação do SCR (NIELSEN et al., 1995; RHODES et al., 1999; PETERS et al., 2000; RHODES et al., 2000; BERGMANS et al., 2001; PETERS et al., 2001a; PETERS et al., 2001b; BERGMANS et al., 2002; HÜBSCHER et al., 2003; PETERS et al., 2003; PETERS, 2004; JUNG et al., 2005; PAQUÉ et al., 2005a; PAQUÉ et al., 2005b; GAO et al.,

2006; LEE et al., 2006; PLOTINO et al., 2006; LOIZIDES et al., 2007; CHEUNG; CHEUNG, 2008; FAN et al., 2008; GRANDE et al., 2008; HAMMAD et al., 2008; SHEN; HAAPASALO, 2008; FAN et al., 2009; GEKELMAN et al., 2009; HAMMAD et al., 2009; KIM et al., 2009; MADARATI et al., 2009; MIRFENDERESKI et al., 2009; MOORE et al., 2009; PAQUÉ et al., 2009a; PAQUÉ et al., 2009b; PARK et al., 2009; SOMMA et al., 2009; DI GIORGI, 2010; GU et al., 2010a; GU et al., 2010b; METZGER et al., 2010c; PAQUÉ et al., 2010a; PAQUÉ et al., 2010b; PETERS et al., 2010; YIN et al., 2010; ENDAL et al., 2011; FREIRE et al., 2011; OUNSI et al., 2011; PAQUÉ et al., 2011; PAQUÉ; PETERS, 2011; PETERS; PAQUÉ, 2011; VERSIANI et al., 2011b; VILLAS-BOAS, 2011; WISEMAN et al., 2011; YANG et al., 2011; YOU et al., 2011; MARENDING et al., 2012; MARKVART et al., 2012; PAQUÉ et al., 2012; SOLOMONOV et al., 2012).

Em relação à obturação, os resultados têm mostrado que nenhum material ou técnica foi capaz de promover o completo preenchimento e selamento do espaço pulpar (EGUCHI et al., 1985; DULAC et al., 1999; GENÇOGLU et al., 2002; GENÇOGLU, 2003; JUNG et al., 2005; WHITWORTH, 2005; DE-DEUS et al., 2006; NAIR; NAIR, 2007; MIRFENDERESKI et al., 2009; ENDAL et al., 2011). Diante disto, novas propostas têm sido apresentadas visando a promoção de um selamento tridimensional resistente à infiltração microbiana e de fluídos (JOHNSON; GUTMANN, 2011). Neste sentido, merece destaque a propriedade adesiva dos cimentos obturadores, definida como sua capacidade em aderir às paredes dentinárias do canal, propiciando a união dos cones de guta-percha entre si e destes com a dentina (SOUSA-NETO et al., 2005), e que tem sido estudada por diferentes metodologias (PATIERNO et al., 1996; PÉCORA et al., 2001; FERRARI et al., 2002; BOUILLAGUET et al., 2003; SALEH et al., 2003; TAGGER et al., 2003; GESI et al.,

2005; MALLMANN et al., 2005; MUNIZ; MATHIAS, 2005; ALFREDO et al., 2006; SKIDMORE et al., 2006; UNGOR et al., 2006; BOUILLAGUET et al., 2007; FISHER et al., 2007; JAINAEN et al., 2007; SLY et al., 2007; ALFREDO et al., 2008; KREMEIER et al., 2008; LAWSON et al., 2008; LEE et al., 2008; SOUSA-NETO et al., 2008; TEIXEIRA et al., 2008; UREYEN KAYA et al., 2008; DE-DEUS et al., 2009; DIAS et al., 2009; JAINAEN et al., 2009; RACHED-JÚNIOR et al., 2009; TEIXEIRA et al., 2009a; COSTA et al., 2010; HARAGUSHIKU et al., 2010; HOF et al., 2010; SHOKOUHINEJAD et al., 2010; STIEGEMEIER et al., 2010; STOLL et al., 2010; BALGUERIE et al., 2011; MANICARDI et al., 2011; VILANOVA et al., 2011).

Dentre os lançamentos mais recentes de materiais obturadores com propriedades adesivas destaca-se o sistema Resilon/RealSeal (SybronEndo, Glendora, CA, EUA) (VERSIANI et al., 2006; RESENDE et al., 2009). O Resilon é um composto resinoso de policaprolactona desenvolvido como alternativa aos cones de guta-percha, podendo ser termoplastificado e empregado em associação com cimentos resinosos de polimerização *dual* à base de metacrilato como o RealSeal (GESI et al., 2005; SKIDMORE et al., 2006; UNGOR et al., 2006; BOUILLAGUET et al., 2007; PERDIGÃO et al., 2007; SLY et al., 2007; ALFREDO et al., 2008; NUNES et al., 2008; SOUSA-NETO et al., 2008; UREYEN KAYA et al., 2008; BABB et al., 2009; ORDINOLA-ZAPATA et al., 2009; TEIXEIRA et al., 2009a; COSTA et al., 2010; STOLL et al., 2010).

A proposta de selamento com este sistema baseia-se na formação de um monobloco pela união do cimento com o material obturador sólido, que apresentam a mesma natureza química, e com a parede dentinária previamente condicionada com o *primer* do sistema (SHIPPER et al., 2004; SHIPPER et al., 2005). A literatura, no entanto, não tem mostrado evidência da formação do monobloco nos moldes

aventados pelo fabricante (SCHWARTZ; FRANSMAN, 2005; TAY et al., 2005; SCHWARTZ, 2006; TAY; PASHLEY, 2007; DE-DEUS et al., 2009; COSTA et al., 2010; SHOKOUHINEJAD et al., 2010; STIEGEMEIER et al., 2010; DE-DEUS et al., 2011a).

Ao mesmo tempo em que novos materiais foram disponibilizados, diferentes técnicas têm sido propostas visando otimizar a adaptação dos materiais obturadores às paredes do SCR (CANALDA-SAHLI et al., 1997; SMITH et al., 2000; WU et al., 2000a, 2000b; GILHOOLY et al., 2001; WU; WESSELINK, 2001; CATHRO; LOVE, 2003; GONDIM et al., 2003; GORDON et al., 2005; KEÇEÇI et al., 2005; GLUSKIN, 2007; DE-DEUS et al., 2008a; DE-DEUS et al., 2008b; MAZOTTI et al., 2008). Dentre elas, destacam-se as técnicas de termoplastificação do material obturador, como a Técnica da Onda Contínua de Condensação (BUCHANAN, 1994, 1998) e o sistema Thermafil (GUTMANN et al., 1993; JUHLIN et al., 1993; WELLER et al., 1997; RAPISARDA et al., 1999; MAZOTTI et al., 2008; ORDINOLA-ZAPATA et al., 2009; OZAWA et al., 2009; PIRANI et al., 2009; ANBU et al., 2010; ENDAL et al., 2011; SOMMA et al., 2011). A principal vantagem destas técnicas está relacionada ao aumento do escoamento do material obturador a partir da sua plastificação, favorecendo o preenchimento do espaço pulpar e resultando em uma obturação mais homogênea e bem adaptada às paredes do canal (SCHILDER, 1967; WELLER et al., 1997; DE-DEUS et al., 2006; CAMÕES et al., 2007; MAZOTTI et al., 2008; HAMMAD et al., 2009; MIRFENDERESKI et al., 2009; ANBU et al., 2010; SOMMA et al., 2011; ZASLANSKY et al., 2011).

A Técnica da Onda Contínua de Condensação foi criada a partir da técnica de condensação vertical da guta-percha aquecida, preconizada por SCHILDER (1967). Em relação à proposta original, esta técnica apresenta maior rapidez, melhor

controle do limite apical de obturação, menor número de instrumentos, menor probabilidade de deslocamento do cone principal e o emprego de condensadores mais flexíveis e menos calibrosos, facilitando a condensação da obturação em canais curvos. Nesta técnica, após o assentamento do cone principal, espaçadores aquecidos são utilizados para plastificar a guta-percha que, em seguida, é condensada a frio, realizando-se assim, um processo de aquecimento e condensação contínuos, até o preenchimento completo do SCR (BUCHANAN, 1994, 1998). Recentemente, uma modificação desta técnica introduziu o uso de termocompactadores *PacMac* de NiTi na fase inicial da obturação e a substituição da guta-percha pelo sistema Resilon/RealSeal, visando reduzir o tempo de trabalho e possibilitar maior controle do limite apical de obturação (RAPISARDA et al., 1999; MALAGNINO et al., 2011).

O sistema Thermafil disponível atualmente é resultado da técnica proposta por JOHNSON (1978) e consiste na obturação por meio de carreadores plásticos cobertos com guta-percha tipo alfa a qual, após o aquecimento em fornos especiais, passa para o estado beta, sofrendo aumento no volume, na adesividade e no escoamento (WELLER et al., 1997; DE-DEUS et al., 2006; PIRANI et al., 2009; ANBU et al., 2010; ENDAL et al., 2011; SOMMA et al., 2011).

Diante do exposto, o advento de novos instrumentos para o preparo biomecânico do SCR (BÜRKLEIN et al., 2012), além de novas técnicas de obturação (MALAGNINO et al., 2011), refletem a preocupação de clínicos e pesquisadores em desenvolver protocolos de tratamento com resultados cada vez mais previsíveis. Diante de evidências de que o prognóstico do tratamento endodôntico está vinculado ao preparo e obturação do SCR (VERTUCCI, 2005; GILLEN et al., 2011), torna-se relevante a avaliação destas etapas, de forma sequencial, utilizando metodologias

não-destrutivas que permitam maior precisão dos resultados, a fim de demonstrar a efetividade destes recursos em relação ao arsenal disponível.

PROPOSIÇÃO

A proposta deste estudo foi avaliar os efeitos do preparo biomecânico e da obturação em canais radiculares ovais de dentes unirradiculares utilizando os sistemas de instrumento único WaveOne, Reciproc e Self-Adjusting File, em comparação com o sistema de instrumentos múltiplos ProTaper Universal, usando diferentes metodologias.

Em relação ao preparo:

1. Avaliar as alterações nos parâmetros bidimensionais (área, perímetro, circularidade, diâmetro maior e diâmetro menor) e tridimensionais (área de superfície, volume e SMI) após o preparo biomecânico, por meio da microtomografia computadorizada;

Em relação à obturação:

1. Avaliar o percentual volumétrico de espaços vazios após a obturação do canal radicular com a Técnica Modificada de Onda Contínua de Condensação e pelas técnicas recomendadas pelos fabricantes, por meio da microtomografia computadorizada;
2. Avaliar a resistência de união ao cisalhamento por extrusão (teste de *push-out*) em canais radiculares obturados pela Técnica Modificada de Onda Contínua de Condensação e pelas técnicas recomendadas pelos fabricantes,

bem como o tipo de falha ocorrida após desunião, por meio de microscópio digital;

3. Avaliar a interface adesiva formada entre o material obturador e a dentina, por meio de análise quali-quantitativa em microscopia eletrônica de varredura.

MATERIAIS E ***M***ÉTODOS

Após revisão e aprovação do presente estudo pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo (CEP/FORP-USP), em 24 de agosto de 2010, pelo processo nº 2009.1.972.58.4 CAAE nº 0072.0.138.000-09 (Anexo 1), foram obtidos, do banco de dentes da FORP-USP, caninos inferiores unirradiculares humanos hígidos, 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). Tomadas radiográficas nos sentidos orto-radial e méso-radial foram realizadas com filmes Ektaspeed EP (Kodak Brasileira Comércio e Indústria Ltda, São José dos Campos, SP, Brasil), tempo de exposição de 0,5 segundo e distância objeto-filme de 10 cm. As radiografias foram avaliadas com auxílio de negatoscópio (Konex, Konex Ind. e Com. de Metais LTDA, São Paulo, SP, Brasil) e de aparato visualizador magnificador (X-Produkter, Malmö, Suécia). Em seguida, com auxílio do microscópio clínico (modelo M900; D.F. Vasconcellos S.A., São Paulo, SP, Brasil), avaliou-se a porção radicular dos espécimes em aumento de 20 vezes.

Foram selecionados da amostra inicial, os caninos inferiores que apresentaram raiz completamente formada, canal radicular único e relativamente reto, livre de nódulos pulpare, reabsorção interna, tratamento endodôntico prévio ou fratura radicular, totalizando 100 dentes.

Figura 1. Seleção dos dentes. Tomadas radiográficas nos sentidos orto-radial (A) e méso-radial (B) utilizadas na seleção do espécime representado pelos modelos tridimensionais dispostos em (C) (vista frontal) e (D) (vista lateral).

Cada espécime foi acoplado a um dispositivo na máquina Isomet[®] 1000 (Buehler, Lake Forest, IL, EUA), no qual um disco diamantado (South Bay Technology, San Clement, CA, EUA), sob refrigeração constante, peso de 250 g e velocidade de 350 rpm, realizou o corte da porção coronária, perpendicularmente ao longo eixo da raiz. Em seguida, os espécimes foram inseridos separadamente em tubos de polipropileno tipo Eppendorf (Micro Test Tubes 3810X standard; Eppendorf do Brasil Ltda, São Paulo, SP, Brasil), contendo 1 mL de soro fisiológico, e armazenados em estufa (37°C, 100% umidade relativa) por 72 horas, visando sua reidratação. Os tubos foram identificados numericamente e dispostos sequencialmente em um suporte plástico (Eppendorf do Brasil Ltda, São Paulo, SP, Brasil) (Figura 2), favorecendo sua localização no decorrer das três etapas da pesquisa.

Figura 2. Preparo dos espécimes. (A) Máquina de corte Isomet® 1000; (B) Espécime adaptado ao dispositivo de fixação na máquina de corte; (C-D) Procedimento de corte da porção coronária do dente utilizando um disco diamantado sob refrigeração; (E) Espécime sem a porção coronária inserido em um tubo de polipropileno tipo Eppendorf identificado por um número sequencial contendo soro fisiológico; (F) Tubos Eppendorf dispostos sequencialmente em um suporte plástico para armazenamento em estufa.

Exame microtomográfico inicial

Para a obtenção dos dados morfométricos (área, perímetro, circularidade, diâmetro maior, diâmetro menor, volume, área de superfície, SMI) do canal radicular visando à estratificação dos grupos experimentais, utilizou-se o microtomógrafo SkyScan modelo 1174 v.2 (SkyScan, Kontich, Bélgica) do Departamento de Odontologia Restauradora da FORP-USP. Este aparelho é composto por um tubo de raios-X de microfoco com fonte de alta tensão (50 kV, 800 μ A), 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 amostras com até 15 mm de altura usando resolução espacial isotrópica que pode variar de 6 a 30 μm . Todo este aparato 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 (Figura 3).

Figura 3. Vistas lateral (A) e frontal (B) do microtomógrafo SkyScan modelo 1174 v.2 conectado ao computador Dell Precision T5500 WorkStation.

Após o posicionamento de um filtro de alumínio de 1 mm de espessura em frente à câmera CCD, o compartimento da câmara do microtomógrafo foi fechada e a fonte de raios-X ligada por meio do botão de energia na barra de ferramentas do Programa de Controle SkyScan v.2, dando início ao processo de *aging*, no qual a tensão e a corrente sobem suavemente com o objetivo de aumentar o tempo de vida do tubo de raios-X. Em seguida, procedeu-se a correção do campo de aquisição por meio da ferramenta *flat-field correction* usando o programa de controle SkyScan 1174 v.2. A fonte de raios-X foi, então, desligada, a porta externa do compartimento da câmara aberta e um tubo de poliestireno oco de 4 cm de altura foi acoplado a um pino metálico previamente fixado à mesa giratória do aparelho, por meio de um parafuso de controle manual, visando o posicionamento dos espécimes de forma perpendicular à fonte de radiação. Cada dente foi, então, inserido individualmente na

abertura superior do tubo de poliestireno, acompanhando o longo eixo do pino metálico (Figura 4).

Figura 4. (A) Compartimento da câmara do microtomógrafo com o filtro de alumínio posicionado em frente à câmara CCD (1) e o tubo de poliestireno com o espécime fixado ao pino metálico (2); (B) Detalhe do espécime (1) inserido no tubo de poliestireno acoplado ao pino metálico (2) e que, por meio do parafuso de controle manual (3), encontrava-se fixado à mesa giratória (4).

Após o posicionamento do dente e fechamento do compartimento da câmara do microtomógrafo, a fonte de raios-X foi novamente acionada e a posição do espécime verificada com a ferramenta *Video Image* do Programa de Controle SkyScan v.2 (Figura 5).

Figura 5. Conferência do posicionamento do espécime com a ferramenta *Video Image* do programa de controle SkyScan v.2.

Uma vez confirmado o posicionamento, iniciou-se a aquisição das projeções do espécime em diversas angulações ao longo de uma rotação de 180°, com passos de rotação de um grau. Definiu-se uma quantidade total de 2 quadros (*frames*) tomados em cada projeção angular com tamanho de *voxel* isotrópico de 19,66 µm. Essa manobra permitiu calcular a média dos sinais e assim melhorar a definição final de cada imagem, estabelecendo um tempo de escaneamento de aproximadamente 1 hora por espécime. 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 2. Ao término do escaneamento, os espécimes foram inseridos novamente nos tubos Eppendorf contendo soro fisiológico e armazenados em estufa (37°C, 100% umidade relativa).

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.1.6.4 (SkyScan, Kontich, Bélgica), resultando na completa representação da microestrutura interna de cada dente. 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 15% (escala de 0 a 100%), de suavização (*smoothing*) no valor de 3 (escala de 0 a 10) e com o histograma de contraste no modo logarítmico variando de 0,0020 (valor mínimo) a 0,0970 (valor máximo). Esse processo resultou em uma média de 794 fatias por espécime (amplitude de 636 a 918 fatias), cobrindo toda sua extensão, desde a porção cervical até o ápice anatômico, que foram salvas no formato *Bitmap* (BMP). O detalhamento dos

parâmetros de reconstrução das secções transversais dos espécimes está disposto no Anexo 3.

Após a reconstrução, realizou-se o processamento e análise das imagens com auxílio do programa CTAn v.1.11 (SkyScan, 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 por meio da ferramenta *Custom Processing*, utilizando uma sequência de *plug-ins*, visando padronizar e automatizar o processo de obtenção de dados (Anexo 4).

O primeiro passo consistiu na segmentação da imagem por meio da técnica de limiarização ou *threshold* interativo no qual a segmentação dos valores de cinza foi obtida de forma interativa, separando-se os segmentos que corresponderiam à dentina e ao canal radicular. Neste processo foi possível dividir a imagem em regiões, reconhecendo-as como objetos independentes uns dos outros e do fundo. Obteve-se, assim, uma imagem binária aonde os *pixels* pretos representaram o fundo e as regiões de *pixels* brancos, o objeto da análise. O segundo passo consistiu na execução do *plug-in morphological operations* visando à remoção de nódulos de calcificação que afetariam a análise dos parâmetros estudados. Também foi necessária a utilização de operações *bitwise* possibilitando que um número de operações booleanas ou lógicas pudesse ser aplicado entre o conjunto de dados selecionado (objeto binarizado) e a região de interesse (ROI) definida. No presente estudo, estas operações visaram inicialmente definir o contorno da ROI como sendo igual ao contorno do objeto binarizado. Posteriormente, por meio da eliminação da imagem da dentina binarizada, obteve-se a imagem real do canal radicular.

Foi necessário ainda a aplicação de procedimentos de pós-processamento a fim de corrigir as imagens binarizadas resultantes do processo de segmentação. No presente estudo, algumas partículas espúrias de fundo foram eliminadas através do *plug-in Despeckle*, permitindo a supressão de objetos em um intervalo de tamanho especificado, não relacionados ao canal principal. Em seguida, com o *plug-in Save Bitmaps*, as imagens do canal binarizado foram salvas em um novo diretório, no formato de 1 *bit*, reduzindo o tamanho do arquivo e aumentando a velocidade de extração dos atributos das imagens.

As próximas etapas objetivaram a aquisição dos dados morfológicos bidimensionais (área, perímetro, circularidade, diâmetro maior e diâmetro menor) e tridimensionais (volume, área de superfície, SMI), bem a geração dos modelos tridimensionais dos canais radiculares de todos os espécimes (n=100), visando a composição dos grupos experimentais e a análise comparativa posteriormente ao preparo biomecânico.

Utilizando-se o *plug-in Individual Object Analysis (2D space)*, foram obtidos dados referentes aos parâmetros bidimensionais de área (mm²), perímetro (mm), circularidade, diâmetro maior (mm) e diâmetro menor (mm) de cada uma das secções transversais resultantes do procedimento de reconstrução. 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_{max} correspondem à área e ao diâmetro maior do objeto, respectivamente. Os valores de circularidade podem variar de 0 a 1, sendo que o “0” corresponde a uma reta e o “1” a um círculo perfeito.

A seguir, por meio do *plug-in 3D analysis*, foi possível obter a análise quantitativa tridimensional de volume (mm³), área de superfície (mm²) e *structure model index* (SMI), considerando-se o canal radicular como um todo, bem como sua

análise em relação aos terços cervical, médio e 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, a um cilindro e a uma esfera regulares. De forma complementar, modelos tridimensionais dos canais radiculares foram obtidos por meio do algoritmo *double time cubes*, no formato P3G, e visualizados no programa CTVol 2.1 (SkyScan, Kontich, Bélgica).

Todos os dados quantitativos obtidos no programa CTAn foram armazenados em formato de texto em um montante de aproximadamente 90.000 arquivos. Visando automatizar a consolidação e organização destes dados, foi desenvolvida uma sequência de macros (Anexo 5) no programa Microsoft Visual Basic 6.3 (Microsoft Corporation, Seattle, WA, EUA) possibilitando sua compilação em planilhas do programa Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft Corporation, Seattle, WA, EUA). Concluídas as análises, os dados obtidos na avaliação bidimensional (área, perímetro, circularidade, diâmetro maior, diâmetro menor) e tridimensional (volume, área de superfície e SMI) possibilitaram a estratificação da amostra para obtenção de grupos homogêneos e, posteriormente, para fins de comparação com os dados obtidos após o preparo biomecânico.

Delineamento experimental

Para facilitar a compreensão das metodologias utilizadas, os procedimentos experimentais foram organizados em três partes, a saber:

Parte 1. Avaliação microtomográfica do preparo do canal radicular;

Parte 2. Avaliação microtomográfica do percentual volumétrico de espaços vazios após a obturação;

Parte 3. Avaliação da resistência de união ao cisalhamento por extrusão.

O fluxograma a seguir contém a representação esquemática da sequência metodológica utilizada nas três etapas do presente estudo.

Fluxograma da sequência metodológica utilizada nas 3 etapas do presente estudo. Todos os grupos avaliados na parte 2 do estudo foram submetidos às análises realizadas na parte 3 conforme detalhamento explicitado para o Grupo WaveOne. Legenda: TMO: Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação; TRF: Técnica Recomendada pelo Fabricante; C: Controle.

Parte 1. Avaliação microtomográfica do preparo do canal radicular

Após ser retirado do tubo Eppendorf, cada espécime teve o canal radicular irrigado com 2 mL de hipoclorito de sódio a 1%, (Dermus, Florianópolis, SC, Brasil) usando-se seringa plástica descartável (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, EUA) e agulha NaviTip (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, EUA). A exploração do canal foi realizada com uma lima manual pré-curvada número 6 tipo K de aço inóx (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) seguida do preparo do terço cervical com broca LA Axxess 35.06 (SybronEndo, Orange, CA, EUA) montada em micromotor, em baixa rotação e sem irrigação. Esta broca foi introduzida uma única vez no sentido do longo eixo do canal até a profundidade correspondente a um terço do comprimento do dente.

O canal radicular foi novamente irrigado com 2 mL de hipoclorito de sódio a 1% e uma lima manual pré-curvada número 10 tipo K de aço inóx (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) foi cuidadosamente introduzida no interior do canal até que sua ponta coincidisse com o forame apical. Dessa medida, subtraiu-se 1 mm para o estabelecimento do comprimento de trabalho (CT). A seguir, o canal foi ampliado até o CT com uma lima manual pré-curvada número 20 tipo K de aço inox (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) utilizando movimento de rotação alternada (Figura 6).

Figura 6. (A) Irrigação inicial do canal radicular com 2 mL de NaOCl 1% usando-se seringa plástica e agulha NaviTip; (B) Exploração inicial do canal sendo realizada com uma lima 6 tipo K; (C-D) Preparo do terço cervical com broca LA Axxess 35.06 em baixa rotação até a profundidade de 1/3 do comprimento do espécime; (E) Determinação do comprimento de trabalho com uma lima 10 tipo K, 1 mm aquém da saída do forame apical; (F) Ampliação do canal no CT com uma lima 20 tipo K.

Para a composição dos grupos experimentais utilizou-se a técnica de amostragem estratificada proporcional com auxílio do programa Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft Corporation, Seattle, WA, EUA). Para tanto, considerou-se os valores mínimos e máximos adquiridos na análise microtomográfica inicial referente aos parâmetros tridimensionais de volume, área de superfície e SMI, bem como em relação ao comprimento de trabalho, estabelecendo-se três estratos para cada um deles.

Em seguida, definiu-se o quantitativo percentual de elementos que seriam retirados de cada estrato de forma que o número de elementos sorteados fosse proporcional, possibilitando a distribuição dos espécimes de forma mais homogênea e representativa da sua variabilidade anatômica.

Assim, os espécimes previamente escaneados (n=100) foram distribuídos em quatro grupos experimentais (n=25), de acordo com a técnica e o instrumento utilizado no preparo dos canais radiculares:

Grupo ProTaper (n=25): Técnica de instrumentação por rotação contínua com os instrumentos SX, S1, S2, F1, F2, F3 e F4 do sistema ProTaper Universal (Dentsply, Maillefer, Baillagues, Suíça).

Grupo WaveOne (n=25): Técnica de instrumentação por movimento recíprocante com o instrumento WaveOne 40.08 (Dentsply, Maillefer, Baillagues, Suíça).

Grupo Reciproc (n=25): Técnica de instrumentação por movimento recíprocante com o instrumento Reciproc 40.06 (VDW GmbH, Munique, Alemanha).

Grupo SAF (n=25): Técnica de instrumentação por movimento vibratório com o instrumento Self Adjusting File de 1,5 mm de diâmetro (Redent-Nova Inc., Ra'anana, Israel).

Preparo do canal radicular

O acionamento mecânico dos instrumentos dos grupos ProTaper, WaveOne e Reciproc foi realizado com o contra-ângulo redutor 6:1 Sirona (SN 25185; VDW GmbH, Munique, Alemanha) acoplado ao micro-motor SMR 114058 (VDW GmbH, Munique, Alemanha) que, por sua vez, estava conectado ao motor elétrico VDW Silver (VDW GmbH, Munique, Alemanha). Antes do início do preparo dos espécimes, em cada grupo, a velocidade de rotação e a precisão do torque do motor foram calibrados automaticamente por meio da função *calibration* (CAL) (Figura 7).

Figura 7. (A) Motor elétrico VDW Silver; (B) Contra-ângulo redutor Sirona (1) acoplado ao micro-motor SMR 114058 (2); (C) Procedimento de calibragem automática da velocidade e do torque do motor VDW Silver; (D) Detalhe do instrumento recíprocante acoplado ao contra-ângulo Sirona.

Para cada grupo, os canais foram preparados seguindo-se as recomendações do fabricante após a seleção, na tela do aparelho, dos parâmetros pré-definidos de torque e velocidade correspondentes a cada um dos sistemas testados (Figura 8).

Figura 8. Programação no visor do Motor VDW Silver referente à instrumentação com os sistemas Reciproc (A), WaveOne (B), e ProTaper Universal (C).

O tempo de preparo de cada canal foi definido em 4 minutos, sendo aferido com auxílio de cronômetro digital (NexxTech, Orbyx Electronics, CA, EUA),

desconsiderando-se o tempo gasto nos procedimento de irrigação e aspiração. A cada dois canais preparados, um novo instrumento foi utilizado.

No grupo ProTaper, os instrumentos (Figura 9A) foram acionados em movimento de rotação contínua e utilizados na seguinte sequência e parâmetros: SX até o terço médio por 15 segundos (velocidade: 250 rpm; torque: 300 g.cm); S1 até o CT por 15 segundos (velocidade: 250 rpm; torque: 300 g.cm); S2 até o CT por 15 segundos (velocidade: 250 rpm; torque: 100 g.cm); F1 até o CT por 15 segundos (velocidade: 250 rpm; torque: 150 g.cm); F2 até o CT por 15 segundos (velocidade: 250 rpm; torque: 150 g.cm); F3 até o CT por 15 segundos (velocidade: 250 rpm; torque: 150 g.cm); e F4 até o CT por 2 minutos e 30 segundos (velocidade: 250 rpm; torque: 200 g.cm).

Nos grupos WaveOne e Reciproc foram utilizados os instrumentos WaveOne 40.08 (Figura 9B) e Reciproc 40.06 (Figura 9C), respectivamente, em movimento recíprocante, com os ângulos de deslocamento e torque automaticamente pré-ajustados no motor VDW Silver.

Figura 9. (A) Sistema ProTaper Universal - da esquerda para direita está disposta a sequência dos instrumentos utilizados: SX, S1, S2, F1, F2, F3 e F4; (B) Instrumento WaveOne 40.08; (C) Instrumento Reciproc 40.06.

Nos grupos ProTaper, WaveOne e Reciproc, os canais foram irrigados com 1,25 mL de solução de hipoclorito de sódio a 1% (Dermus, Florianópolis, SC, Brasil)

a cada 15 segundos, usando-se seringa plástica descartável e agulha NaviTip, totalizando 20 mL de solução irrigadora para cada espécime. Os instrumentos foram utilizados de forma passiva, em movimento de bicada, com avanços de 2 a 3 mm no sentido apical até atingirem o CT. Neste momento, os instrumentos passaram a ser utilizados em movimento curto e circunferencial, de penetração e retrocesso, com ligeira pressão apical, tocando-se em todas as paredes do canal radicular.

No grupo SAF, o instrumento de 1,5 mm de diâmetro foi acoplado em um contra-ângulo vibratório RDT3 (Redent-Nova Inc., Ra'anana, Israel) adaptado para conexão com o motor X-Smart (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça). Após a inserção passiva da SAF no canal radicular, o motor foi acionado e, através de um movimento constante de vibração (5.000 vibrações por minuto) com amplitude de 0,4 mm, o instrumento foi utilizado em movimento curto de penetração e retrocesso com leve pressão apical. Ao atingir o CT, realizou-se o movimento circunferencial visando tocar em todas as paredes do canal. Durante todo este processo, o instrumento esteve conectado a um dispositivo especial de irrigação (VATEA; Redent-Nova Inc., Ra'anana, Israel), por meio de um tubo de silicone, fornecendo um fluxo contínuo de hipoclorito de sódio a 1%, a uma vazão de 5 mL por minuto, totalizando 20 mL por espécime (Figura 10).

Em todos os grupos, após o preparo do canal, foi realizada irrigação final com 2 mL de ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) a 17%, por 5 minutos, e 2 mL de água deionizada, por 1 minuto. Os espécimes foram, então, recolocados nos respectivos tubos Eppendorf contendo soro fisiológico, e armazenados em estufa (37°C, 100% umidade relativa) até o momento da segunda análise tomográfica.

Figura 10. (A) Instrumento Self-Adjusting File (SAF); (B) SAF (1) acoplada no contra-ângulo RDT3 (2) conectado ao motor X-Smart (3); (C) Detalhe da conexão da SAF com o sistema de irrigação VATEA por meio do tubo de silicone (seta amarela); (D) Dispositivo especial de irrigação VATEA.

Segundo exame microtomográfico

Concluído o preparo, os espécimes foram submetidos ao segundo exame microtomográfico, seguindo-se os protocolos descritos previamente em relação ao escaneamento e reconstrução. Contudo, antes da análise morfológica bidimensional (área, perímetro, circularidade, diâmetro maior, diâmetro menor) e tridimensional (volume, área de superfície, SMI) dos canais radiculares preparados, as imagens de cada um dos espécimes obtidos neste segundo exame microtomográfico foram alinhadas (registradas) em relação àquelas obtidas no exame microtomográfico inicial, por meio do programa Mosaic 0.05 (Laboratorio di Tecnologia Medica; Istituti Ortopedici Rizzoli, Bolonha, Itália).

Este programa foi desenvolvido para identificar e registrar as superfícies de um mesmo objeto analisado em dois conjuntos de dados, obtidos em momentos diferentes, por meio da minimização das distâncias entre as superfícies correspondentes, empregando-se um modelo rígido de transformação matemática, de acordo com a seguinte fórmula:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(t_x) & -\sin(t_x) \\ 0 & \sin(t_x) & \cos(t_x) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(t_y) & 0 & \sin(t_y) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(t_y) & 0 & \cos(t_y) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(t_z) & -\sin(t_z) & 0 \\ \sin(t_z) & \cos(t_z) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{pmatrix}$$

aonde t_x , t_y e t_z representam os ângulos de rotação e d_x , d_y e d_z , as alterações no ângulo de translação ao longo dos eixos x , y e z , respectivamente.

Por convenção, o conjunto de dados obtidos previamente ao preparo foi considerado fixo, fazendo-se o registro do conjunto de dados após o preparo, em relação ao primeiro. Este novo registro de dados do canal após o preparo foi salvo em um novo diretório e, em seguida, por meio da ferramenta *Image Difference*, obteve-se a variação (diferença) entre o conjunto de dados dos espécimes obtidos antes e após o preparo. Este novo registro de dados também foi salvo em um novo diretório.

Depois de garantido o alinhamento dos espécimes, realizou-se o processamento e análise das imagens com auxílio do programa CTAn v.1.11 (SkyScan, Kontich, Bélgica) utilizando-se os mesmos parâmetros descritos no exame microtomográfico inicial. Assim, obtiveram-se os dados morfométricos (área, perímetro, circularidade, diâmetro maior, diâmetro menor, volume, área de superfície, SMI) e o modelo tridimensional do canal radicular após o preparo, bem como sua diferença em relação ao canal não preparado.

Utilizando-se o programa CTVol 2.1 (SkyScan, Kontich, Bélgica), o modelo tridimensional gerado por este novo conjunto de dados foi sobreposto àquele gerado

previamente ao preparo do canal. Os modelos sobrepostos foram, então, avaliados qualitativamente em relação à superfície tocada pelos instrumentos após o procedimento experimental. Com o objetivo de facilitar a identificação dos modelos, optou-se por aplicar cores distintas. A cor verde foi usada para identificar o modelo do canal radicular não instrumentado, enquanto a cor vermelha para o canal instrumentado, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11. À esquerda: modelo tridimensional do canal radicular antes do preparo (cor verde); no centro: modelo tridimensional do canal radicular após o preparo (cor vermelha); à direita: modelos tridimensionais sobrepostos do canal radicular antes e após o preparo.

Em seguida, os espécimes foram recolocados nos respectivos tubos Eppendorf contendo soro fisiológico e armazenados em estufa (37°C, 100% umidade relativa) até a segunda parte do estudo.

Parte 2. Avaliação microtomográfica do percentual volumétrico de espaços vazios após a obturação

Determinação dos grupos experimentais

Considerando-se os 25 espécimes preparados em cada grupo experimental (ProTaper, WaveOne, Reciproc e SAF), dezoito foram redistribuídos em dois grupos (n=9), de acordo com a técnica de obturação: Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação e técnica recomendada pelo fabricante.

Os sete espécimes restantes de cada grupo foram redistribuídos nos grupos controle negativo e positivo.

Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação

Nove dentes de cada um dos grupos experimentais (ProTaper, WaveOne, Reciproc e SAF) foram obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação.

Após a secagem do canal radicular com cones de papel absorvente F3 (Dentsply Maillefer, Petrópolis, RJ, Brasil; Lote 108712B), um cone de Resilon 40.06 (SybronEndo Dental Specialties, Orange, CA, EUA; Lote 196528) foi inserido até o comprimento de trabalho. Após confirmação radiográfica de sua adaptação apical, o cone foi removido e o canal preenchido com uma gota do *primer* RealSeal (SybronEndo Dental Specialties, Glendora, CA, EUA; Lote 200801), previamente dispensada em um cadinho plástico, usando aplicadores especiais (SybronEndo Dental Specialties, Glendora, CA, EUA) (Figura 12).

Figura 12. (A) Secagem do canal com cone de papel F3; (B e C) Tomadas radiográficas nos sentidos orto-radial e mésio-radial a fim de verificar adaptação do cone de Resilon no CT; (D) Uma gota do *primer* do sistema RealSeal sendo dispensada no cadinho plástico; (E) Instrumento especial sendo embebido com o *primer* e utilizado para aplicá-lo nas paredes do canal radicular (F-G).

Após a remoção do excesso do *primer* com cones de papel absorvente F3, o cimento RealSeal (SybronEndo Dental Specialties, Orange, CA, EUA; Lote 3631976) foi dispensado sobre um bloco de papel e aplicado nas paredes do canal radicular com um cone acessório de guta-percha tamanho Fine (Ícone, Belo Horizonte, MG, Brasil; Lote 07-11-GP). O cone de Resilon selecionado e untado com o cimento RealSeal foi então introduzido no canal com movimento circular e gradativo, até o comprimento de trabalho (Figura 13).

Figura 13. (A) Seringa plástica com bico misturador contendo a base e o catalisador do cimento RealSeal; (B) Cimento RealSeal sendo dispensado sobre um bloco de papel; (C) Cone de Resilon 40.06 untado com o cimento RealSeal sendo introduzido no canal com movimento circular gradativo até o CT.

A seguir, um termocompactador de níquel-titânio PacMac 55.04 de 21 mm (SybronEndo Dental Specialties, Glendora, CA, EUA) acoplado ao contra-ângulo

INTRAmatic 2068 FGBN (KaVo do Brasil Ind. Com. Ltda, Joinville, SC, Brasil) conectado a um micromotor INTRAmatic 181 DBN (KaVo do Brasil Ind. Com. Ltda, Joinville, SC, Brasil) foi inserido passivamente entre o cone e a parede do canal e acionado em rotação contínua de 6.000 rpm no sentido horário, com pressão leve e constante em direção apical. O termocompactador foi utilizado até a distância de 5 mm do comprimento de trabalho pelo tempo total de 5 segundos, quando foi cuidadosamente removido, ainda em movimento (Figura 14).

Figura 14. (A) Termocompactador de níquel-titânio PacMac tamanho 55.04; (B) Termocompactador acoplado ao contra-ângulo INTRAmatic 2068 FGBN sendo inserido passivamente entre o cone e a parede do canal; (C) Após acionamento, o cone de Resilon foi termocompactado para o interior do canal radicular.

Um condensador Fine Medium (Buchanan Plugger .08 Taper; SybronEndo, Glendora, CA, EUA), demarcado com um cursor de borracha na distância de cinco milímetros aquém do comprimento de trabalho e acoplado ao dispositivo de geração de calor Denjoy (Denjoy Dental Co. Ltda, Changsha, Hunan, China), foi posicionado no orifício de entrada do canal, próximo ao material obturador. A chave de aquecimento do dispositivo Denjoy, regulada no modo “FM”, foi acionada e o condensador introduzido em um movimento único, em direção apical, até que o cursor de borracha atingisse cerca de três milímetros aquém do ponto de referência previamente demarcado. O interruptor de aquecimento foi desligado e o condensador continuou sendo movimentado em direção apical, até que o cursor

atingisse o ponto de referência. O condensador foi mantido nessa posição, sob pressão, durante 10 segundos. A seguir, o interruptor de aquecimento foi acionado por um segundo e desligado. Esperou-se outro segundo e o condensador foi retirado, removendo-se o material obturador que preenchia os terços médio e cervical (Figura 15).

Figura 15. (A) Condensador FM acoplado ao dispositivo de geração de calor Denjoy; (B) Dispositivo Denjoy com chave de aquecimento “FM” acionada; (C e D) Condensador FM sendo introduzido em movimento único, em direção apical, até três milímetros aquém do ponto de referência previamente demarcado; (E) Após desligamento do interruptor de aquecimento, o condensador foi movimentado em direção apical até o cursor atingir o ponto de referência; (F) Condensador FM retirando o material obturador que preenchia os terços médio e cervical.

Em seguida, um bastão de Resilon de baixa fusão foi inserido na câmara do dispositivo de aquecimento com seringa de injeção Denjoy (Denjoy Dental Co. Ltda, Changsha, Hunan, China). Este aparelho havia sido ligado 5 minutos antes do seu uso até que atingisse a temperatura de 150 °C. Em seguida, o movimento de pressão e soltura do gatilho foi repetido até que o Resilon fluísse através da ponta da cânula 25G do dispositivo. Com uma gaze, limpou-se o Resilon extravasado e inseriu-se a cânula no interior do canal até a distância de 6 mm do CT. O Resilon foi injetado no canal pressionando-se e soltando-se o gatilho da seringa algumas vezes até que a cânula recuasse em razão do preenchimento daquela porção do canal. Neste momento, a injeção do Resilon foi suspensa e a cânula retirada do canal. A

seguir, com o Resilon ainda plastificado, realizou-se a condensação vertical do material injetado utilizando-se condensadores manuais números 0, 1 e 2 (Hand Pluggers Buchanan; SybronEndo, Glendora, CA, EUA; Lotes 1BF, 1AP e 1CF) a frio com pressão leve e firme em direção apical, pelo tempo de 5 segundos. Este procedimento foi repetido até que todo o canal radicular estivesse preenchido. Em seguida, polimerizou-se o material obturador posicionando-se a ponta do aparelho Curing Light 2500 (3M ESPE, St. Paul, MN, EUA) na entrada do canal e ativando-o pelo tempo de 40 segundos com intensidade de luz de 550 mW/cm² (Figura 16).

Após o procedimento obturador, os espécimes foram inseridos em tubos Eppendorf vazios, devidamente numerados, e novamente armazenados em estufa (37°C, 100% umidade relativa) até a terceira parte do estudo.

Figura 16. (A) Dispositivo Denjoy de aquecimento com seringa de injeção; (B) Inserção do Resilon em bastão na câmara do aparelho previamente aquecido a 150° C; (C) Cânula do dispositivo Denjoy inserida a 6 mm do CT; (D) Condensadores manuais utilizados no procedimento de condensação vertical; (E) Procedimento de condensação vertical com o condensador manual nº 1; (F) Término do preenchimento do canal radicular com Resilon termoplastificado; (G) Condensação vertical final; (H) Visão da embocadura do canal radicular a nível cervical após o término do procedimento obturador; (I) Fotopolimerização do material obturador na entrada do canal radicular.

Técnica recomendada pelo fabricante

Cada instrumento utilizado para o preparo biomecânico na primeira parte deste estudo possui orientação específica do fabricante quanto ao material e técnica indicados para a obturação dos canais preparados por eles. Assim, nesta etapa, cada grupo experimental foi obturado de acordo com o método indicado pelo respectivo fabricante.

Grupo ProTaper (n=9)

Nove dentes do grupo ProTaper foram obturados pela técnica do cone único. Após a secagem do canal radicular com cones de papel absorvente F3 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça; Lote 108712B), um cone de guta-percha ProTaper Universal F4 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça; Lote 516931D) foi inserido até o comprimento de trabalho. Após confirmação radiográfica de sua adaptação à região apical, o cone foi removido e o cimento AH Plus (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Alemanha; Lote 1002001970), manipulado de acordo com as recomendações do fabricante, foi dispensado no interior de uma ponta Accudose Agulha com cânula de aço de 0,91 mm de diâmetro (DFL Indústria e Comércio S.A., Rio de Janeiro, RJ, Brasil). Inserido o êmbolo, a ponta Accudose foi encaixada na abertura da seringa Centrix (DFL Indústria e Comércio S.A., Rio de Janeiro, RJ, Brasil) e o êmbolo posicionado no pistão da seringa sendo injetado o cimento no interior do canal, até seu completo preenchimento. O cone selecionado e untado com o cimento AH Plus foi introduzido no canal com movimento circular e gradativo, até o comprimento de trabalho. Em seguida, o excesso de material obturador foi removido na entrada do

canal radicular com auxílio do condensador Fine Medium (Buchanan Plugger .08 Taper; SybronEndo, Glendora, CA, EUA) previamente aquecido, acoplado ao dispositivo de geração de calor Denjoy (Denjoy Dental Co. Ltda, Changsha, Hunan, China). A seguir, com a guta-percha ainda plastificada, realizou-se a condensação vertical com o condensador manual número 2 (Hand Pluggers Buchanan; SybronEndo, Glendora, CA, EUA; Lote 1CF) à frio, com pressão leve e firme em direção apical por 5 segundos (Figura 17).

Figura 17. (A) Cone de guta-percha ProTaper Universal F4; (B) Base e catalisador do cimento AH Plus; (C) Acoplamento da ponta Accudose preenchida com o cimento AH Plus à seringa Centrix; (D) Preenchimento do canal radicular com o cimento AH Plus; (E e F) Cone F4 untado com o cimento sendo introduzido com movimento circular e gradativo até o CT; (G) Excesso de material obturador sendo removido na entrada do canal radicular com auxílio do condensador Fine Medium aquecido; (H) Visão da embocadura do canal radicular após a condensação vertical;

Grupo WaveOne

Nove dentes do grupo WaveOne foram obturados pela técnica do cone único utilizando os carregadores plásticos WaveOne Large (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça; Lote 1147722303). Após a secagem do canal radicular com cones de papel absorvente F3 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça; Lote 108712B), o cimento AH Plus (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Alemanha; Lote 1002001970) foi

manipulado sobre um bloco de papel e aplicado nas paredes do canal radicular com um cone acessório de guta-percha tamanho Fine (Ícone, Belo Horizonte, MG, Brasil; Lote 07-11-GP). O carreador WaveOne Large foi inserido na câmara do forno aquecedor ThermoPrep Plus (Tulsa Dental Products, Tulsa, OK, EUA) e ativado na função *Size 70-90* até que um sinal sonoro fosse emitido, indicando que a guta-percha estava plastificada. O carreador foi retirado da câmara de aquecimento e com um único movimento de inserção, sem rotação ou forte pressão, o carreador foi levado até o CT. Após 2 minutos em posição, a haste do carreador foi cortada ao nível da entrada do canal com uma ponta esférica diamantada número 1014 (KG Sorensen Ind. e Com. Ltda., São Paulo, Brasil) em alta rotação e sem refrigeração. Após a remoção da haste, com a guta-percha ainda plastificada, realizou-se a condensação vertical com o condensador manual número 2 (Hand Pluggers Buchanan; SybronEndo, Glendora, CA, EUA; Lote 1CF) à frio, com pressão leve e firme em direção apical por 5 segundos (Figura 18).

Figura 18. (A) Carreador WaveOne Large; (B) Carreadores WaveOne Large acoplados ao dispositivo de aquecimento; (C) Carreadores WaveOne no interior da câmara de aquecimento do forno ThermoPrep Plus; (D) Detalhe do registro de aquecimento utilizado para o carreador WaveOne Large; (E) Carreador WaveOne Large retirado da câmara de aquecimento após plastificação; (F) Carreador WaveOne Large inserido no canal radicular até o CT.

Grupo Reciproc

Nove dentes do grupo Reciproc foram obturados pela técnica do cone único utilizando a mesma técnica e o mesmo cimento endodôntico do grupo ProTaper. Contudo, o cone de guta-percha utilizado foi o Reciproc R40 (VDW GmbH, Munique, Alemanha; Lote 518189D), recomendado pelo fabricante (Figura 19).

Figura 19. (A) Cone de guta-percha Reciproc R40; (B) Apresentação comercial dos cones de guta-percha R40.

Grupo SAF

Nove dentes do grupo SAF foram obturados pela técnica da condensação lateral. Após a secagem do canal radicular com cones de papel absorvente F3 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça; Lote 108712B), um cone de guta-percha 40.06 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça; Lote 362168C) foi inserido até o comprimento de trabalho. Após confirmação radiográfica de sua adaptação à região apical, o cone foi removido e, após manipulação, o cimento AH Plus (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Alemanha; Lote 1002001970) foi injetado no interior do canal radicular com auxílio de uma ponta Accudose Agulha (DFL Indústria e Comércio S.A., Rio de Janeiro, RJ, Brasil) até seu completo preenchimento, de

forma similar aos grupos ProTaper e Reciproc. O cone selecionado e untado com o cimento AH Plus foi introduzido no canal com movimento circular e gradativo, até o comprimento de trabalho. A condensação lateral ativa foi realizada com auxílio de espaçadores digitais tipo C de níquel-titânio (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) que foram introduzidos 2 a 3 mm aquém do CT, lateralmente ao cone de guta-percha principal. O cone principal foi forçado de encontro a uma parede do canal radicular criando espaço que foi preenchido com cones acessórios de guta-percha tamanho Fine (Ícone, Belo Horizonte, MG, Brasil; Lote 07-11-GP), envoltos em cimento obturador. Os cones acessórios foram inseridos individualmente após a utilização do espaçador digital até o completo preenchimento do canal. Em seguida, o excesso de material obturador foi removido na entrada do canal radicular com auxílio do condensador Fine Medium (Buchanan Plugger .08 Taper; SybronEndo, Glendora, CA, EUA) previamente aquecido e acoplado ao dispositivo de geração de calor Denjoy (Denjoy Dental Co. Ltda, Changsha, Hunan, China). Com a guta-percha ainda plastificada, realizou-se a condensação vertical com o condensador manual número 2 (Hand Pluggers Buchanan; SybronEndo, Glendora, CA, EUA; Lote 1CF) à frio, com pressão leve e firme em direção apical por 5 segundos.

Grupos Controle

Os 7 espécimes restantes de cada grupo experimental foram redistribuídos nos grupos controle positivo e negativo.

Controle positivo

Sete espécimes tiveram seus canais preenchidos com cimento RealSeal e os outros sete com cimento AH Plus, sem a utilização de cones de Resilon ou gutapercha. Para isto, após sua manipulação, conforme orientação do fabricante, o cimento foi dispensado no interior de uma ponta Accudose Agulha com cânula de aço (DFL Indústria e Comércio S.A., Rio de Janeiro, RJ, Brasil) e injetado no interior do canal radicular com auxílio da seringa Centrix (DFL Indústria e Comércio S.A., Rio de Janeiro, RJ, Brasil), até seu completo preenchimento.

Controle negativo

Sete espécimes foram obturados com Resilon pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação e sete espécimes pelo sistema Thermafil utilizando carreadores plásticos WaveOne Large. Em nenhum dos espécimes foi utilizado cimento obturador.

Após a obturação do canal radicular, cada espécime foi individualmente colocado em um tubo Eppendorf vazio, mantido aberto para o armazenamento em estufa (37°C, 95% umidade relativa) até o momento do terceiro exame microtomográfico.

Terceiro exame microtomográfico

Após o posicionamento de um filtro de 0,5 mm de alumínio em frente à câmera CCD, seguido da correção do campo de aquisição (*flat-field*), iniciou-se a aquisição das projeções do espécime em diversas angulações ao longo de uma rotação de 360°, com passos de rotação de dois graus. Definiu-se uma quantidade total de 2 quadros (*frames*) tomados em cada projeção angular com tamanho de *voxel* isotrópico de 19,66 µm. As projeções bidimensionais das imagens geradas foram arquivadas em formato TIFF. O detalhamento dos parâmetros de aquisição das projeções dos espécimes está disposto no Anexo 6.

A etapa seguinte consistiu em uma sequência de procedimentos visando a segmentação dos materiais obturadores.

Neste sentido, procedeu-se à reconstrução das imagens das seções transversais a partir das imagens das projeções angulares por meio do algoritmo de reconstrução de feixe cônico de Feldkamp modificado no programa NRecon v.1.6.4 (SkyScan, Kontich, Bélgica), usando os mesmos parâmetros descritos no exame tomográfico inicial. Em razão do conteúdo de alta densidade presente no interior do canal radicular, o valor máximo do histograma de contraste no modo logarítmico precisou ser ajustado para 0,28. As imagens reconstruídas como imagens de seções transversais foram salvas em formato *bitmap* (Figura 20) Esse processo resultou em uma média de 794 fatias por espécime (amplitude de 636 a 918 fatias), cobrindo toda sua extensão, desde a porção cervical até o ápice anatômico.

Figura 20. Secções transversais da região cervical de quatro espécimes obturados por diferentes técnicas, após procedimento de reconstrução, mostrando o conteúdo de alta densidade no interior dos canais (materiais obturadores) apresentado falhas (setas brancas) e artefato de “endurecimento de feixe” ou *beam hardening* (setas amarelas).

Após a reconstrução, as imagens foram processadas e analisadas com auxílio do programa CTAn v.1.11. Para cada espécime, selecionou-se o mesmo intervalo de secções avaliadas no exame microtomográfico inicial. No módulo *Region of Interest*, selecionou-se manualmente a região de interesse (ROI) correspondente à área aonde estava o material obturador e no módulo *Binary Images* definiram-se os valores de *Threshold* mínimo e máximo em 142 e 255, respectivamente. A seguir, utilizando a ferramenta *3D Analysis*, no módulo *Processed Images*, calculou-se o volume total do objeto selecionado e binarizado contido na ROI, correspondente ao material obturador. O valor resultante foi subtraído do volume do canal radicular preparado obtido no exame microtomográfico final. Em seguida, calculou-se a representação percentual desta diferença em relação ao volume total do canal radicular. O valor resultante correspondeu ao percentual volumétrico de espaços vazios presentes após a obturação do canal radicular. De forma complementar, por meio da ferramenta *Create 3-D Model* no módulo *Binary Images* foram gerados modelos tridimensionais do material obturador contido na ROI por meio do algoritmo *double time cubes*, no formato P3G,

possibilitando sua avaliação qualitativa no programa CTVol 2.1 (SkyScan, Kontich, Bélgica). Além disto, as secções bidimensionais mais representativas dos espaços vazios observadas em cada espécime foram obtidas por meio do programa DataViewer v.1.4.4 (SkyScan, Kontich, Bélgica) e avaliadas qualitativamente.

Após o escaneamento, os espécimes foram recolocados nos tubos Eppendorf vazios e armazenados em estufa (37°C, 95% umidade relativa), até a terceira parte do estudo.

Parte 3. Avaliação da resistência de união ao cisalhamento por extrusão

Os espécimes foram fixados em placas de resina acrílica com cera para escultura (Asfer Ind. Química, São Caetano do Sul, SP, Brasil), com seu longo eixo paralelo à superfície planificada dos mesmos. As placas de resina com os espécimes fixados foram individualmente acopladas à máquina de cortes Isomet 1000 (Buehler, Lake Forest, IL, EUA) em que um disco diamantado de 0,5 mm de espessura (South Bay Technology, San Clement, CA, EUA), sob refrigeração constante, realizou cortes no sentido méso-distal, perpendicularmente ao longo eixo da raiz, à velocidade de 325 rpm e peso de 75 g. Em cada terço da raiz de cada espécime foram obtidos dois corpos de prova (*slices*) contíguos com aproximadamente 1,0 mm ($\pm 0,1$ mm) de espessura (Figura 21). Para o teste de cisalhamento por extrusão (*push-out*) selecionou-se um *slice* de cada terço, totalizando 3 *slices* por espécime. Dentre os outros *slices*, selecionaram-se três de cada terço, por grupo, para análise em microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Teste de cisalhamento por extrusão (*push-out*)

Os *slices* selecionados para o ensaio de cisalhamento por extrusão foram fixados a uma base metálica de aço inoxidável acoplada na porção inferior da máquina de ensaio universal Instron Modelo 4444 (Instron, Canton, MA, EUA) contendo um orifício de 2,5 mm de diâmetro em sua porção central. O corpo de prova foi posicionado na mesma direção do orifício da base metálica com sua face cervical voltada para baixo. Hastes metálicas com ponta ativa de 0,6 mm, 0,4 mm e 0,25 mm de diâmetro, compatíveis ao diâmetro do canal radicular nos terços

cervical, médio e apical, respectivamente, foram fixadas individualmente na porção superior da máquina de ensaio universal e posicionadas sobre o material obturador. Em seguida, a máquina Instron foi acionada com velocidade de cruzeta de 0,5 mm/min até o deslocamento do material obturador. A força necessária para seu deslocamento foi aferida em QuiloNewtons (KN) (Figura 22).

Figura 21. (A) Espécime disposto sobre uma placa de resina acrílica transparente; (B) Espécime fixado à placa de acrílico com cera para escultura; (C) Placa de acrílico fixada à máquina de cortes Isomet; (D) Início do procedimento de corte do espécime no sentido mésio-distal, perpendicularmente ao longo eixo da raiz; (E) Término do procedimento de corte do espécime (vista lateral); (F) Vista inferior da placa acrílica mostrando a finalização do procedimento de corte do espécime; (G) Vista superior do espécime recoberto de cera após o corte para obtenção de *slices* de aproximadamente 1,0 mm de espessura; (H) Vista inferior da placa de acrílico mostrando os *slices* obtidos após o procedimento de corte; (I) *Slices* dos terços cervical, médio e apical (da direita para esquerda) selecionados para o teste de cisalhamento por extrusão.

Para calcular a resistência de união, a força resultante foi transformada em Newtons (N) e convertida em MegaPascal (MPa), pela divisão da área lateral do material obturador. Para o cálculo exato da área lateral aderida, o aspecto geométrico do material obturador foi considerado de acordo com o nível do corte realizado para obtenção dos *slices*.

Figura 22. (A) Máquina de ensaio universal Instron Modelo 4444; (B) Haste metálica com ponta ativa de 0,6 mm posicionada acima da base metálica de aço inoxidável contendo um orifício de 2,5 mm de diâmetro na região central; (C) Hastes metálicas com ponta ativa com diâmetros de 0,6 mm, 0,4 mm e 0,25 mm (esquerda para direita) utilizadas no teste de *push-out* nos *slices* referentes aos terços cervical, médio e apical, respectivamente; (D) Haste metálica com ponta ativa de 0,6 mm posicionada sobre o material obturador de um *slice* obtido do terço cervical.

Para isto, a altura de cada *slice* foi mensurada com o auxílio de um paquímetro digital (Mitutoyo Messgerate GmbH, Neuss, Alemanha; acurácia de 0,001 mm) e a área de adesão, em mm², foi calculada pela fórmula da área lateral do tronco de cone (S_L):

$$S_L = \pi (R + r) \sqrt{h^2 + (R - r)^2}$$

Nesta fórmula, “R” é a medida do raio do material obturador em sua porção coronal, “r” é medida do raio do material obturador em sua porção apical e “h” é a altura/espessura do material obturador. A partir destes dados, calculou-se a resistência de união (RU), em MPa, dividindo-se a força necessária para o deslocamento do material obturador pela sua área lateral ($RU = F/S_L$).

Para a análise fractográfica, todos os *slices* submetidos ao teste de cisalhamento por extrusão foram avaliados em aumento de 50 vezes por meio de microscópio digital (ISM-PM200S; Insize Co. Ltda, Suzhou, China). As falhas observadas foram determinadas em percentuais e classificadas em um dos cinco subtipos: a) adesiva à dentina: se o material obturador deslocou-se da dentina; b) adesiva ao material obturador: se a guta-percha ou o Resilon deslocou-se do

cimento endodôntico; c) adesiva mista: quando a guta-percha ou o Resilon deslocou-se tanto da dentina quanto do cimento endodôntico; d) coesiva na dentina: quando ocorreu fratura na dentina; e) coesiva no cimento obturador: quando ocorreu fratura no cimento endodôntico (Figura 23).

Figura 23. Imagens representativas dos tipos de falhas observadas (setas) após o teste de resistência de união: (A) adesiva na dentina; (B) adesiva no material obturador; (C) adesiva mista; (D) coesiva na dentina; (E) coesiva no material obturador. C = cimento obturador; D = dentina; G = guta-percha; R = resilon; W = carreador plástico do sistema obturador WaveOne.

Análise da interface dentina/material obturador por microscopia eletrônica de varredura

A análise em microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada em *slíces* obtidos das regiões cervical, média e apical. Neste sentido, selecionou-se aleatoriamente três espécimes dos grupos ProTaper, WaveOne, Reciproc e SAF, obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação e pela técnica recomendada pelo fabricante, e dois espécimes de cada grupo controle, totalizando 24 espécimes dos grupos experimentais e 8 espécimes dos grupos controle.

Foram feitas fotomicrografias em aumentos de 35, 500 e 1000X, em quatro pontos distintos (superior, inferior, direito e esquerdo), correspondendo aos quadrantes da interface dentina/material obturador (Figura 24), em cada região

analisada. Assim, considerando-se que foram avaliados 3 *slices* por espécime e, em cada um deles 4 pontos distintos, realizou-se o montante de 12 avaliações por raiz, totalizando 384 avaliações nos 32 espécimes selecionados.

Figura 24. Modelo tridimensional obtido por microtomografia de um *slice* do terço cervical com a representação esquemática das quatro regiões avaliadas em MEV correspondentes aos quadrantes superior (s), inferior (i), direito (d) e esquerdo (e) da interface dentina/material obturador.

Os espécimes foram superficialmente desmineralizados em ácido clorídrico (HCl) a 6 M por 30 segundos, desproteinizados em hipoclorito de sódio (NaOCl) a 2% por 10 minutos e enxaguados com água deionizada. Na sequência, foram fixados com glutaraldeído a 3% tamponado ao pH de 7,4 (Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha), com 0,1 M de fosfato de sódio, por 12 horas a 4° C. Uma vez fixados, foram imersos em cacodilato de sódio 0,1 M (pH 7,4) por 1 hora, com 3 trocas sucessivas, e enxaguados com água destilada por 1 minuto. Foram então sequencialmente desidratados em bateria alcoólica em crescentes concentrações (25°, 50°, 60°, 70°, 80° e 96° GL), por 20 minutos cada, e em concentração de 100°

GL por 1 hora, seguido de sua imersão em hexametildisilazano (HMDS, Ted Pella, Redding, CA, EUA) por 10 minutos.

Após a desidratação, os *slices* foram fixados sobre a face plana de estruturas cilíndricas de alumínio (*stubs*) com dimensões de 10 x 10 mm utilizando-se fita adesiva de dupla face (Electron Microscopy Sciences, Washington, EUA). Em seguida, as amostras foram metalizadas por meio de fina camada de ouro de 300 Å (Bal-Tec SCD 005, Bal-Tec Co., EUA) sob vácuo (Denton Vacuum Desk II, Moorestown, New Jersey, NJ, EUA), de acordo com os seguintes parâmetros: pressão de 0,01 mbar, corrente de 40 mA, distância de trabalho de 50 mm e tempo de cobertura de 110 segundos. As amostras metalizadas sobre o *stubs* foram dispostas no microscópio eletrônico de varredura (JSM 5410, JEOL Ltda., Tóquio, Japão) operando a 20 KV para avaliação qualitativa e quantitativa da interface do material obturador com a dentina em relação à presença e morfologia de *tags* provenientes do cimento obturador.

Neste sentido, foram estabelecidos escores de 0 a 3 para cada condição observada. O escore “0” representou ausência de formação de *tags* (Figura 25A). O escore “1” quando se observou formação de *tags* curtos e em pequeno número (Figura 25B). O escore “2” foi utilizado para representar a formação de *tags* numerosos e longos, mas sem a presença de ramificações laterais (Figura 25C). O escore “3” representou a formação de *tags* longos, numerosos e com ramificações laterais uniformemente evidentes (Figura 25D).

Figura 25. Fotomicrografias (MEV) representativas dos escores utilizados na análise da interface dentina/material obturador. (A) Escore “0”: ausência de formação de *tags* (X 500); (B) escore “1”: presença de *tags* curtos e esparsos (X 500); (C) escore “2”: presença de *tags* numerosos e longos, mas sem a presença de ramificações laterais (X 500); (D) escore “3”: presença de *tags* longos, numerosos, uniformemente distribuídos e com ramificações laterais (X 500).

Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa SPSS versão 17 (LEAD Technologies, Inc., Chicago, IL, EUA). 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% ($p < 0,05$).

Distribuição amostral

A distribuição paramétrica dos resultados permitiu a aplicação do teste de análise de variância (One-Way ANOVA) para comprovação estatística da homogeneidade dos grupos após o procedimento de estratificação proporcional, em relação aos parâmetros bidimensionais e tridimensionais do canais radicular.

Parte 1. Avaliação microtomográfica do preparo do canal radicular

Considerando-se a distribuição normal dos resultados, aplicou-se o teste paramétrico de análise de variância (One-Way ANOVA). Nos casos em que o valor de F da análise de variância apresentou-se significativo, utilizou-se o teste de Tukey para avaliação de diferenças entre as médias.

Parte 2. Avaliação microtomográfica do percentual volumétrico de espaços vazios após a obturação

Considerando-se a distribuição não-normal dos resultados, aplicou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis para comparação entre grupos e o teste de Friedman para comparação entre os terços do canal no mesmo grupo.

Parte 3. Avaliação da resistência de união ao cisalhamento por extrusão

Os dados originais referentes à tensão máxima de deslocamento do material obturador apresentaram distribuição normal e foram submetidos à análise estatística paramétrica por meio do teste de análise de variância (One-Way ANOVA) e teste *post hoc* de Tukey.

Para a comparação dos valores de resistência de união ao cisalhamento de cada grupo experimental com seu respectivo grupo controle, optamos pela realização do teste de análise de variância (One-Way ANOVA) seguido do teste *post hoc* de Dunnett. Por vezes o objetivo de uma análise de comparações múltiplas é comparar um grupo em particular (normalmente o grupo controle) com cada um dos grupos experimentais. Este teste *post hoc* foi criado especificamente para situações em que todos os grupos precisam ser comparados com um grupo de referência, normalmente o grupo controle, identificando aqueles cujas médias são significativamente diferentes do grupo de referência.

Dentro de cada grupo, a comparação dos valores de resistência de união entre as técnicas de obturação foi realizada por meio do teste *t* para amostras independentes. A mediana dos escores registrados na análise em MEV da interface do material obturador com a dentina foram avaliados pelos testes de Kruskal-Wallis e Friedman, a fim de detectar diferenças significativas entre os grupos e em relação aos diferentes terços no mesmo grupo, respectivamente.

RESULTADOS

Distribuição amostral

Os valores mínimos e máximos referentes ao comprimento de trabalho e aos parâmetros tridimensionais de volume, área de superfície e SMI, obtidos na análise microtomográfica inicial de toda a amostra (n=100), foram organizados em três estratos, permitindo a distribuição dos espécimes nos grupos experimentais, por meio da técnica de amostragem estratificada proporcional. Este procedimento visou assegurar o padrão de homogeneidade anatômica da amostra em cada grupo uma vez que a variabilidade anatômica poderia influenciar os resultados (Tabela I).

Tabela I. Determinação dos estratos obtidos a partir dos valores mínimo e máximo dos parâmetros tridimensionais obtidos durante a avaliação morfométrica dos canais radiculares de 100 caninos inferiores unirradiculares, no exame microtomográfico inicial.

	Comprimento de trabalho (mm)	Volume (mm³)	Área de Superfície (mm²)	SMI
Mínimo	12,53	3,16	26,4	0,76
Máximo	19,01	37,26	112,89	3,24
Estrato 1	12,53 a 14,68	3,16 a 14,52	26,4 a 55,22	0,76 a 1,58
Estrato 2	14,69 a 16,84	14,53 a 25,88	55,23 a 84,05	1,59 a 2,40
Estrato 3	16,85 a 19,01	25,89 a 37,26	84,06 a 112,89	2,41 a 3,24

A partir destes dados, definiu-se o quantitativo percentual de elementos que seriam retirados de cada estrato de forma que o número de elementos sorteados fosse proporcional, possibilitando a distribuição de todos espécimes (n=100) em 4 grupos experimentais (n=25), de forma mais homogênea e representativa da sua variabilidade anatômica, como evidenciado nas Tabelas II a V.

Tabela II. Dados morfométricos (média $\pm$ desvio-padrão) do canal radicular de 100 caninos inferiores distribuídos nos 4 grupos experimentais (n=25), antes do preparo biomecânico.

		Grupo ProTaper (n=25)	Grupo WaveOne (n=25)	Grupo Reciproc (n=25)	Grupo SAF (n=25)	p*
Análise 3D	Comp. de trabalho	15,65 $\pm$ 1,20	15,46 $\pm$ 1,20	15,63 $\pm$ 1,19	15,53 $\pm$ 1,30	.94
	Volume	12,99 $\pm$ 5,51	13,41 $\pm$ 6,55	13,69 $\pm$ 3,07	13,24 $\pm$ 4,40	.96
	Área de superfície	63,80 $\pm$ 17,20	61,22 $\pm$ 21,20	64,93 $\pm$ 13,43	64,11 $\pm$ 13,10	.87
	SMI	2,18 $\pm$ 0,61	2,57 $\pm$ 0,42	2,47 $\pm$ 0,86	2,16 $\pm$ 0,50	.05
Análise 2D	Área	0,85 $\pm$ 0,39	0,86 $\pm$ 0,40	0,84 $\pm$ 0,18	0,85 $\pm$ 0,26	.99
	Perímetro	3,68 $\pm$ 0,92	3,55 $\pm$ 1,16	3,73 $\pm$ 0,75	3,80 $\pm$ 0,63	.79
	Circularidade	0,60 $\pm$ 0,09	0,60 $\pm$ 0,12	0,58 $\pm$ 0,11	0,56 $\pm$ 0,10	.51
	Diâmetro maior	1,32 $\pm$ 0,35	1,32 $\pm$ 0,48	1,39 $\pm$ 0,35	1,41 $\pm$ 0,25	.75
	Diâmetro menor	0,72 $\pm$ 0,16	0,72 $\pm$ 0,16	0,72 $\pm$ 0,09	0,71 $\pm$ 0,14	.98

* Ausência de diferença estatística entre os grupos ($p>0,05$). 2D: bidimensional; 3D: tridimensional.

Tabela III. Dados morfométricos (média $\pm$ desvio-padrão) do terço cervical do canal radicular de 100 caninos inferiores distribuídos nos 4 grupos experimentais (n=25), antes do preparo biomecânico.

		Grupo ProTaper (n=25)	Grupo WaveOne (n=25)	Grupo Reciproc (n=25)	Grupo SAF (n=25)	p*
Análise 3D	Comp. de trabalho	8,38 $\pm$ 3,73	8,59 $\pm$ 4,0	8,57 $\pm$ 3,07	8,59 $\pm$ 1,93	.99
	Volume	35,88 $\pm$ 10,10	33,85 $\pm$ 10,01	36,64 $\pm$ 7,75	36,33 $\pm$ 7,35	.68
	Área de superfície	2,15 $\pm$ 0,52	2,33 $\pm$ 0,42	2,07 $\pm$ 0,62	2,41 $\pm$ 1,09	.29
	SMI	1,58 $\pm$ 0,65	1,67 $\pm$ 0,72	1,59 $\pm$ 0,50	1,64 $\pm$ 0,33	.94
Análise 2D	Área	5,75 $\pm$ 1,39	5,60 $\pm$ 1,56	5,85 $\pm$ 0,99	5,96 $\pm$ 1,18	.79
	Perímetro	0,46 $\pm$ 0,16	0,51 $\pm$ 0,17	0,45 $\pm$ 0,16	0,45 $\pm$ 0,15	.43
	Circularidade	2,20 $\pm$ 0,61	2,15 $\pm$ 0,71	2,27 $\pm$ 0,45	2,32 $\pm$ 0,57	.74
	Diâmetro maior	1,01 $\pm$ 0,28	1,06 $\pm$ 0,24	0,99 $\pm$ 0,24	1,0 $\pm$ 0,18	.75
	Diâmetro menor	8,38 $\pm$ 3,73	8,59 $\pm$ 4,0	8,57 $\pm$ 3,07	8,59 $\pm$ 1,93	.99

* Ausência de diferença estatística entre os grupos ($p>0,05$). 2D: bidimensional; 3D: tridimensional.

Tabela IV. Dados morfométricos (média $\pm$ desvio-padrão) do terço médio do canal radicular de 100 caninos inferiores distribuídos nos 4 grupos experimentais (n=25), antes do preparo biomecânico.

		Grupo ProTaper (n=25)	Grupo WaveOne (n=25)	Grupo Reciproc (n=25)	Grupo SAF (n=25)	p*
Análise 3D	Comp. de trabalho	3,59 $\pm$ 1,59	3,66 $\pm$ 2,17	4,64 $\pm$ 1,29	3,66 $\pm$ 1,39	.99
	Volume	20,74 $\pm$ 7,02	20,19 $\pm$ 9,42	22,36 $\pm$ 5,38	21,94 $\pm$ 6,07	.86
	Área de superfície	2,87 $\pm$ 1,60	2,43 $\pm$ 0,32	2,65 $\pm$ 0,30	2,02 $\pm$ 0,54	.05
	SMI	0,68 $\pm$ 0,29	0,70 $\pm$ 0,41	0,70 $\pm$ 0,22	0,74 $\pm$ 0,29	.91
Análise 2D	Área	3,48 $\pm$ 1,0	3,41 $\pm$ 1,48	3,54 $\pm$ 0,93	3,77 $\pm$ 0,88	.67
	Perímetro	0,63 $\pm$ 0,13	0,64 $\pm$ 0,14	0,64 $\pm$ 0,17	0,56 $\pm$ 0,13	.18
	Circularidade	1,21 $\pm$ 0,39	1,22 $\pm$ 0,59	1,25 $\pm$ 0,44	1,34 $\pm$ 0,34	.74
	Diâmetro maior	0,73 $\pm$ 0,14	0,73 $\pm$ 0,17	0,75 $\pm$ 0,10	0,72 $\pm$ 0,15	.87
	Diâmetro menor	3,59 $\pm$ 1,59	3,66 $\pm$ 2,17	4,64 $\pm$ 1,29	3,66 $\pm$ 1,39	.99

* Ausência de diferença estatística entre os grupos ($p>0,05$). 2D: bidimensional; 3D: tridimensional.

Tabela V. Dados morfométricos (média $\pm$ desvio-padrão) do terço apical do canal radicular de 100 caninos inferiores distribuídos nos 4 grupos experimentais (n=25), antes do preparo biomecânico.

		Grupo ProTaper (n=25)	Grupo WaveOne (n=25)	Grupo Reciproc (n=25)	Grupo SAF (n=25)	p*
Análise 3D	Comp. de trabalho	1,02 $\pm$ 0,52	1,01 $\pm$ 0,62	1,02 $\pm$ 0,46	1,06 $\pm$ 0,51	.98
	Volume	9,91 $\pm$ 2,95	9,76 $\pm$ 3,75	10,0 $\pm$ 2,53	10,20 $\pm$ 3,02	.97
	Área de superfície	2,50 $\pm$ 0,38	2,60 $\pm$ 0,26	2,52 $\pm$ 0,37	2,54 $\pm$ 0,35	.78
	SMI	0,20 $\pm$ 0,10	0,19 $\pm$ 0,12	0,19 $\pm$ 0,08	0,21 $\pm$ 0,09	.90
Análise 2D	Área	1,66 $\pm$ 0,46	1,64 $\pm$ 0,56	1,70 $\pm$ 0,37	1,78 $\pm$ 0,45	.72
	Perímetro	0,71 $\pm$ 0,08	0,66 $\pm$ 0,11	0,66 $\pm$ 0,08	0,68 $\pm$ 0,09	.20
	Circularidade	0,57 $\pm$ 0,16	0,58 $\pm$ 0,21	0,59 $\pm$ 0,13	0,62 $\pm$ 0,17	.70
	Diâmetro maior	0,41 $\pm$ 0,10	0,38 $\pm$ 0,10	0,40 $\pm$ 0,08	0,42 $\pm$ 0,08	.60
	Diâmetro menor	1,02 $\pm$ 0,52	1,01 $\pm$ 0,62	1,02 $\pm$ 0,46	1,06 $\pm$ 0,51	.98

* Ausência de diferença estatística entre os grupos ($p>0,05$). 2D: bidimensional; 3D: tridimensional.

A utilização da técnica de amostragem estratificada proporcional permitiu distribuir a amostra de forma que não houvesse diferença estatística entre os grupos ($p>0,05$) considerando-se todo o canal (Tabela II), bem como os terços cervical (Tabela III), médio (Tabela IV) e apical (Tabela V).

Na Figura 26 estão dispostos os modelos tridimensionais representativos dos canais radiculares dos grupos ProTaper (A), WaveOne (B), Reciproc (C) e SAF (D), obtidos no exame microtomográfico inicial, aonde se evidencia a característica ovalada e irregular da anatomia. Os modelos tridimensionais dos canais radiculares de todos os espécimes ($n=100$) obtidos no exame microtomográfico inicial, antes do preparo biomecânico, estão dispostos nos apêndices 1 a 4.

Figura 26. Vista frontal (F) e lateral (L) de modelos representativos da anatomia do canal não preparado de dois espécimes dos grupos ProTaper (A), WaveOne (B), Reciproc (C) e SAF (D).

Parte 1. Avaliação microtomográfica do preparo do canal radicular

As diferenças absolutas (Δ) e percentuais (%) referentes aos dados morfométricos bidimensionais (área, perímetro, circularidade, diâmetro maior, diâmetro menor) obtidos em todas as secções dos espécimes dos grupos ProTaper (n=25), WaveOne (n=25), Reciproc (n=25) e SAF (n=25) a partir dos exames microtomográficos estão dispostos nas tabelas VI a X. Neste sentido, foi avaliado um quantitativo de 19895 secções no grupo ProTaper, 19644 secções no grupo WaveOne, 19855 secções no grupo Reciproc e 19641 secções no grupo SAF, totalizando 79035 secções.

Em relação à área (Tabela VI), considerando todo o canal radicular, observou-se ausência de diferença estatística entre os grupos ProTaper, WaveOne e Reciproc ($p>0,05$) que tiveram valores significativamente maiores que o grupo SAF ($p<0,05$). A análise dos terços evidenciou que a SAF também apresentou alteração significativamente menor que os grupos ProTaper, WaveOne e Reciproc ($p<0,05$). Adicionalmente, os valores médios absolutos de alteração da área do canal nos grupos ProTaper e WaveOne foram maiores que no grupo Reciproc em todos os terços, contudo, com diferença estatística apenas nos terços médio e apical ($p<0,05$). Em todos os grupos foi observada diferença estatisticamente significativa em relação à alteração da área depois do preparo biomecânico ($p<0,05$), exceto no terço médio do grupo SAF ($p>0,05$).

Tabela VI. Alteração absoluta (Δ) e percentual (%) da área do canal radicular (média $\pm$ desvio-padrão), considerando-se todas as secções obtidas na reconstrução dos espécimes.

Terços	Grupo ProTaper	Grupo WaveOne	Grupo Reciproc	Grupo SAF	p
Todos	n=25	n=25	n=25	n=25	
Antes	0,85 $\pm$ 0,39 ^A	0,86 $\pm$ 0,40 ^A	0,84 $\pm$ 0,18 ^A	0,85 $\pm$ 0,26 ^A	
Depois	1,21 $\pm$ 0,30 ^B	1,25 $\pm$ 0,40 ^B	1,14 $\pm$ 0,20 ^B	1,02 $\pm$ 0,25 ^B	
Δ	0,36 $\pm$ 0,19 ^a	0,39 $\pm$ 0,12 ^a	0,30 $\pm$ 0,10 ^a	0,17 $\pm$ 0,07 ^b	<i>.0001</i>
%	60,59 $\pm$ 47,41 ^a	62,77 $\pm$ 50,79 ^a	37,09 $\pm$ 16,07 ^a	22,28 $\pm$ 11,77 ^b	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	
Cervical					
Antes	1,58 $\pm$ 0,65 ^A	1,67 $\pm$ 0,72 ^A	1,64 $\pm$ 0,33 ^A	1,59 $\pm$ 0,50 ^A	
Depois	2,36 $\pm$ 0,59 ^B	2,34 $\pm$ 0,72 ^B	2,26 $\pm$ 0,37 ^B	2,02 $\pm$ 0,48 ^B	
Δ	0,77 $\pm$ 0,24 ^a	0,67 $\pm$ 0,25 ^a	0,62 $\pm$ 0,26 ^a	0,42 $\pm$ 0,23 ^b	<i>.0001</i>
%	65,87 $\pm$ 51,89 ^a	52,02 $\pm$ 38,79 ^a	40,55 $\pm$ 22,37 ^a	29,98 $\pm$ 18,78 ^b	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	
Médio					
Antes	0,68 $\pm$ 0,29 ^A	0,70 $\pm$ 0,41 ^A	0,70 $\pm$ 0,22 ^A	0,74 $\pm$ 0,29 ^A	
Depois	0,98 $\pm$ 0,27 ^B	1,04 $\pm$ 0,41 ^B	0,89 $\pm$ 0,23 ^B	0,80 $\pm$ 0,26 ^B	
Δ	0,30 $\pm$ 0,09 ^a	0,34 $\pm$ 0,10 ^a	0,19 $\pm$ 0,06 ^b	0,06 $\pm$ 0,14 ^c	<i>.0001</i>
%	57,71 $\pm$ 40,05 ^a	82,62 $\pm$ 87,16 ^a	30,03 $\pm$ 13,26 ^b	11,22 $\pm$ 17,22 ^c	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.057</i>	
Apical					
Antes	0,20 $\pm$ 0,10 ^A	0,19 $\pm$ 0,12 ^A	0,19 $\pm$ 0,08 ^A	0,21 $\pm$ 0,09 ^A	
Depois	0,30 $\pm$ 0,09 ^B	0,35 $\pm$ 0,11 ^B	0,28 $\pm$ 0,07 ^B	0,23 $\pm$ 0,10 ^B	
Δ	0,11 $\pm$ 0,04 ^a	0,16 $\pm$ 0,06 ^b	0,09 $\pm$ 0,04 ^a	0,02 $\pm$ 0,04 ^c	<i>.0001</i>
%	84,64 $\pm$ 72,63 ^a	133,8 $\pm$ 129,2 ^b	58,62 $\pm$ 42,90 ^a	12,90 $\pm$ 19,87 ^c	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.009</i>	

Valores de p indicando diferença estatística estão grafados em *itálico*. Diferentes letras maiúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferença estatística dentro do mesmo grupo, enquanto diferentes letras minúsculas sobrescritas na mesma linha indicam diferença estatística entre os grupos ($p < 0,05$).

Em relação ao perímetro (Tabela VII), na análise do canal radicular como um todo, houve diferença estatística entre os grupos WaveOne, Reciproc e SAF ($p < 0,05$), enquanto o grupo ProTaper apresentou resultado intermediário e estatisticamente similar aos grupos WaveOne e Reciproc ($p > 0,05$). Na análise dos terços, a SAF apresentou alteração significativamente menor que os outros grupos ($p < 0,05$), exceto no terço cervical em que foi similar ao grupo Reciproc ($p > 0,05$), o qual apresentou valor intermediário e estatisticamente igual aos grupos ProTaper e WaveOne ($p > 0,05$). Em todos os grupos foi observada diferença estatisticamente significativa em relação à alteração do perímetro depois do preparo biomecânico ($p < 0,05$), exceto nos terços médio e apical do grupo SAF ($p < 0,05$). Cumpre salientar que no terço cervical, o valor de p no grupo SAF (0,48) ficou muito próximo do nível de significância (5%).

As alterações de circularidade (Tabela VIII), considerando-se todo o canal radicular, foram maiores nos grupos ProTaper e WaveOne em comparação aos grupos Reciproc e SAF ($p < 0,05$), que foram estatisticamente iguais ($p > 0,05$). Na análise dos terços, este padrão se manteve, ou seja, os grupos ProTaper e WaveOne foram estatisticamente iguais ($p > 0,05$) e apresentaram alterações de circularidades significativamente maiores que os grupos Reciproc e SAF ($p < 0,05$), que foram iguais entre si ($p > 0,05$). Em todos os grupos foi observada diferença estatística significativa em relação à alteração da circularidade depois do preparo biomecânico ($p < 0,05$), exceto no terço apical do grupo SAF ($p > 0,05$).

Tabela VII. Alteração absoluta (Δ) e percentual (%) do perímetro do canal radicular (média $\pm$ desvio-padrão), considerando-se todas as secções obtidas na reconstrução dos espécimes.

Terços	Grupo ProTaper	Grupo WaveOne	Grupo Reciproc	Grupo SAF	p
Todos	n=25	n=25	n=25	n=25	
Antes	3,68 $\pm$ 0,92 ^A	3,55 $\pm$ 1,16 ^A	3,73 $\pm$ 0,75 ^A	3,80 $\pm$ 0,63 ^A	
Depois	4,08 $\pm$ 0,67 ^B	4,12 $\pm$ 0,92 ^B	4,03 $\pm$ 0,69 ^B	3,84 $\pm$ 0,57 ^B	
Δ	0,39 $\pm$ 0,39 ^{a,b}	0,57 $\pm$ 0,32 ^a	0,30 $\pm$ 0,20 ^b	0,05 $\pm$ 0,18 ^c	<i>.0001</i>
%	13,61 $\pm$ 13,70 ^{a,b}	20,35 $\pm$ 17,26 ^a	8,84 $\pm$ 7,22 ^b	1,63 $\pm$ 5,29 ^c	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.233</i>	
Cervical					
Antes	5,75 $\pm$ 1,39 ^A	5,60 $\pm$ 1,56 ^A	5,96 $\pm$ 1,18 ^A	5,85 $\pm$ 0,99 ^A	
Depois	6,35 $\pm$ 1,14 ^B	6,21 $\pm$ 1,36 ^B	6,38 $\pm$ 1,05 ^B	6,07 $\pm$ 0,85 ^B	
Δ	0,60 $\pm$ 0,42 ^a	0,60 $\pm$ 0,31 ^a	0,42 $\pm$ 0,42 ^{a,b}	0,22 $\pm$ 0,52 ^b	<i>.004</i>
%	12,44 $\pm$ 10,97 ^a	12,80 $\pm$ 9,53 ^a	7,88 $\pm$ 8,26 ^{a,b}	4,63 $\pm$ 11,03 ^b	<i>.004</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.048</i>	
Médio					
Antes	3,48 $\pm$ 1,0 ^A	3,41 $\pm$ 1,48 ^A	3,54 $\pm$ 0,93 ^A	3,77 $\pm$ 0,88 ^A	
Depois	3,87 $\pm$ 0,73 ^B	3,98 $\pm$ 1,11 ^B	3,78 $\pm$ 0,87 ^B	3,66 $\pm$ 0,79 ^B	
Δ	0,39 $\pm$ 0,36 ^{a,b}	0,56 $\pm$ 0,45 ^a	0,24 $\pm$ 0,23 ^b	-0,11 $\pm$ 0,35 ^c	<i>.0001</i>
%	15,14 $\pm$ 16,97 ^{a,b}	25,23 $\pm$ 28,59 ^a	7,81 $\pm$ 7,81 ^b	-1,90 $\pm$ 8,77 ^c	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.116</i>	
Apical					
Antes	1,66 $\pm$ 0,46 ^A	1,64 $\pm$ 0,56 ^A	1,70 $\pm$ 0,37 ^A	1,78 $\pm$ 0,45 ^A	
Depois	2,04 $\pm$ 0,35 ^B	2,19 $\pm$ 0,42 ^B	1,98 $\pm$ 0,29 ^B	1,80 $\pm$ 0,42 ^B	
Δ	0,38 $\pm$ 0,21 ^a	0,54 $\pm$ 0,27 ^b	0,27 $\pm$ 0,18 ^a	0,02 $\pm$ 0,19 ^c	<i>.0001</i>
%	27,55 $\pm$ 23,12 ^a	41,59 $\pm$ 33,88 ^b	18,57 $\pm$ 15,75 ^a	2,0 $\pm$ 9,83 ^c	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.688</i>	

Valores de p indicando diferença estatística estão grafados em *itálico*. Diferentes letras maiúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferença estatística dentro do mesmo grupo, enquanto diferentes letras minúsculas sobrescritas na mesma linha indicam diferença estatística entre os grupos ($p < 0,05$).

Tabela VIII. Alteração absoluta (Δ) e percentual (%) da circularidade do canal radicular (média $\pm$ desvio-padrão), considerando-se todas as secções obtidas na reconstrução dos espécimes.

Terços	Grupo ProTaper	Grupo WaveOne	Grupo Reciproc	Grupo SAF	p
Todos	n=25	n=25	n=25	n=25	
Antes	0,58 $\pm$ 0,11 ^A	0,60 $\pm$ 0,12 ^A	0,56 $\pm$ 0,10 ^A	0,60 $\pm$ 0,09 ^A	
Depois	0,78 $\pm$ 0,08 ^B	0,81 $\pm$ 0,08 ^B	0,64 $\pm$ 0,09 ^B	0,67 $\pm$ 0,09 ^B	
Δ	0,20 $\pm$ 0,06 ^a	0,20 $\pm$ 0,08 ^a	0,08 $\pm$ 0,11 ^b	0,07 $\pm$ 0,07 ^b	<i>.0001</i>
%	37,33 $\pm$ 17,34 ^a	37,33 $\pm$ 19,09 ^a	16,33 $\pm$ 21,36 ^b	12,06 $\pm$ 12,26 ^b	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.001</i>	<i>.0001</i>	
Cervical					
Antes	0,45 $\pm$ 0,15 ^A	0,51 $\pm$ 0,17 ^A	0,45 $\pm$ 0,16 ^A	0,46 $\pm$ 0,16 ^A	
Depois	0,71 $\pm$ 0,11 ^B	0,76 $\pm$ 0,10 ^B	0,55 $\pm$ 0,12 ^B	0,58 $\pm$ 0,19 ^B	
Δ	0,26 $\pm$ 0,08 ^a	0,25 $\pm$ 0,10 ^a	0,10 $\pm$ 0,15 ^b	0,12 $\pm$ 0,16 ^b	<i>.0001</i>
%	70,57 $\pm$ 38,68 ^a	61,57 $\pm$ 43,95 ^a	35,09 $\pm$ 48,05 ^b	32,56 $\pm$ 38,56 ^b	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.002</i>	<i>.002</i>	
Médio					
Antes	0,64 $\pm$ 0,17 ^A	0,64 $\pm$ 0,14 ^A	0,56 $\pm$ 0,13 ^A	0,63 $\pm$ 0,13 ^A	
Depois	0,80 $\pm$ 0,11 ^B	0,82 $\pm$ 0,10 ^B	0,64 $\pm$ 0,13 ^B	0,71 $\pm$ 0,13 ^B	
Δ	0,16 $\pm$ 0,09 ^a	0,18 $\pm$ 0,09 ^a	0,08 $\pm$ 0,11 ^b	0,08 $\pm$ 0,09 ^b	<i>.0001</i>
%	31,01 $\pm$ 26,8 ^a	33,39 $\pm$ 22,73 ^a	17,44 $\pm$ 21,77 ^b	14,85 $\pm$ 15,97 ^b	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.001</i>	<i>.0001</i>	
Apical					
Antes	0,66 $\pm$ 0,08 ^A	0,66 $\pm$ 0,11 ^A	0,68 $\pm$ 0,09 ^A	0,71 $\pm$ 0,08 ^A	
Depois	0,84 $\pm$ 0,04 ^B	0,84 $\pm$ 0,05 ^B	0,73 $\pm$ 0,09 ^B	0,73 $\pm$ 0,05 ^B	
Δ	0,18 $\pm$ 0,07 ^a	0,18 $\pm$ 0,10 ^a	0,05 $\pm$ 0,09 ^b	0,02 $\pm$ 0,07 ^b	<i>.0001</i>
%	28,72 $\pm$ 14,94 ^a	30,77 $\pm$ 24,57 ^a	8,39 $\pm$ 16,15 ^b	4,15 $\pm$ 11,49 ^b	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.019</i>	<i>.140</i>	

Valores de p indicando diferença estatística estão grafados em *itálico*. Diferentes letras maiúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferença estatística dentro do mesmo grupo, enquanto diferentes letras minúsculas sobrescritas na mesma linha indicam diferença estatística entre os grupos ($p < 0,05$).

Na análise das alterações do diâmetro maior (Tabela IX), considerado todo o canal, não houve diferença estatística entre os grupos ProTaper e WaveOne ($p>0,05$) cujas alterações foram significativamente maiores que nos grupos Reciproc e SAF ($p<0,05$). Na análise dos terços, não houve diferença estatística entre os grupos na região cervical ($p>0,05$). Entretanto, nos terços médio e apical, os grupos WaveOne e ProTaper apresentaram alterações significativamente maiores que os outros grupos ($p<0,05$). As menores alterações observadas na avaliação do diâmetro maior ocorreram nos terços médio e apical do grupo SAF, sendo estatisticamente significantes em relação aos outros grupos ($p<0,05$). Em todos os grupos foi observada diferença estatisticamente significativa em relação à alteração do diâmetro maior depois do preparo biomecânico ($p<0,05$), exceto nos terços médio e apical do grupo SAF ($p>0,05$).

A avaliação do diâmetro menor (Tabela X), considerando-se o canal como um todo, evidenciou que os grupos ProTaper, WaveOne e Reciproc foram estatisticamente iguais ($p>0,05$), apresentando alteração significativamente maior que o grupo SAF ($p<0,05$). Na análise dos terços, o grupo Reciproc promoveu alteração significativamente maior que os outros grupos no terço cervical. Nos terços médio e apical, o grupo SAF apresentou valores significativamente menores em relação aos outros grupos ($p<0,05$). Em todos os grupos foi observada diferença estatística significativa em relação à alteração do diâmetro menor depois do preparo biomecânico ($p<0,05$).

Tabela IX. Alteração absoluta (Δ) e percentual (%) no diâmetro maior do canal radicular (média $\pm$ desvio-padrão), considerando-se todas as secções obtidas na reconstrução dos espécimes.

Terços	Grupo ProTaper	Grupo WaveOne	Grupo Reciproc	Grupo SAF	p
Todos	n=25	n=25	n=25	n=25	
Antes	1,32 $\pm$ 0,35 ^A	1,32 $\pm$ 0,48 ^A	1,39 $\pm$ 0,35 ^A	1,41 $\pm$ 0,25 ^A	
Depois	1,47 $\pm$ 0,31 ^B	1,47 $\pm$ 0,42 ^B	1,48 $\pm$ 0,33 ^B	1,44 $\pm$ 0,25 ^B	
Δ	0,15 $\pm$ 0,06 ^a	0,16 $\pm$ 0,10 ^a	0,09 $\pm$ 0,07 ^b	0,04 $\pm$ 0,06 ^b	.0001
%	12,89 $\pm$ 8,20 ^a	15,79 $\pm$ 14,63 ^a	7,36 $\pm$ 7,07 ^b	2,73 $\pm$ 4,79 ^c	.0001
p	.0001	.0001	.0001	.007	
Cervical					
Antes	2,20 $\pm$ 0,61 ^A	2,15 $\pm$ 0,71 ^A	2,32 $\pm$ 0,57 ^A	2,27 $\pm$ 0,45 ^A	
Depois	2,37 $\pm$ 0,56 ^B	2,29 $\pm$ 0,65 ^B	2,44 $\pm$ 0,53 ^B	2,36 $\pm$ 0,41 ^B	
Δ	0,18 $\pm$ 0,13 ^a	0,14 $\pm$ 0,11 ^a	0,12 $\pm$ 0,15 ^a	0,09 $\pm$ 0,18 ^a	.195
%	9,44 $\pm$ 8,76 ^a	8,81 $\pm$ 8,84 ^a	6,10 $\pm$ 8,20 ^a	4,88 $\pm$ 10,56 ^a	.195
p	.0001	.0001	.0001	.015	
Médio					
Antes	1,21 $\pm$ 0,39 ^A	1,22 $\pm$ 0,59 ^A	1,25 $\pm$ 0,44 ^A	1,34 $\pm$ 0,34 ^A	
Depois	1,35 $\pm$ 0,34 ^B	1,37 $\pm$ 0,50 ^B	1,33 $\pm$ 0,42 ^B	1,33 $\pm$ 0,33 ^B	
Δ	0,14 $\pm$ 0,09 ^{a,b}	0,16 $\pm$ 0,04 ^a	0,08 $\pm$ 0,06 ^b	-0,003 $\pm$ 0,11 ^c	.0001
%	14,34 $\pm$ 12,66 ^{a,b}	21,02 $\pm$ 26,23 ^a	7,56 $\pm$ 6,69 ^b	0,33 $\pm$ 7,64 ^c	.0001
p	.0001	.0001	.0001	.842	
Apical					
Antes	0,57 $\pm$ 0,16 ^A	0,58 $\pm$ 0,21 ^A	0,59 $\pm$ 0,13 ^A	0,62 $\pm$ 0,17 ^A	
Depois	0,70 $\pm$ 0,13 ^B	0,75 $\pm$ 0,18 ^B	0,68 $\pm$ 0,12 ^B	0,63 $\pm$ 0,17 ^B	
Δ	0,13 $\pm$ 0,07 ^{a,b}	0,17 $\pm$ 0,09 ^a	0,08 $\pm$ 0,05 ^b	0,01 $\pm$ 0,07 ^c	.0001
%	26,82 $\pm$ 20,59 ^{a,b}	36,95 $\pm$ 30,60 ^a	15,72 $\pm$ 13,30 ^b	3,02 $\pm$ 10,29 ^c	.0001
p	.0001	.0001	.0001	.403	

Valores de p indicando diferença estatística estão grafados em *itálico*. Diferentes letras maiúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferença estatística dentro do mesmo grupo, enquanto diferentes letras minúsculas sobrescritas na mesma linha indicam diferença estatística entre os grupos ($p < 0,05$).

Tabela X. Alteração absoluta (Δ) e percentual (%) no diâmetro menor do canal radicular (média $\pm$ desvio-padrão), considerando-se todas as secções obtidas na reconstrução dos espécimes.

Terços	Grupo ProTaper	Grupo WaveOne	Grupo Reciproc	Grupo SAF	p
Todos	n=25	n=25	n=25	n=25	
Antes	0,72 $\pm$ 0,16 ^A	0,72 $\pm$ 0,16 ^A	0,72 $\pm$ 0,09 ^A	0,71 $\pm$ 0,14 ^A	
Depois	0,94 $\pm$ 0,08 ^B	1,02 $\pm$ 0,11 ^B	1,02 $\pm$ 0,21 ^B	0,81 $\pm$ 0,12 ^B	
Δ	0,22 $\pm$ 0,09 ^a	0,29 $\pm$ 0,12 ^a	0,30 $\pm$ 0,22 ^a	0,10 $\pm$ 0,06 ^b	<i>.0001</i>
%	35,87 $\pm$ 26,40 ^a	45,99 $\pm$ 29,88 ^a	44,26 $\pm$ 35,67 ^a	15,28 $\pm$ 10,93 ^b	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	
Cervical					
Antes	1,01 $\pm$ 0,28 ^A	1,06 $\pm$ 0,24 ^A	1,0 $\pm$ 0,18 ^A	0,99 $\pm$ 0,24 ^A	
Depois	1,33 $\pm$ 0,12 ^B	1,45 $\pm$ 0,23 ^B	1,53 $\pm$ 0,40 ^B	1,19 $\pm$ 0,16 ^B	
Δ	0,32 $\pm$ 0,19 ^a	0,39 $\pm$ 0,22 ^{a,b}	0,53 $\pm$ 0,45 ^b	0,20 $\pm$ 0,16 ^a	<i>.001</i>
%	41,15 $\pm$ 39,50 ^a	42,92 $\pm$ 31,99 ^{a,b}	58,31 $\pm$ 52,06 ^b	24,92 $\pm$ 23,62 ^a	<i>.001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	
Médio					
Antes	0,73 $\pm$ 0,14 ^A	0,73 $\pm$ 0,17 ^A	0,75 $\pm$ 0,10 ^A	0,72 $\pm$ 0,15 ^A	
Depois	0,95 $\pm$ 0,09 ^B	1,0 $\pm$ 0,10 ^B	0,99 $\pm$ 0,21 ^B	0,78 $\pm$ 0,14 ^B	
Δ	0,21 $\pm$ 0,09 ^a	0,28 $\pm$ 0,10 ^a	0,24 $\pm$ 0,22 ^a	0,06 $\pm$ 0,06 ^b	<i>.0001</i>
%	32,68 $\pm$ 22,55 ^a	44,10 $\pm$ 29,36 ^a	33,24 $\pm$ 32,93 ^a	8,30 $\pm$ 8,23 ^b	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	
Apical					
Antes	0,41 $\pm$ 0,10 ^A	0,38 $\pm$ 0,10 ^A	0,40 $\pm$ 0,08 ^A	0,42 $\pm$ 0,08 ^A	
Depois	0,54 $\pm$ 0,07 ^B	0,59 $\pm$ 0,07 ^B	0,55 $\pm$ 0,06 ^B	0,45 $\pm$ 0,08 ^B	
Δ	0,13 $\pm$ 0,06 ^a	0,20 $\pm$ 0,09 ^b	0,15 $\pm$ 0,06 ^a	0,03 $\pm$ 0,03 ^c	<i>.0001</i>
%	36,78 $\pm$ 27,04 ^a	63,54 $\pm$ 46,14 ^b	39,84 $\pm$ 22,87 ^a	7,75 $\pm$ 7,01 ^c	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	

Valores de p indicando diferença estatística estão grafados em *itálico*. Diferentes letras maiúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferença estatística dentro do mesmo grupo, enquanto diferentes letras minúsculas sobrescritas na mesma linha indicam diferença estatística entre os grupos ($p < 0,05$).

As diferenças absolutas (Δ) e percentuais (%) referentes aos dados morfométricos tridimensionais (volume, área de superfície e SMI) obtidos em todas as secções dos espécimes dos grupos ProTaper (n=25), WaveOne (n=25), Reciproc (n=25) e SAF (n=25), a partir dos exames microtomográficos, estão dispostos nas tabelas XI a XIII.

Em relação ao volume (Tabela XI), considerando-se todo o canal radicular, os grupos ProTaper e WaveOne ($p>0,05$) apresentaram valores significativamente maiores que os grupos Reciproc e SAF, que foram diferentes entre si ($p<0,05$). Na análise dos terços, as menores alterações no volume dos canais ocorreram no grupo SAF e foram estatisticamente diferentes dos outros grupos experimentais ($p<0,05$). Em todos os grupos foi observada diferença estatística significativa em relação à alteração do volume depois do preparo biomecânico ($p<0,05$).

Na análise de todo o canal considerando-se a área de superfície (Tabela XII), as menores alterações foram observadas no grupo SAF que foi estatisticamente diferente dos outros grupos ($p<0,05$). Na análise dos terços, os grupos ProTaper, WaveOne e Reciproc apresentaram alterações significativamente maiores que o grupo SAF ($p<0,05$). Apenas no grupo SAF também não se observou diferença estatisticamente significativa em relação à alteração da área de superfície depois do preparo biomecânico, considerando-se os terços cervical, médio e apical ($p<0,05$).

Tabela XI. Alteração absoluta (Δ) e percentual (%) no volume do canal radicular (média $\pm$ desvio-padrão), considerando-o como um todo, bem como seus terços, separadamente.

Terços	Grupo ProTaper	Grupo WaveOne	Grupo Reciproc	Grupo SAF	
Todos	<i>n=25</i>	<i>n=25</i>	<i>n=25</i>	<i>n=25</i>	<i>p</i>
Antes	12,99 $\pm$ 5,51 ^A	13,41 $\pm$ 6,55 ^A	13,69 $\pm$ 3,07 ^A	13,24 $\pm$ 4,40 ^A	
Depois	19,16 $\pm$ 5,16 ^B	19,29 $\pm$ 6,68 ^B	17,82 $\pm$ 3,46 ^B	15,84 $\pm$ 4,73 ^B	
Δ	6,17 $\pm$ 1,55 ^a	5,88 $\pm$ 1,64 ^a	4,13 $\pm$ 1,76 ^c	2,60 $\pm$ 1,30 ^b	<i>.0001</i>
%	64,78 $\pm$ 54,57 ^a	62,30 $\pm$ 51,02 ^a	31,65 $\pm$ 14,60 ^c	21,35 $\pm$ 10,84 ^b	<i>.0001</i>
<i>p</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	
Cervical					
Antes	8,38 $\pm$ 3,73 ^A	8,59 $\pm$ 4,0 ^A	8,59 $\pm$ 1,93 ^A	8,57 $\pm$ 3,07 ^A	
Depois	12,41 $\pm$ 3,46 ^B	12,13 $\pm$ 4,05 ^B	11,76 $\pm$ 2,05 ^B	10,49 $\pm$ 3,05 ^B	
Δ	4,03 $\pm$ 1,33 ^a	3,55 $\pm$ 1,67 ^a	3,17 $\pm$ 1,19 ^a	1,92 $\pm$ 1,04 ^b	<i>.0001</i>
%	66,63 $\pm$ 56,83 ^a	55,02 $\pm$ 41,60 ^a	39,41 $\pm$ 18,01 ^a	25,65 $\pm$ 15,46 ^b	<i>.0001</i>
<i>p</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	
Médio					
Antes	3,59 $\pm$ 1,59 ^A	3,66 $\pm$ 2,17 ^A	4,64 $\pm$ 1,29 ^A	3,66 $\pm$ 1,39 ^A	
Depois	5,18 $\pm$ 1,61 ^B	5,41 $\pm$ 2,23 ^B	0,98 $\pm$ 0,31 ^B	4,17 $\pm$ 1,53 ^B	
Δ	1,59 $\pm$ 0,55 ^a	1,75 $\pm$ 0,45 ^a	0,98 $\pm$ 0,30 ^c	0,51 $\pm$ 0,43 ^b	<i>.0001</i>
%	60,13 $\pm$ 51,14 ^a	83,10 $\pm$ 87,99 ^a	29,84 $\pm$ 14,72 ^c	15,06 $\pm$ 12,04 ^b	<i>.0001</i>
<i>p</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	
Apical					
Antes	1,02 $\pm$ 0,52 ^A	1,01 $\pm$ 0,62 ^A	1,02 $\pm$ 0,46 ^A	1,06 $\pm$ 0,51 ^A	
Depois	1,61 $\pm$ 0,42 ^B	1,79 $\pm$ 0,61 ^B	1,45 $\pm$ 0,38 ^B	1,20 $\pm$ 0,54 ^B	
Δ	0,58 $\pm$ 0,21 ^a	0,79 $\pm$ 0,26 ^b	0,43 $\pm$ 0,17 ^d	0,14 $\pm$ 0,15 ^c	<i>.0001</i>
%	90,26 $\pm$ 83,10 ^a	133,4 $\pm$ 130,6 ^b	56,95 $\pm$ 41,62 ^d	15,60 $\pm$ 17,11 ^c	<i>.0001</i>
<i>p</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	

Valores de *p* indicando diferença estatística estão grafados em *italico*. Diferentes letras maiúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferença estatística dentro do mesmo grupo, enquanto diferentes letras minúsculas sobrescritas na mesma linha indicam diferença estatística entre os grupos ($p < 0,05$).

Tabela XII. Alteração absoluta (Δ) e percentual (%) na área de superfície do canal radicular (média $\pm$ desvio-padrão), considerando-o como um todo, bem como seus terços, separadamente.

Terços	Grupo ProTaper	Grupo WaveOne	Grupo Reciproc	Grupo SAF	
Todos	<i>n=25</i>	<i>n=25</i>	<i>n=25</i>	<i>n=25</i>	<i>p</i>
Antes	63,80 $\pm$ 17,20 ^A	61,22 $\pm$ 21,20 ^A	64,93 $\pm$ 13,43 ^A	64,11 $\pm$ 13,10 ^A	
Depois	71,20 $\pm$ 13,70 ^B	70,48 $\pm$ 17,34 ^B	69,34 $\pm$ 12,15 ^B	67,12 $\pm$ 13,69 ^B	
Δ	7,40 $\pm$ 5,65 ^a	9,27 $\pm$ 5,36 ^{a,b}	4,41 $\pm$ 3,97 ^b	3,01 $\pm$ 3,19 ^c	<i>.0001</i>
%	14,59 $\pm$ 13,99 ^a	20,10 $\pm$ 18,90 ^{a,b}	7,80 $\pm$ 7,75 ^b	4,81 $\pm$ 4,87 ^c	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	
Cervical					
Antes	35,88 $\pm$ 10,10 ^A	33,85 $\pm$ 10,01 ^A	36,33 $\pm$ 7,35 ^A	36,64 $\pm$ 7,75 ^A	
Depois	40,05 $\pm$ 8,56 ^B	38,79 $\pm$ 9,46 ^B	39,56 $\pm$ 6,56 ^B	37,21 $\pm$ 6,93 ^B	
Δ	4,17 $\pm$ 5,35 ^a	4,94 $\pm$ 3,05 ^a	3,23 $\pm$ 2,39 ^a	0,56 $\pm$ 2,48 ^b	<i>.0001</i>
%	14,54 $\pm$ 15,60 ^a	17,20 $\pm$ 14,28 ^a	10,09 $\pm$ 8,63 ^a	2,30 $\pm$ 6,73 ^b	<i>.0001</i>
p	<i>.001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.270</i>	
Médio					
Antes	20,74 $\pm$ 7,02 ^A	20,19 $\pm$ 9,42 ^A	22,36 $\pm$ 5,38 ^A	21,94 $\pm$ 6,07 ^A	
Depois	23,29 $\pm$ 5,37 ^B	2,43 $\pm$ 0,32 ^B	1,54 $\pm$ 0,98 ^B	21,48 $\pm$ 5,48 ^B	
Δ	2,55 $\pm$ 2,34 ^a	3,40 $\pm$ 2,42 ^{a,b}	1,54 $\pm$ 0,98 ^b	-0,46 $\pm$ 2,03 ^c	<i>.0001</i>
%	17,62 $\pm$ 20,26 ^a	27,34 $\pm$ 30,78 ^{a,b}	8,68 $\pm$ 7,27 ^b	-0,91 $\pm$ 9,20 ^c	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.267</i>	
Apical					
Antes	9,91 $\pm$ 2,95 ^A	9,76 $\pm$ 3,75 ^A	10,0 $\pm$ 2,53 ^A	10,20 $\pm$ 3,02 ^A	
Depois	12,12 $\pm$ 1,91 ^B	12,60 $\pm$ 2,93 ^B	11,34 $\pm$ 1,91 ^B	10,38 $\pm$ 2,08 ^B	
Δ	2,21 $\pm$ 1,42 ^a	2,84 $\pm$ 1,42 ^a	1,34 $\pm$ 0,95 ^c	0,17 $\pm$ 0,61 ^b	<i>.0001</i>
%	29,46 $\pm$ 29,03 ^a	39,39 $\pm$ 35,49 ^a	16,58 $\pm$ 15,27 ^c	2,73 $\pm$ 6,53 ^b	<i>.0001</i>
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.165</i>	

Valores de p indicando diferença estatística estão grafados em *itálico*. Diferentes letras maiúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferença estatística dentro do mesmo grupo, enquanto diferentes letras minúsculas sobrescritas na mesma linha indicam diferença estatística entre os grupos ($p < 0,05$).

Em relação ao SMI (Tabela XIII), não houve diferença estatística entre os grupos na análise do canal como um todo ($p>0,05$) e também na avaliação dos terços em separado ($p>0,05$). Em todos os grupos foi observada diferença estatística significativa em relação à alteração do SMI depois do preparo biomecânico, exceto no terço cervical do grupo Reciproc e no terço médio do grupo ProTaper ($p<0,05$).

Os modelos tridimensionais representativos da sobreposição do canal radicular não preparado, obtido no exame microtomográfico inicial (em cor verde), e do canal preparado, obtido no segundo exame microtomográfico (em cor vermelha), referentes aos grupos experimentais ProTaper, WaveOne, Reciproc e SAF, estão dispostos na Figura 27. A análise qualitativa nos permite inferir que os instrumentos testados foram capazes de tocar na maior parte da área de superfície do canal radicular, promovendo maior regularidade na anatomia original do canal. Houve maior quantidade de áreas não preparadas (em cor verde) nos terços cervical e médio, principalmente nos grupos ProTaper e Reciproc. O grupo SAF foi o que apresentou menor quantidade de área de superfície não preparada. Os modelos tridimensionais dos canais radiculares de todos os espécimes ($n=100$) obtidos no segundo exame microtomográfico estão dispostos nos apêndices 5 a 8. Adicionalmente, as sobreposições dos modelos tridimensionais dos canais radiculares antes e após o preparo biomecânico estão dispostas nos apêndices 9 a 12.

Tabela XIII. Alteração absoluta (Δ) e percentual (%) no SMI do canal radicular (média $\pm$ desvio-padrão), considerando-o como um todo, bem como seus terços, separadamente.

Terços	Grupo ProTaper	Grupo WaveOne	Grupo Reciproc	Grupo SAF	
Todos	<i>n</i> =25	<i>n</i> =25	<i>n</i> =25	<i>n</i> =25	p
Antes	2,18 $\pm$ 0,61 ^A	2,57 $\pm$ 0,42 ^A	2,47 $\pm$ 0,86 ^A	2,16 $\pm$ 0,50 ^A	
Depois	2,81 $\pm$ 0,28 ^B	2,83 $\pm$ 0,24 ^B	2,74 $\pm$ 0,34 ^B	2,64 $\pm$ 0,28 ^B	
Δ	0,63 $\pm$ 0,56 ^a	0,26 $\pm$ 0,26 ^a	0,27 $\pm$ 0,73 ^a	0,48 $\pm$ 0,39 ^a	.067
%	41,74 $\pm$ 59,42 ^a	11,84 $\pm$ 12,12 ^a	19,88 $\pm$ 33,85 ^a	29,14 $\pm$ 36,69 ^a	.067
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.001</i>	<i>.0001</i>	
Cervical					
Antes	2,15 $\pm$ 0,52 ^A	2,33 $\pm$ 0,42 ^A	2,41 $\pm$ 1,09 ^A	2,07 $\pm$ 0,62 ^A	
Depois	2,68 $\pm$ 0,31 ^B	2,70 $\pm$ 0,22 ^B	2,56 $\pm$ 0,28 ^B	2,47 $\pm$ 0,27 ^B	
Δ	0,53 $\pm$ 0,47 ^a	0,37 $\pm$ 0,25 ^a	0,14 $\pm$ 0,98 ^a	0,40 $\pm$ 0,49 ^a	.165
%	31,21 $\pm$ 31,53 ^a	18,20 $\pm$ 15,27 ^a	15,81 $\pm$ 26,88 ^a	38,19 $\pm$ 86,10 ^a	.165
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.045</i>	<i>.0001</i>	
Médio					
Antes	2,70 $\pm$ 0,20 ^A	2,43 $\pm$ 0,32 ^A	2,65 $\pm$ 0,30 ^A	2,02 $\pm$ 0,54 ^A	
Depois	2,87 $\pm$ 1,60 ^B	2,77 $\pm$ 0,23 ^B	2,40 $\pm$ 0,32 ^B	2,47 $\pm$ 0,27 ^B	
Δ	0,16 $\pm$ 1,60 ^a	0,34 $\pm$ 0,26 ^a	0,25 $\pm$ 0,32 ^a	0,45 $\pm$ 0,46 ^a	.071
%	11,13 $\pm$ 37,58 ^a	15,57 $\pm$ 14,44 ^a	14,35 $\pm$ 29,35 ^a	31,44 $\pm$ 42,84 ^a	.071
p	<i>.614</i>	<i>.0001</i>	<i>.001</i>	<i>.0001</i>	
Apical					
Antes	2,50 $\pm$ 0,38 ^A	2,60 $\pm$ 0,26 ^A	2,52 $\pm$ 0,37 ^A	2,54 $\pm$ 0,35 ^A	
Depois	2,82 $\pm$ 0,14 ^B	2,89 $\pm$ 0,16 ^B	2,83 $\pm$ 0,15 ^B	2,73 $\pm$ 0,14 ^B	
Δ	0,32 $\pm$ 0,37 ^a	0,30 $\pm$ 0,26 ^a	0,31 $\pm$ 0,34 ^a	0,19 $\pm$ 0,35 ^a	.471
%	15,69 $\pm$ 21,77 ^a	12,42 $\pm$ 12,92 ^a	15,74 $\pm$ 25,24 ^a	10,10 $\pm$ 22,31 ^a	.471
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.013</i>	

Valores de p indicando diferença estatística estão grafados em *itálico*. Diferentes letras maiúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferença estatística dentro do mesmo grupo, enquanto diferentes letras minúsculas sobrescritas na mesma linha indicam diferença estatística entre os grupos ($p < 0,05$).

Figura 27. Vista lateral de modelos tridimensionais representativos de um espécime dos grupos ProTaper (A), WaveOne (B), Reciproc (C) e SAF (D), referentes ao canal radicular não preparado obtido no exame microtomográfico inicial (na cor verde), ao canal preparado obtido no segundo exame microtomográfico (na cor vermelha), e à sobreposição de ambos.

Parte 2. Avaliação microtomográfica do percentual volumétrico de espaços vazios após a obturação

Os resultados da terceira análise microtomográfica referentes à avaliação do percentual volumétrico de espaços mensurados nos canais radiculares dos grupos ProTaper, WaveOne, Reciproc e SAF obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação e pelas técnicas recomendadas pelos fabricante, estão dispostos na Tabela XIV.

Na comparação entre as técnicas, observou-se diferença estatística nos grupos Reciproc e SAF, considerado o canal como um todo, em que a Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação apresentou percentual volumétrico de espaços vazios significativamente menor que a técnica recomendada pelo fabricante ($p < 0,05$). Em relação aos terços médio e apical não foi observada diferença entre as técnicas de obturação, contudo, no terço cervical a técnica recomendada pelo fabricante apresentou percentual volumétrico de espaços vazios significativamente maior que a Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação em todos os grupos ($p < 0,05$).

Na comparação entre os grupos, considerando-se todo o canal radicular, não houve diferença estatística no percentual volumétrico de espaços vazios tanto em relação à Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação quanto à técnica recomendada pelo fabricante ($p > 0,05$). Na análise dos terços, considerando-se a técnica recomendada pelo fabricante não houve diferença estatística entre os grupos ($p > 0,05$). Por outro lado, no terço médio dos espécimes obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação, o grupo SAF apresentou percentual de espaços vazios significativamente menor que os outros grupos ($p < 0,05$).

Tabela XIV. Percentual volumétrico (%) de espaços vazios presentes na obturação dos canais radiculares dos espécimes dos grupos experimentais, em relação à técnica de obturação (média $\pm$ desvio-padrão).

Terços	Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação	Técnica Recomendada pelo Fabricante	p
Todos	n=9	n=9	
Grupo ProTaper	3,41 $\pm$ 1,92 ^{A,a}	4,59 $\pm$ 2,42 ^{A,a}	.233
Grupo WaveOne	2,78 $\pm$ 0,52 ^{A,a}	3,79 $\pm$ 2,42 ^{A,a}	.233
Grupo Reciproc	3,12 $\pm$ 0,86 ^{A,a}	6,25 $\pm$ 3,81 ^{A,b}	.001
Grupo SAF	3,17 $\pm$ 1,21 ^{A,a}	5,49 $\pm$ 2,40 ^{A,b}	.015
p	.322	.210	
Cervical			p
Grupo ProTaper	0,94 $\pm$ 0,56 ^{A,a}	2,87 $\pm$ 0,93 ^{A,b}	.001
Grupo WaveOne	1,04 $\pm$ 0,74 ^{A,a}	2,55 $\pm$ 1,73 ^{A,b}	.031
Grupo Reciproc	1,08 $\pm$ 0,77 ^{A,a}	4,56 $\pm$ 3,38 ^{A,b}	.001
Grupo SAF	1,19 $\pm$ 0,83 ^{A,a}	3,09 $\pm$ 1,28 ^{A,b}	.002
p	.935	.241	
Médio			p
Grupo ProTaper	1,51 $\pm$ 1,92 ^{A,a}	0,93 $\pm$ 1,26 ^{A,a}	.453
Grupo WaveOne	0,96 $\pm$ 0,66 ^{A,B,a}	0,85 $\pm$ 1,12 ^{A,a}	.508
Grupo Reciproc	1,58 $\pm$ 0,77 ^{A,a}	1,08 $\pm$ 0,88 ^{A,a}	.133
Grupo SAF	0,57 $\pm$ 0,35 ^{B,a}	1,48 $\pm$ 1,62 ^{A,a}	.102
p	.038	.573	
Apical			p
Grupo ProTaper	0,95 $\pm$ 0,14 ^{A,a}	0,68 $\pm$ 0,47 ^{A,a}	.691
Grupo WaveOne	0,79 $\pm$ 0,77 ^{A,a}	0,40 $\pm$ 0,17 ^{A,a}	.566
Grupo Reciproc	0,46 $\pm$ 0,14 ^{A,a}	0,61 $\pm$ 0,28 ^{A,a}	.453
Grupo SAF	1,41 $\pm$ 0,99 ^{A,a}	0,75 $\pm$ 0,51 ^{A,a}	.233
p	.368	.383	

Valores de p indicando diferença estatística estão grafados em *itálico*. Diferentes letras maiúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferença estatística entre os grupos, enquanto diferentes letras minúsculas sobrescritas na mesma linha indicam diferença estatística no mesmo grupo ($p < 0,05$).

Os modelos tridimensionais dos materiais obturadores, bem como as secções transversais mais representativas dos espaços vazios, estão dispostos nas Figuras 28 a 35, referentes aos grupos ProTaper (Figuras 28 e 29), WaveOne (Figuras 30 e 31), Reciproc (Figuras 32 e 33) e SAF (Figuras 34 e 35).

Antes do início da avaliação da resistência de união ao cisalhamento por extrusão dos espécimes obturados nesta parte do estudo, observou-se a presença de descoloração dentinária em praticamente todos os espécimes obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação. A descoloração de aspecto avermelhado ocupou a maior parte da superfície externa da raiz, principalmente nos terços médio e cervical. A avaliação visual da secção transversal destes mesmos espécimes permitiu verificar que a descoloração se estendia, na sua maior parte, para os aspectos vestibular e distal da raiz, a partir do canal radicular (Figura 36).

Figura 28. Parte superior: visão lateral dos modelos tridimensionais dos materiais obturadores dos canais radiculares no grupo ProTaper, obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação com cones de Resilon e cimento RealSeal. Parte central: secção axial dos espécimes obturados mostrando as áreas de espaços vazios mais significantes em cada espécime. Parte inferior: secção transversal dos espécimes obturados mostrando as áreas de espaços vazios mais significantes em cada espécime.

Figura 29. Parte superior: visão lateral dos modelos tridimensionais dos materiais obturadores dos canais radiculares no grupo ProTaper, obturados pela técnica do cone único com guta-percha e cimento AH Plus. Parte central: secção axial dos espécimes obturados mostrando as áreas de espaços vazios mais significantes em cada espécime. Parte inferior: secção transversal dos espécimes obturados mostrando as áreas de espaços vazios mais significantes em cada espécime.

Figura 30. Parte superior: visão lateral dos modelos tridimensionais dos materiais obturadores dos canais radiculares no grupo WaveOne, obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação com cones de Resilon e cimento RealSeal. Parte central: secção axial dos espécimes obturados mostrando as áreas de espaços vazios mais significantes em cada espécime. Parte inferior: secção transversal dos espécimes obturados mostrando as áreas de espaços vazios mais significantes em cada espécime.

Figura 31. Parte superior: visão lateral dos modelos tridimensionais dos materiais obturadores dos canais radiculares no grupo WaveOne, obturados pela técnica do cone único com guta-percha e cimento AH Plus. Parte central: secção axial dos espécimes obturados mostrando as áreas de espaços vazios mais significantes em cada espécime. Parte inferior: secção transversal dos espécimes obturados mostrando as áreas de espaços vazios mais significantes em cada espécime.

Figura 32. Parte superior: visão lateral dos modelos tridimensionais dos materiais obturadores dos canais radiculares no grupo Reciproc, obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação com cones de Resilon e cimento RealSeal. Parte central: secção axial dos espécimes obturados mostrando as áreas de espaços vazios mais significantes em cada espécime. Parte inferior: secção transversal dos espécimes obturados mostrando as áreas de espaços vazios mais significantes em cada espécime.

Figura 33. Parte superior: visão lateral dos modelos tridimensionais dos materiais obturadores dos canais radiculares no grupo Reciproc, obturados pela técnica do cone único com guta-percha e cimento AH Plus. Parte central: secção axial dos espécimes obturados mostrando as áreas de espaços vazios mais significantes em cada espécime. Parte inferior: secção transversal dos espécimes obturados mostrando as áreas de espaços vazios mais significantes em cada espécime.

Figura 34. Parte superior: visão lateral dos modelos tridimensionais dos materiais obturadores dos canais radiculares no grupo SAF, obturados pela Técnica Modificada Da Onda Contínua de Condensação com cones de Resilon e cimento RealSeal. Parte central: secção axial dos espécimes obturados mostrando as áreas de espaços vazios mais significantes em cada espécime. Parte inferior: secção transversal dos espécimes obturados mostrando as áreas de espaços vazios mais significantes em cada espécime.

Figura 35. Parte superior: visão lateral dos modelos tridimensionais dos materiais obturadores dos canais radiculares no grupo SAF, obturados pela técnica do cone único com guta-percha e cimento AH Plus. Parte central: secção axial dos espécimes obturados mostrando as áreas de espaços vazios mais significantes em cada espécime. Parte inferior: secção transversal dos espécimes obturados mostrando as áreas de espaços vazios mais significantes em cada espécime.

Figura 36. Vista lateral (linha superior) e secções transversais (linha inferior) das raízes de seis espécimes obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação usando o sistema Resilon/RealSeal, mostrando a presença de descoloração radicular de aspecto avermelhado principalmente nos terços cervical e médio.

Parte 3. Avaliação da resistência de união ao cisalhamento por extrusão

Após a avaliação microtomográfica do percentual volumétrico de espaços vazios na obturação, os espécimes foram seccionados em *slices* de 1 mm de espessura e submetidos aos testes de resistência de união ao cisalhamento por extrusão, seguido da análise microscópica das falhas e da avaliação em microscopia eletrônica de varredura.

Os dados relativos à avaliação da resistência de união ao cisalhamento por extrusão dos materiais obturadores estão dispostos na Tabela XV. Na comparação entre as técnicas, considerando-se todo o canal, a técnica recomendada pelo fabricante apresentou valores de resistência de união significativamente maiores que a Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação ($p < 0,05$). Na análise dos terços, observou-se também que a resistência de união dos materiais obturadores na técnica recomendada pelo fabricante foi significativamente maior que na Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação ($p < 0,05$). Entre os grupos experimentais, a SAF apresentou resistência de união significativamente maior que os outros grupos no terço apical quando os canais foram obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação ($p < 0,05$). Adicionalmente, quando os canais foram obturados pela técnica recomendada pelo fabricante, a resistência de união no grupo SAF foi significativamente maior que os outros grupos em todos os terços ($p < 0,05$).

As análises comparativas entre os valores de resistência de união dos grupos experimentais e os respectivos grupos controle positivo e negativo estão dispostas nas tabelas XVI a XIX.

Tabela XV. Resistência de união do material obturador em relação à técnica de obturação e aos grupos experimentais (média $\pm$ desvio-padrão).

Terços	Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação	Técnica Recomendada pelo Fabricante	
Todos	<i>n</i> =9	<i>n</i> =9	<i>p</i>
Grupo ProTaper	0,21 $\pm$ 0,16 ^{A,a}	1,13 $\pm$ 0,79 ^{A,b}	.0001
Grupo WaveOne	0,31 $\pm$ 0,35 ^{A,B,a}	2,25 $\pm$ 0,99 ^{A,B,b}	.0001
Grupo Reciproc	0,18 $\pm$ 0,18 ^{A,B,a}	1,04 $\pm$ 0,72 ^{A,b}	.0001
Grupo SAF	0,44 $\pm$ 0,53 ^{B,a}	4,26 $\pm$ 2,04 ^{C,b}	.0001
p	.031	.0001	
Cervical			
Grupo ProTaper	0,23 $\pm$ 0,19 ^{A,a}	1,04 $\pm$ 0,91 ^{A,b}	.041
Grupo WaveOne	0,34 $\pm$ 0,53 ^{A,a}	1,96 $\pm$ 0,86 ^{A,b}	.0001
Grupo Reciproc	0,17 $\pm$ 0,16 ^{A,a}	1,08 $\pm$ 0,85 ^{A,b}	.019
Grupo SAF	0,31 $\pm$ 0,35 ^{A,a}	4,52 $\pm$ 2,49 ^{B,b}	.001
p	.719	.003	
Médio			
Grupo ProTaper	0,18 $\pm$ 0,18 ^{A,a}	1,25 $\pm$ 0,79 ^{A,b}	.003
Grupo WaveOne	0,34 $\pm$ 0,30 ^{A,a}	1,98 $\pm$ 0,78 ^{A,b}	.0001
Grupo Reciproc	0,16 $\pm$ 0,12 ^{A,a}	1,11 $\pm$ 0,70 ^{A,b}	.006
Grupo SAF	0,24 $\pm$ 0,20 ^{A,a}	3,69 $\pm$ 1,79 ^{B,b}	.0001
p	.283	.0001	
Apical			
Grupo ProTaper	0,23 $\pm$ 0,13 ^{A,a}	1,10 $\pm$ 0,74 ^{A,b}	.007
Grupo WaveOne	0,24 $\pm$ 0,17 ^{A,a}	2,82 $\pm$ 1,15 ^{B,b}	.0001
Grupo Reciproc	0,22 $\pm$ 0,25 ^{A,a}	0,92 $\pm$ 0,69 ^{A,b}	.012
Grupo SAF	0,77 $\pm$ 0,74 ^{B,a}	4,57 $\pm$ 1,88 ^{C,b}	.0001
p	.016	.0001	

Valores de *p* indicando diferença estatística estão grafados em *itálico*. Diferentes letras maiúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferença estatística entre os grupos, enquanto diferentes letras minúsculas sobrescritas na mesma linha indicam diferença estatística no mesmo grupo (*p*<0,05).

Não houve diferença estatística entre os grupos obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação tanto em relação ao controle positivo, obturado somente com o cimento RealSeal (Tabela XVI), quanto ao controle negativo, obturado somente com Resilon termoplastificado (Tabela XVII) ($p>0,05$). Na análise dos terços, observou-se o mesmo comportamento, com similaridade estatística entre os grupos controle e os grupos experimentais ($p>0,05$).

Tabela XVI. Análise estatística comparativa da resistência de união do grupo controle positivo com os grupos experimentais obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação (média $\pm$ desvio-padrão).

Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação		p
Controle positivo (Obturado somente com RealSeal)	0,45 $\pm$ 0,77 ^A	-
Grupo ProTaper	0,21 $\pm$ 0,16 ^A	.498
Grupo WaveOne	0,31 $\pm$ 0,35 ^A	.952
Grupo Reciproc	0,18 $\pm$ 0,18 ^A	.369
Grupo SAF	0,44 $\pm$ 0,53 ^A	.942

Letras sobrescritas iguais na mesma coluna indicam ausência de diferença estatística entre o grupo experimental e o grupo controle positivo ($p<0,05$).

Tabela XVII. Análise estatística comparativa da resistência de união do grupo controle negativo com os grupos experimentais obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação (média $\pm$ desvio-padrão).

Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação		p
Controle negativo (Obturado somente com Resilon)	0,19 $\pm$ 0,09 ^A	-
Grupo ProTaper	0,21 $\pm$ 0,16 ^A	.999
Grupo WaveOne	0,31 $\pm$ 0,35 ^A	.632
Grupo Reciproc	0,18 $\pm$ 0,18 ^A	1.00
Grupo SAF	0,44 $\pm$ 0,53 ^A	.090

Letras sobrescritas iguais na mesma coluna indicam ausência de diferença estatística entre o grupo experimental e o grupo controle negativo ($p<0,05$).

Em relação à técnica recomendada pelo fabricante, tanto o controle positivo, obturado apenas com AH Plus (Tabela XVIII), quanto o controle negativo, obturado com o carreador WaveOne termoplastificado (Tabela XIX), apresentaram resistência de união significativamente maior que os grupos experimentais ($p < 0,05$). Na análise dos terços, apenas o grupo SAF no terço cervical apresentou similaridade estatística aos grupos controle positivo ($p > 0,05$) e negativo ($p > 0,05$).

Tabela XVIII. Análise estatística comparativa da resistência de união do grupo controle positivo com os grupos experimentais obturados pela técnica recomendada pelo fabricante (média $\pm$ desvio-padrão).

Técnica Recomendada pelo Fabricante		p
Controle positivo (Obturado somente com AH Plus)	9,47 $\pm$ 6,88 ^A	-
Grupo ProTaper	1,13 $\pm$ 0,79 ^B	.0001
Grupo WaveOne	2,25 $\pm$ 0,99 ^B	.0001
Grupo Reciproc	1,04 $\pm$ 0,72 ^B	.0001
Grupo SAF	4,26 $\pm$ 2,04 ^B	.0001

Valores de p indicando diferença estatística estão grafados em *itálico*. Diferentes letras maiúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferença estatística entre o grupo experimental e o grupo controle positivo ($p < 0,05$).

Tabela XIX. Análise estatística comparativa da resistência de união do grupo controle negativo com os grupos experimentais obturados pela técnica recomendada pelo fabricante (média $\pm$ desvio-padrão).

Técnica Recomendada pelo Fabricante		p
Controle negativo (Obturado somente com o carreador WaveOne)	6,94 $\pm$ 5,77 ^A	-
Grupo ProTaper	1,13 $\pm$ 0,79 ^B	.0001
Grupo WaveOne	2,25 $\pm$ 0,99 ^B	.0001
Grupo Reciproc	1,04 $\pm$ 0,72 ^B	.0001
Grupo SAF	4,26 $\pm$ 2,04 ^B	.004

Valores de p indicando diferença estatística estão grafados em *itálico*. Diferentes letras maiúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferença estatística entre o grupo experimental e o grupo controle negativo ($p < 0,05$).

Análise do padrão de fratura

A distribuição percentual dos tipos de falhas observadas durante a análise fractográfica dos *slíces* dos terços cervical, médio e apical, submetidos ao teste de cisalhamento por extrusão está disposta na Figura 37. Nesta análise observou-se a predominância de falha do tipo adesiva. Nos grupos obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação, incluindo-se os grupos controle em que os canais foram obturados apenas com Resilon termoplastificado ou com o cimento RealSeal, observou-se predominância de falhas adesivas na dentina. Nos grupos obturados com a técnica recomendada pelo fabricante, bem como nos grupos controle obturados apenas com o cimento AH Plus ou com o carreador WaveOne termoplastificado, sem cimento, verificou-se predominância de falhas mistas. Neste último, o percentual de falhas adesivas no material obturador (entre o carreador e a guta-percha) foi maior que na dentina (Figura 38). Só foram observadas falhas coesivas, principalmente na dentina, nos grupos que utilizaram o AH Plus como cimento endodôntico.

Figura 37. Gráfico esquemático mostrando a distribuição percentual (%) dos tipos de falhas observadas na análise fractográfica dos *slices* dos terços cervical, médio e apical, submetidos ao teste de cisalhamento por extrusão. Legenda: A: Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação; B: Técnica recomendada pelo fabricante; C: Obturação somente com o cimento AH Plus; D: Obturação somente com o cimento RealSeal; E: Obturação apenas com o carreador WaveOne termoplastificado, sem cimento; F: Obturação apenas com Resilon termoplastificado, sem cimento.

Figura 38. Imagens representativas de falhas adesivas no material obturador ocorridas em dois espécimes obturados com o carreador plástico WaveOne termoplastificado, sem cimento (A e B), e de falhas adesivas na dentina ocorridas em dois espécimes obturados apenas com Resilon termoplastificado, sem cimento (C e D).

Avaliação qualitativa em MEV da interface dentina/material obturador

Nos espécimes obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação não foi observada a presença de *tags* na maioria dos espécimes analisados (Figura 39). Quando presentes, os *tags* apresentavam-se menores, menos numerosos e irregularmente distribuídos (Figura 40). Nos espécimes obturados pela técnica recomendada pelo fabricante observou-se formação de *tags* de resina na interface dentina/cimento de todas as regiões analisadas. Estes *tags* eram longos, encontravam-se regularmente distribuídos, alguns deles percorrendo toda a extensão da dentina, do canal radicular à superfície externa (Figura 41).

Figura 39. Fotomicrografias (MEV) representativas das regiões cervical (A-C), média (D-F) e apical (G-I) de espécimes obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação demonstrando a inexistência de *tags* na interface com a dentina, bem como a presença de túbulos dentinários patentes (aumentos de 35, 500 e 1000X). D: dentina; O: material obturador.

Figura 40. Fotomicrografias (MEV) representativas das regiões cervical (A-C), média (D-F) e apical (G-I) de espécimes obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação mostrando *tags* curtos, numerosos e irregulares (aumentos de 35, 500 e 1000X). D: dentina; O: material obturador; T: *tags*.

Nos espécimes em que não se utilizou cimento endodôntico no procedimento obturador não foi observada presença de *tags*. Nos espécimes obturados com carreadores plásticos WaveOne termoplastificados observou-se a presença de grânulos de guta-percha na entrada dos túbulos dentinários em praticamente toda a extensão da dentina (Figuras 42 A a C). O mesmo não foi observado nos espécimes obturados somente com Resilon termoplastificado, cujos túbulos dentinários na interface com o material obturador estavam patentes (Figuras 42 D a F). Nos espécimes obturados somente com cimento endodôntico, observou-se a formação de *tags* em todas as regiões avaliadas. Os espécimes obturados com AH Plus (Figuras 43 A e B) apresentaram *tags* maiores, mais numerosos e mais regularmente distribuídos do que aqueles obturados com o cimento RealSeal (Figuras 43 C e D).

Figura 41. Fotomicrografias (MEV) representativas das regiões cervical (A-C), média (D-F) e apical (G-I) de espécimes obturados pela técnica recomendada pelo fabricante mostrando a formação de *tags* longos e numerosos em toda a extensão da sua interface com a dentina (aumentos de 35, 500 e 1000X). D: dentina; O: material obturador; T: *tags*.

Figura 42. Fotomicrografias (MEV) representativas de espécimes obturados apenas com o carreador plástico WaveOne (A a C) ou Resilon (D a F) termoplastificados mostrando a inexistência de formação de *tags*. Em C é possível observar a presença de grânulos do material obturador na entrada dos túbulos dentinários (seta amarela) (aumentos de 35, 500 e 1000X). D: dentina; O: material obturador.

Figura 43. Fotomicrografias (MEV) representativas de espécimes obturados somente com cimento AH Plus (A e B) ou RealSeal (C e D) demonstrando a presença de *tags* em praticamente toda a extensão da interface com a dentina (aumentos de 35 e 500X). D: dentina; O: material obturador; T: *tags*.

Avaliação quantitativa em MEV da interface dentina/material obturador

Os resultados da avaliação quantitativa em MEV da interface da dentina com o material obturador estão dispostos na Tabela XX. Nos espécimes obturados pela técnica recomendada pelo fabricante ou somente com o cimento AH Plus observou-se a presença de *tags* relativamente longos, numerosos e contínuos. Nos espécimes obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação ou somente com o cimento RealSeal, quando presentes, os *tags* apresentavam-se curtos, pouco numerosos e sem continuidade.

No grupo cujos espécimes foram obturados de acordo com a técnica recomendada pelo fabricante, o terço apical apresentou densidade de *tags*

significativamente menor que nos terços cervical e médio ($p < 0,05$) que foram similares ($p > 0,05$). Por outro lado, nos espécimes obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação, o terço apical apresentou densidade de *tags* significativamente maior que nos terços cervical e médio ($p < 0,05$), que foram similares entre si ($p > 0,05$). Verificou-se que não houve diferença estatística ao se comparar os terços nos grupos que utilizaram apenas o cimento AH Plus ou o cimento RealSeal como material obturador ($p > 0,05$).

Tabela XX. Mediana dos escores referentes à morfologia e densidade dos *tags* observados nos terços cervical, médio e apical, de acordo com a técnica de obturação.

	Terço Cervical	Terço Médio	Terço Apical	p
Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação	1 ^{A,a}	1 ^{A,a}	1,5 ^{A,b}	.002
Técnica recomendada pelo fabricante	2,5 ^{B,a}	2,5 ^{B,a}	2 ^{B,b}	.019
Somente AH Plus	3 ^{B,a}	3 ^{B,a}	2,5 ^{B,a}	.135
Somente RealSeal	2 ^{A,a}	2 ^{A,a}	1,5 ^{A,a}	.607
p	<i>.0001</i>	<i>.0001</i>	<i>.118</i>	
Somente carreador WaveOne termoplastificado	0	0	0	n.s
Somente Resilon termoplastificado	0	0	0	n.s

Valores de p indicando diferença estatística estão grafados em itálico. Diferentes letras maiúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferença estatística entre os grupos, enquanto diferentes letras minúsculas sobrescritas na mesma linha indicam diferença estatística entre os terços no mesmo grupo ($p < 0,05$).

DISSCUSSÃO

Os mais recentes lançamentos de sistemas rotatórios e reciprocantes na endodontia ampliaram o conceito de sistema automatizado, vinculando os procedimentos de preparo biomecânico, obturação e, em alguns deles, de retratamento do SCR. Nestes sistemas, os cones principais de guta-percha são fabricados com dimensões similares aos instrumentos usados no preparo biomecânico, visando a obturação pela técnica do cone único.

Para um melhor entendimento das metodologias usadas no presente estudo, considerando-se a utilização da mesma amostra para a avaliação dos sistemas ProTaper, WaveOne, Reciproc e SAF, desde o preparo biomecânico até a obturação, a discussão será realizada em três partes que serão relacionadas nas considerações finais.

Parte 1. Avaliação microtomográfica do preparo do canal radicular

O preparo biomecânico é considerado uma etapa importante do tratamento endodôntico e visa promover a limpeza e a modelagem do SCR por meio da ação química de soluções auxiliares e pela ação mecânica dos instrumentos endodônticos (SIQUEIRA, 2005). Assim, esses objetivos, embora distintos, são logrados simultaneamente durante o preparo sendo, ambos, essenciais para a eliminação do conteúdo do canal (PETERS, 2004; HÜLSMANN et al., 2005).

Historicamente, a avaliação do preparo biomecânico do SCR em dentes humanos tem sido realizada por meio de cortes seriados, análises radiográficas, impressões com silicone e microscopia eletrônica de varredura (THOMPSON, 2000; BAUMANN, 2004; CLAUDER; BAUMANN, 2004; PETERS, 2004; HÜLSMANN et al., 2005; NAIR; NAIR, 2007; PETERS; PAQUÉ, 2010). As principais limitações destes

métodos estão relacionadas à necessidade de destruição do espécime e à impossibilidade da análise de diferentes parâmetros em uma perspectiva tridimensional (HÜLSMANN et al., 2005; ALENCAR et al., 2008). Assim, a microtomografia computadorizada surgiu como uma técnica não invasiva que permite a avaliação precisa das características morfológicas do SCR, em diferentes momentos, sendo considerada atualmente como padrão-ouro em estudos *ex vivo* (PETERS et al., 2000; PAQUÉ et al., 2009a; MORTMAN, 2011). Por isto, no presente estudo, a avaliação do preparo biomecânico e da obturação do canal radicular com diferentes sistemas foi realizada com esta metodologia.

A utilização de dentes extraídos na pesquisa em endodontia tem a vantagem de possibilitar, em parte, a reprodutibilidade das condições clínicas (NAGY et al., 1997; VERSIANI et al., 2008). Entretanto, a variabilidade morfológica do SCR em um mesmo grupo dentário torna a padronização da amostra extremamente complexa (HÜLSMANN et al., 2005; VERSIANI et al., 2008; BÜRKLEIN et al., 2012). Em experimentos desta natureza dever-se-ia envidar esforços no sentido de distribuir os espécimes entre os grupos de forma que as diferentes condições anatômicas estivessem neles contempladas (BÜRKLEIN et al., 2012). Tal assertiva é suportada por achados de estudos usando microtomografia que indicam que o resultado do preparo biomecânico depende mais da anatomia original do canal radicular do que do instrumento ou da técnica utilizados (RHODES et al., 2000; PETERS et al., 2001a; PETERS et al., 2001b; GUTMANN; GAO, 2012). Por isto, para a composição dos grupos experimentais, utilizou-se a técnica de amostragem estratificada proporcional.

Esta técnica utiliza informações existentes a respeito do objeto de estudo para que o processo de amostragem seja mais eficiente. A lógica que assiste à

estratificação de uma população é a da identificação de subgrupos que variam muito entre si no que diz respeito ao parâmetro em estudo, mas muito pouco dentro de si, ou seja, cada subgrupo é homogêneo e com pouca variabilidade. Este método tem a vantagem de ser mais eficiente do que a amostragem simples ou sistemática, fornecendo resultados com menor probabilidade de erro associada e garantindo a representatividade da amostra em cada grupo (JIANG, 2010). No presente estudo, os espécimes (n=100) foram distribuídos inicialmente em três estratos, de acordo com suas características tridimensionais (volume, área de superfície e SMI) e do comprimento de trabalho, obtidos preliminarmente. Em seguida, foram redistribuídos em 4 grupos experimentais (n=25) de forma que não houvesse diferença estatística entre as características geométricas bidimensionais e tridimensionais dos canais radiculares (Tabelas I a V).

O grupo dentário selecionado apresentou uma condição anatômica importante para a avaliação do preparo biomecânico, uma vez que os canais apresentavam secção transversal ovalada no sentido mésio-distal. Esta característica anatômica foi confirmada pela análise qualitativa dos modelos tridimensionais (Apêndices 1 a 4), bem como pelos dados de circularidade obtidos no exame microtomográfico inicial (Tabela VIII). Considerando que os valores de circularidade variam de 0 a 1, sendo que o “0” corresponde a uma reta e o “1” a um círculo perfeito, os valores médios de 0,5 a 0,6 do presente estudo comprovam a forma ovalada do canal radicular (MOORE et al., 2009; VERSIANI et al., 2011a). Este tipo de anatomia tem se mostrado como obstáculo significativo para a efetividade dos procedimentos de preparo e obturação do canal radicular (OZAWA et al., 2009; DE-DEUS et al., 2010; PAQUÉ et al., 2010a; SIQUEIRA et al., 2010; ALVES et al., 2011a; DE-DEUS et al., 2011b; HILALY EID; WANEES AMIN, 2011; VERSIANI et al., 2011a).

Apesar da microtomografia computadorizada ser considerada como padrão-ouro para análise do preparo e obturação do SCR, este método requer o ajuste preliminar de diversos parâmetros (STOCK, 2009) visando a aquisição de resultados fidedignos.

A utilização de filtros em aparatos imaginológicos como o microtomógrafo objetiva a absorção de parte da radiação de baixa energia, restando os raios-X de alta energia que atravessam a amostra sem sofrer absorção significativa, reduzindo-se o efeito de “endurecimento do feixe” ou *beam hardening*. Este tipo de artefato ocorre quando o feixe de raios-X atravessa objetos de alta densidade promovendo o aparecimento de áreas radiolúcidas inexistentes no objeto real (NARANJO et al., 2011), como demonstrado na Figura 20. Mesmo com a utilização de filtros, sempre há um efeito residual de *beam hardening* que, no presente estudo, foi corrigido com o programa NRecon v.1.6.4 durante a reconstrução dos espécimes.

Outro aspecto considerado antes do escaneamento de cada grupo experimental foi a correção do campo de aquisição (*flat-field*). Sistemas de geração de imagens que precisam ser utilizados por longo tempo, como é o caso do microtomógrafo, podem resultar no aparecimento de anomalias na imagem, inexistentes no objeto de estudo (SIJBERS; POSTNOV, 2004). A correção do campo de aquisição visa melhorar a qualidade da imagem obtida digitalmente em relação ao tipo e dimensões do filtro utilizado, removendo artefatos gerados pelas variações na sensibilidade pixel-a-pixel do detector e/ou por distorções ópticas. Assim, uma vez que um detector é adequadamente corrigido, um sinal uniforme irá criar uma saída uniforme e qualquer sinal adicional observado, concomitante ao regular, será devido ao objeto analisado e não a um erro sistemático (STOCK, 2009).

O posicionamento do objeto em relação à fonte de radiação é outro fator importante para aquisição de imagens fidedignas (STOCK, 2009). No presente estudo, os espécimes foram dispostos o mais perpendicularmente possível em relação à fonte de radiação, visando reduzir a distorção da imagem a ser obtida. Este foi o único parâmetro não padronizado em razão da impossibilidade do posicionamento exato do espécime em momentos distintos. Por isto, para garantir a precisão dos resultados dentro de uma perspectiva tridimensional, as imagens obtidas após o preparo biomecânico foram alinhadas tridimensionalmente com aquelas obtidas no exame microtomográfico inicial, por meio do programa Mosaic 0.05. Este programa emprega um modelo rígido de transformação matemática e permite registrar as superfícies de um mesmo objeto analisado em dois conjuntos de dados obtidos em diferentes momentos (TASSANI et al., 2010).

Os cuidados na padronização dos outros parâmetros de escaneamento como o ângulo de rotação, o passo de rotação, a quantidade de *frames*, o tamanho de *voxel* isotrópico, bem como de reconstrução, processamento e análise das imagens, visaram permitir que os dados obtidos e os modelos tridimensionais gerados fossem passíveis de comparação. Em virtude do enorme volume de dados foram desenvolvidas rotinas computacionais por meio de sequências de *plug-ins* e macros (Anexos 2 a 5) visando automatizar o processo de consolidação das informações.

Em relação ao preparo do canal radicular, mesmo que os fabricantes dos sistemas reciprocantes não recomendem diretamente a ampliação prévia do canal, o terço cervical de todos os espécimes foi preparado com auxílio da broca LA Axxess seguido do pré-alargamento de todo o conduto radicular com uma lima 20 tipo K. No presente estudo, este procedimento foi feito em todos os grupos devido às recomendações para o uso da SAF. Segundo o fabricante deste sistema, para que

sua ação seja efetiva e segura, o preparo do terço cervical e a pré-ampliação do canal são essenciais (METZGER et al., 2010b). Além disto, o preparo cervical promove redução do estresse sobre os instrumentos, maior ação da solução irrigante, redução de acidentes operatórios (TAN; MESSER, 2002; HÜBSCHER et al., 2003; IQBAL et al., 2004; PÉCORA et al., 2005) e, no caso dos instrumentos reciprocantes, tem sido relacionado à melhor preservação do comprimento de trabalho (BERUTTI et al., 2012). Assim, é importante salientar que os dados obtidos na análise do terço cervical devem ser interpretados como resultantes da ação combinada da broca LA Axxess e dos sistemas testados.

O tempo de trabalho tem sido avaliado em alguns experimentos como produto secundário em face do foco principal da pesquisa (HÜLSMANN et al., 2005). No presente estudo, o tempo de preparo de cada espécime foi definido em 4 minutos em função das recomendações de uso da SAF. Dentre os instrumentos testados, este é o único em que o tempo é automaticamente controlado no dispositivo especial de irrigação VATEA (METZGER et al., 2010b). Nos grupos WaveOne e Reciproc, por serem sistemas de instrumento único, não houve dificuldade em adequar este tempo. Contudo, no grupo ProTaper Universal, por se constituir de múltiplos instrumentos, o tempo teve de ser fracionado, estabelecendo-se 15 segundos para cada instrumento, excetuando-se o último (F4) definido em 2 minutos e 30 segundos, totalizando 4 minutos.

A opção por instrumentos apresentando 0,40 mm de diâmetro na base da guia de penetração nos grupos ProTaper, Reciproc e WaveOne (WEST, 2006; BERUTTI et al., 2011; BERUTTI et al., 2012; BÜRKLEIN et al., 2012) seguiu evidências previamente publicadas em relação à SAF. VERSIANI et al. (2011) compararam, por meio de microtomografia computadorizada, o preparo de canais

radiculares achatados de incisivos inferiores com a SAF e o sistema rotatório K3. Os autores concluíram que a condição tridimensional da região apical após o preparo com a SAF foi similar aos canais preparados com o instrumento rotatório 40.02.

O volume de solução foi padronizado em 20 mL para todos os grupos pois, atuando como lubrificante, o irrigante favorece a ação dos instrumentos pela redução na microdureza da dentina, facilitando o desgaste (CRUZ-FILHO et al., 2011). Este quantitativo foi determinado novamente em razão das recomendações de uso da SAF. Neste sistema, a solução irrigante é liberada automaticamente pelo sistema VATEA em uma quantidade de 5 mL por minuto e que, considerando-se o tempo de trabalho de 4 minutos, totaliza 20 mL (METZGER et al., 2010b).

Visando dirimir outros fatores que poderiam influenciar os resultados, reduzindo riscos de acidentes operatórios, todos os canais foram preparados por um único operador, com experiência clínica e laboratorial nos sistemas testados (GEKELMAN et al., 2009; AL-OMARI et al., 2010), usando-se um instrumento para cada dois espécimes (HÜLSMANN et al., 2005). Motores específicos em que o torque, a velocidade e a cinemática de cada instrumento eram automaticamente ajustados segundo a recomendação de cada fabricante, também foram utilizados (METZGER et al., 2010b; BERUTTI et al., 2011; BERUTTI et al., 2012; BÜRKLEIN et al., 2012). Em razão destas medidas, nenhum acidente operatório foi registrado durante o preparo dos espécimes.

A análise dos parâmetros bidimensionais (área, perímetro, circularidade, diâmetro maior e diâmetro menor) e tridimensionais (volume, área de superfície e SMI) mostrou que a SAF apresentou as menores alteração médias em relação aos outros grupos, exceto nos valores de circularidade, em que foi similar

estatisticamente a SAF. Estes resultados provavelmente estão relacionados à cinemática de trabalho e às características geométricas destes instrumentos.

A SAF é um instrumento oco e compressível que, por meio da fina camada abrasiva presente em sua superfície, promove o desgaste uniforme de uma delgada camada de dentina por meio de movimento vibratório de pequena amplitude. O resultado final é um preparo com secção transversal similar ao original, mas com dimensões ligeiramente maiores (HOF et al., 2010; METZGER et al., 2010a; METZGER et al., 2010b). Por outro lado, os instrumentos ProTaper, WaveOne e Reciproc são constituídos de uma estrutura sólida não compressível que, aliada à sua eficiência de corte em movimento, devido ao ângulo helicoidal e ao ângulo de corte das lâminas, explicam o maior desgaste em relação à SAF. Estes achados corroboram estudos prévios que demonstraram que o instrumento rotatório promoveu remoção significativamente maior de dentina do que a SAF (METZGER et al., 2010b; METZGER et al., 2010c; PAQUÉ; PETERS, 2011; VERSIANI et al., 2011a; PAQUÉ et al., 2012) e que instrumentos com diferentes características geométricas produziram preparos com diferentes dimensões (RUDDLE, 2003; PETERS, 2004; PETERS; PAQUÉ, 2010).

Apesar da SAF não ter promovido alterações tão significativas na geometria do canal radicular em relação aos sistemas ProTaper, WaveOne e Reciproc, a análise qualitativa dos modelos tridimensionais evidenciou que este grupo promoveu o preparo da maior parte das paredes do canal em comparação aos outros instrumentos testados (Apêndices 5 a 12), suportando achados prévios (METZGER et al., 2010c; SIQUEIRA et al., 2010; DE-DEUS et al., 2011b; PAQUÉ; PETERS, 2011; PETERS; PAQUÉ, 2011; VERSIANI et al., 2011a; SOLOMONOV et al., 2012; YOLDAS et al., 2012). Segundo VERSIANI et al. (2011a), apesar do desgaste mais

homogêneo promovido pela SAF, este instrumento não é capaz de preparar completamente a área de superfície do canal, o que pode estar relacionado à anatomia do SCR, conforme observado na análise qualitativa dos modelos tridimensionais no presente estudo, demonstrando sua característica ovalada no sentido méso-distal (Apêndices 1 a 8).

Os valores médios do SMI obtidos após o preparo biomecânico variaram de 2,64 a 2,81, não sendo observada diferença estatística entre os sistemas (Tabela XIII). Estes resultados refletiram a regularização das paredes do canal radicular após o preparo biomecânico (Apêndices 5 a 8), tendo em vista a geometria cilíndrica da SAF e a característica cônica dos instrumentos ProTaper, WaveOne e Reciproc. O SMI envolve a mensuração da convexidade de superfície de um sólido e seus valores variam de 0 a 4, sendo que os valores 0, 3 e 4 correspondem, respectivamente, a um plano, a um cilindro e a uma esfera regulares (HILDEBRAND; RÜEGSEGG, 1997). Apesar de ser um parâmetro morfológico utilizado para a avaliação do trabeculado ósseo (ITO et al., 2002), ele tem sido frequentemente usado na avaliação da convexidade tridimensional do canal radicular (PETERS et al., 2001a; PAQUÉ et al., 2009a; VERSIANI et al., 2011b; YANG et al., 2011; YOU et al., 2011).

A similaridade dos grupos em relação às alterações no SMI (Tabela XIII) pode também ser explicada em função da padronização do tempo de ação dos instrumentos. Esta medida propiciou que os sistemas de instrumento único tivessem o mesmo tempo de ação sobre as paredes do canal que o grupo ProTaper Universal, o que resultou em preparos com convexidade de superfície similares. Considerando-se que o número sequências de instrumentos de um sistema recomendado para o preparo biomecânico é diretamente proporcional ao tempo de

trabalho (HÜLSMANN et al., 2005; PAQUÉ et al., 2005b; VERSIANI et al., 2008), o tempo do preparo biomecânico com os sistemas WaveOne e Reciproc seria, teoricamente, mais rápido do que com o sistema Protaper Universal, o que poderia promover alterações menos significativas nas paredes do canal.

Na análise dos terços do canal foi possível observar que, na porção apical, as alterações promovidas pela SAF foram significativamente menores que nos outros grupos em relação aos parâmetros bidimensionais e tridimensionais (Tabelas VI a XIII). A explicação para este achado pode estar relacionada ao diâmetro anatômico dos espécimes utilizados. O exame microtomográfico inicial mostrou que as médias dos diâmetros maior e menor neste grupo variaram de 0,57 a 0,62 mm (Tabela IX) e de 0,38 a 0,42 mm (Tabela X), respectivamente. Considerando resultados prévios que demonstraram que a SAF de 1,5 mm promoveu preparo apical de dimensões similares ao instrumento rotatório 40.02 (VERSIANI et al., 2011a) e em função da sua eficiência de desgaste estar atrelada à sua adaptação às paredes do canal radicular (METZGER et al., 2010a), uma condição anatômica inicial similar à sua capacidade de ampliação pode ter sido responsável por estes resultados. Assim, em canais com estas dimensões, a utilização da SAF de 2,0 mm de diâmetro poderia promover alterações mais significativas (METZGER et al., 2010a; METZGER et al., 2010b).

Ainda no terço apical, as alterações nos parâmetros de circularidade (Tabela VIII), diâmetro maior (Tabela IX) e área de superfície (Tabela XII) após o preparo biomecânico foram significativamente maiores nos grupos ProTaper e WaveOne. O aumento da circularidade dos canais após o preparo dos espécimes com estes sistemas reflete sua maior conicidade em relação aos instrumentos Reciproc e SAF, o que redundou também no aumento do diâmetro maior e da área de superfície do

canal. Neste sentido, o menor valor de circularidade da SAF pode indicar que o canal permaneceu próximo de sua característica anatômica original.

As alterações na área (Tabela VI), perímetro (Tabela VII), diâmetro menor (Tabela X) e volume (Tabela XI) da região apical foram significativamente maiores no grupo WaveOne que no grupo ProTaper e Reciproc, que foram similares entre si. A ponta do instrumento WaveOne 40.08 possui menor número de passos (espirais) e menor massa metálica (núcleo) que o instrumento ProTaper F4. Segundo DIEMER; CALAS (2004), passos mais espaçados aumentam a flexibilidade dos instrumentos, permitem uma melhor eficiência de corte e remoção de debris do interior dos canais radiculares. Assim, a maior flexibilidade associada à cinemática reciprocante favoreceu a movimentação do instrumento WaveOne na região apical, gerando maior desgaste.

Apesar da menor dimensão do instrumento Reciproc 40.06 em relação ao ProTaper F4, as alterações na circularidade (Tabela VIII), diâmetro maior (Tabela IX) e área de superfície (Tabela XII) no terço apical foram similares entre eles. Estes resultados podem ser explicados pela maior flexibilidade do instrumento Reciproc, promovida pela menor conicidade e número de espirais, pelo ângulo de corte levemente positivo em função de sua secção transversal em “S” (BÜRKLEIN et al., 2012) e à cinemática reciprocante, favorecendo sua ação nesta região. No caso do instrumento ProTaper F4, sua maior rigidez, resultante da maior conicidade e números de espirais, associada à cinemática de rotação contínua, limitou sua atuação na região apical (DA SILVA et al., 2009; KUNERT et al., 2010; PAQUÉ et al., 2010a) em relação ao instrumento Reciproc.

Nesta primeira parte do estudo, a análise das alterações bidimensionais e tridimensionais permitiu avaliar o comportamento de cada sistema durante o preparo

biomecânico. Neste sentido, podemos considerar que, de forma geral, os instrumentos ProTaper e WaveOne apresentaram as maiores alterações nas condições geométricas do canal radicular, seguidos dos instrumentos Reciproc e SAF, respectivamente.

Parte 2. Avaliação microtomográfica do percentual volumétrico de espaços vazios após a obturação

O advento dos sistemas rotatórios resultou em alterações da conicidade dos instrumentos propiciando a realização do preparo biomecânico com uma conicidade mais regular (PETERS, 2004; PETERS; PAQUÉ, 2010). Visando adequar o procedimento obturador a estas mudanças foram desenvolvidos cones principais mais calibrosos que, em alguns sistemas, acompanharam as dimensões dos instrumentos utilizados no preparo biomecânico (WEST, 2006). Dentre os sistemas estudados, a SAF foi o único cujo fabricante não desenvolveu um sistema obturador próprio, recomendando a realização de técnicas termoplásticas ou de condensação lateral (METZGER et al., 2010b; METZGER et al., 2010c).

Diferentes metodologias têm sido utilizadas para avaliar a qualidade da obturação do SCR em dentes humanos incluindo testes de infiltração (WU et al., 2000b), comparações radiográficas (GUTMANN et al., 1993), diafanização (AYHAN et al., 1996), microscopia (GONDIM et al., 2003) e secções transversais da raiz (GENÇOGLU, 2003; DE-DEUS et al., 2006).

EGUCHI et al. (1985) sugeriram pela primeira vez a avaliação do percentual de área ocupada pela guta-percha como parâmetro de qualidade da obturação, sendo este método empregado posteriormente por diversos autores (GENÇOGLU et al., 2002; WU et al., 2002; JARRETT et al., 2004; DE-DEUS et al., 2006; DE-DEUS et al., 2008a; DE-DEUS et al., 2008b; SOUZA et al., 2009). De acordo com esta proposta, quanto maior o percentual da área do canal ocupada pelo material obturador, melhor seria a qualidade do selamento. Cumpre salientar que com o desenvolvimento das técnicas de digitalização de imagem e análise computacional,

este método foi aperfeiçoado (DE-DEUS et al., 2008b). Contudo, ainda dependia da secção prévia do espécime e permitia a avaliação de apenas algumas secções (ZASLANSKY et al., 2011), perdendo-se parte significativa de informações contidas no resto do material obturador (NIELSEN et al., 1995; HAMMAD et al., 2008, 2009; ENDAL et al., 2011).

Visando superar estas limitações, a tomografia computadorizada passou a ser utilizada na avaliação da obturação, uma vez que permitiu a obtenção de secções transversais do canal radicular obturado, suprimindo a necessidade de secção do espécime (JUNG et al., 2005; HAMMAD et al., 2008, 2009; MIRFENDERESKI et al., 2009; ANBU et al., 2010; ENDAL et al., 2011; SOMMA et al., 2011; ZASLANSKY et al., 2011).

Entretanto, mesmo os aparatos microtomográficos mais modernos geram imagens com diferenças substanciais de contraste entre a raiz e o material obturador, tornando-se crítica a identificação de falhas na obturação (ZASLANSKY et al., 2011). Outra limitação deste método é a geração de artefatos de *beam hardening* que podem simular a presença de espaços vazios (KOVACS et al., 2009; NARANJO et al., 2011) como demonstrado na Figura 20. Assim, o uso da microtomografia para análise de materiais de alta densidade exige que diversos parâmetros sejam previamente ajustados (STOCK, 2009) a fim de se garantir a precisão dos resultados.

Nesta segunda parte do estudo, a redução na espessura do filtro permitiu que uma maior quantidade de raios-X de alta energia atravessasse a amostra (STOCK, 2009), filtrando os raios-X de baixa energia e otimizando a qualidade das imagens. A alteração nos parâmetros de rotação do espécime favoreceram também a redução de artefatos de *beam hardening* (NARANJO et al., 2011), mantendo-se um tempo de

escaneamento similar à primeira parte do estudo. Durante a reconstrução, o valor máximo do histograma de contraste no modo logarítmico também foi modificado para compensar a alteração volumétrica que materiais de alta densidade estão sujeitos quando submetidos ao exame tomográfico (KOVACS et al., 2009). Este valor foi estabelecido em estudo-piloto no qual diferentes parâmetros foram testados a partir de dados morfométricos conhecidos de um espécime cujo canal havia sido previamente obturado.

No presente estudo, o cálculo do percentual volumétrico de espaços vazios no material obturador foi feito a partir da subtração do volume do canal obtido no segundo exame microtomográfico, pelo volume do material obturador, calculando-se a representação percentual desta diferença em relação ao canal preparado. É importante salientar que esta metodologia diferiu de trabalhos prévios utilizando microtomografia, em que os espaços vazios foram mensurados diretamente na obturação (HAMMAD et al., 2008, 2009; MIRFENDERESKI et al., 2009; ANBU et al., 2010; SOMMA et al., 2011). Assim, nestes trabalhos, área radiolúcidas geradas em função de artefatos de *beam hardening* podem ter sido contempladas como espaços vazios, o que comprometeria a fidedignidade dos resultados.

Assim como na primeira parte do estudo, para a composição dos grupos experimentais foi também utilizada a técnica de amostragem estratificada proporcional (JIANG, 2010) usando os dados morfométricos tridimensionais obtidos após o preparo biomecânico (Tabelas XI a XIII). Este procedimento garantiu a homogeneidade na composição dos grupos reduzindo a influência da anatomia nos resultados do procedimento obturador.

Os resultados evidenciaram a presença de espaços vazios em todos os espécimes, independente da técnica de obturação, condição observada em estudos

anteriores utilizando várias metodologias (EPLEY et al., 2006; GLUSKIN, 2007; DE-DEUS et al., 2008b; HAMMAD et al., 2008, 2009; MIRFENDERESKI et al., 2009; ANBU et al., 2010; DE-DEUS et al., 2011a; ENDAL et al., 2011; NARANJO et al., 2011; SOMMA et al., 2011; WISEMAN et al., 2011; ZASLANSKY et al., 2011). Este achado tem sido explicado em função da influência exercida pela irregularidade anatômica do SCR no procedimento obturador e que, no presente estudo, foi evidenciada em função da característica ovalada dos canais no sentido mésio-distal, observada durante a análise qualitativa de seus modelos tridimensionais (Apêndices 1 a 8). Esta condição anatômica dificulta a adaptação do material obturador e, conseqüentemente, favorece o aparecimento de espaços vazios (HAMMAD et al., 2008, 2009; METZGER et al., 2010c).

Os resultados mostraram que a Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação, que utilizou o sistema Resilon/RealSeal, apresentou menor percentual volumétrico de espaços vazios que a técnica recomendada pelo fabricante, que utilizou guta-percha e cimento AH Plus, quando a análise foi feita independentemente do terço do canal. As técnicas recomendadas pelos fabricantes incluíram as técnicas de condensação lateral a frio e do cone único, termoplastificado ou não. A injeção do material sólido termoplastificado permite um preenchimento do espaço pulpar de forma mais efetiva que as técnicas de cone único e condensação lateral (WU et al., 2001; DE-DEUS et al., 2004), provavelmente em razão de sua inserção incremental. Além disto, o aumento do escoamento do material obturador pelo aquecimento favorece o preenchimento das irregularidades anatômicas do canal (SCHILDER et al., 1974b, 1974a; MARCIANO et al., 1993; MARCIANO et al., 2010).

Visando identificar se alguma região teve impacto diferenciado em relação à presença de espaços vazios na obturação, avaliou-se separadamente os terços do canal radicular. Verificou-se que foi apenas no terço cervical que a Técnica Modificada da Onda Contínua de Obturação apresentou percentual de espaços vazios significativamente menor que a técnica recomendada pelo fabricante (Tabela XIV). Este resultado pode ser explicado uma vez que neste grupo, a obturação foi realizada de forma incremental pela injeção e compactação vigorosa do material obturador termoplastificado, favorecendo sua adaptação e, em consequência, reduzindo o volume de espaços vazios (SCHILDER, 1967; SCHILDER et al., 1974b; BUCHANAN, 1994; WELLER et al., 1997; BUCHANAN, 1998; CATHRO; LOVE, 2003; GORDON et al., 2005; KEÇECI et al., 2005; EPLEY et al., 2006; MAZOTTI et al., 2008). Segundo DE-DEUS et al. (2002), o material obturador sólido aquecido por técnicas de termoplastificação adapta-se melhor aos canais ovais se comparado à sua utilização em técnicas a frio. Por outro lado, na técnica recomendada pelo fabricante o volume de cimento na região cervical é muito maior, aumentando a influência do fator de configuração cavitária (fator C) (MUNIZ; MATHIAS, 2005). Neste caso, a área de superfície aderida sendo maior que a área de superfície não aderida (TAY et al., 2005) provavelmente promoveu a formação de fendas na interface do material obturador com a dentina (BOUILLAGUET et al., 2003) aumentando o percentual de espaços vazios.

Apesar da técnica recomendada pelo fabricante do sistema WaveOne ser pela termoplastificação do material sólido de obturação, o percentual de espaços vazios foi também significativamente maior do que a Técnica Modificada da Onda Contínua de Obturação no terço cervical (Tabela XIV). Em relação à técnica de obturação do sistema WaveOne, este resultado pode ser explicado em função do

material sólido ser inserido de uma só vez no interior do canal, e não de forma incremental, e não ser possível realizar uma condensação vertical efetiva em razão da presença do carreador plástico. Adicionalmente, o cimento resinoso presente na porção cervical dos canais obturados pelo sistema WaveOne pode apresentar menor viscosidade e escoamento em função da aceleração da reação de polimerização promovida pelo seu aquecimento (TAY et al., 2005; KAYA et al., 2008).

Em relação aos terços médio e apical, a ausência de diferença estatística entre as técnicas de obturação pode ser explicada pelas condições geométricas do canal após o preparo biomecânico. Nesta região, os valores de circularidade variaram de 0,64 a 0,84 (Tabela VIII), enquanto o SMI variou de 2,40 a 2,89 (Tabela XIII) indicando que o canal após o preparo tornou-se mais circular, do ponto de vista bidimensional, e mais cilíndrico, em uma perspectiva tridimensional. Esta condição geométrica mais regular possibilitou a divergência adequada das paredes dentinárias internas permitindo melhor adaptação do material obturador, distribuição mais homogênea do cimento e, conseqüentemente, maior preenchimento do espaço pulpar (OZAWA et al., 2009).

Idealmente, a função do cimento na obturação dos canais seria preencher apenas a interface guta percha/parede dentinária, formando uma fina camada homogeneamente distribuída, promovendo melhor selamento a longo prazo (WU et al., 2002). Alguns autores têm recomendado a análise do percentual de espaços vazios na obturação sem a utilização do cimento no procedimento obturador, pois este entraria como um fator de variação adicional, difícil de ser controlado em termos quantitativos (SMITH et al., 2000; WU et al., 2000a). Contudo, a ausência do cimento endodôntico em um procedimento obturador experimental não refletiria as

recomendações técnicas considerando-se os sistemas testados (BUCHANAN, 1994, 1996, 1998; HARGREAVES; COHEN, 2011; MALAGNINO et al., 2011).

Uma informação complementar resultante da observação dos espécimes obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação foi a presença de descoloração de aspecto avermelhado ocupando a maior parte da superfície externa da raiz (Figura 36). De acordo com nota técnica publicada pelo fabricante do sistema Resilon/RealSeal (PENTRON CLINICAL TECHNOLOGIES, 2005), a formulação original do Resilon utilizava um corante vermelho solúvel em água que, em condições adversas, poderia ser liberado e promover a descoloração do dente. Assim, o Resilon passou a ser produzido com pigmentos insolúveis. Provavelmente, no presente estudo, a plastificação do Resilon permitiu a liberação do corante e a menor quantidade de cimento recobrindo as paredes dentinárias favoreceu sua penetração nos túbulos dentinários.

Os resultados evidenciaram que a ampliação do conceito de sistema automatizado, vinculando os procedimentos de preparo e obturação do SCR, pode não contemplar a realidade. Após o preparo biomecânico, a média do diâmetro maior do canal variou de 0,68 a 0,70 mm (Tabela IX), enquanto o diâmetro menor variou de 0,54 a 0,59 mm (Tabela X) nos grupos ProTaper, WaveOne e Reciproc. Estes valores são pelo menos 35% maiores que o diâmetro da ponta dos cones utilizados nestes sistemas que, segundo o fabricante, apresenta 0,40 mm. Assim, observa-se uma discrepância significativa entre a condição geométrica da porção apical do canal radicular após o preparo e o diâmetro da ponta dos cones destes sistemas.

Desta maneira, a técnica de obturação, associada às características geométricas do canal radicular, pareceram estar mais relacionadas à qualidade de

preenchimento do canal do que propriamente o tipo de material utilizado no procedimento obturador.

Parte 3. Avaliação da resistência de união ao cisalhamento por extrusão

O processo de adesão pode ser definido como aquele no qual duas superfícies de composições moleculares diferentes se unem por forças de atração (ERICKSON, 1992), sejam elas biológicas, físicas (mecânicas) ou químicas (NAKABAYASHI; PASHLEY, 1998). Para que haja adesão é necessário que haja proximidade entre os materiais que se pretende unir, portanto, uma condição primordial é a capacidade de umectação do líquido num material sólido (PHILLIPS, 1993). Esta capacidade de umectação permitirá a aproximação necessária entre dois materiais, facilitando a atração molecular e propiciando a adesão (ERICKSON, 1992; PHILLIPS, 1993). Em Odontologia, a adesão se caracteriza por ser um fenômeno físico (mecânico) baseando-se na infiltração do material na superfície desmineralizada do dente (NAKABAYASHI; PASHLEY, 1998). Enquanto o esmalte previamente condicionado com ácido resulta em um substrato com características mais favoráveis, a adesão à dentina tem sido bem mais desafiadora por causa de sua complexa rede mineral e orgânica (NAKABAYASHI; PASHLEY, 1998; MJÖR, 2009).

No presente estudo a adesividade foi avaliada pelo teste de cisalhamento por extrusão (*push-out*) usando a dentina intrarradicular como substrato. Nestas condições, segundo SOUSA-NETO et al. (2005), o material obturador toma o formato do conduto radicular e promove embricação semelhante à que ocorre no interior do canal radicular obturado. Destarte, este teste possibilita que a fratura ocorra paralelamente à interface dentina/material obturador, simulando melhor a condição clínica e, por isto, tem sido considerado como o método mais adequado

para avaliação da adesividade (GESI et al., 2005; UNGOR et al., 2006; KAYA et al., 2008; TEIXEIRA et al., 2009; COSTA et al., 2010). Para este teste foi utilizada velocidade de cruzeta de 0,5 mm/min (TAGGER et al., 2003; ALFREDO et al., 2006; DIAS et al., 2009) em corpos de prova de 1,0 mm de espessura obtidos de cada terço radicular, seguido da análise da interface adesiva em microscopia eletrônica de varredura (TEIXEIRA et al., 2009a; MANICARDI et al., 2011). As avaliações na interface foram realizadas por meio de escores em quatro pontos distintos, correspondentes aos quadrantes da interface dentina/material obturador em cada região analisada (cervical, média e apical), seguindo protocolo proposto por FERRARI et al. (2002). As falhas que ocorreram após o teste foram também analisadas e categorizadas como adesivas, coesivas ou mistas, conforme preconizado por SALEH et al. (2003).

Em geral, os estudos que utilizam esta metodologia estabelecem um comprimento único para os corpos de prova, por meio da secção prévia dos espécimes, visando a padronização da amostra (TEIXEIRA et al., 2009b; MANICARDI et al., 2011). No presente estudo optou-se por não realizar esta padronização considerando a amplitude de 12,53 a 19,01 mm no comprimento dos espécimes. Uma vez que a dentina radicular apresenta diferentes concentrações de túbulos dentinários por região (MJÖR, 2009), a secção dos espécimes maiores para adequá-los ao tamanho dos menores promoveria a remoção de sua porção cervical, descaracterizando os resultados do teste nesta região.

No presente estudo, os espécimes obturados pela técnica de obturação recomendada pelo fabricante apresentaram resistência de união significativamente maior do que aqueles obturados pela Técnica Modificada de Onda Contínua de Condensação (Tabela XV). Estes maiores valores de adesividade foram confirmados

pela maior frequência de falhas tipo mista observadas após o deslocamento do material obturador, enquanto na Técnica Modificada de Onda Contínua de Condensação houve mais falha do tipo adesiva na dentina. Estes resultados estão suportados por achados na literatura em que foi identificada maior frequência de falhas mistas para o cimento AH Plus (ALFREDO et al., 2008) e adesivas para o cimento RealSeal (STIEGEMEIER et al., 2010).

É importante ressaltar que, apesar do melhor preenchimento do espaço do canal resultante da utilização da Técnica Modificada de Onda Contínua de Condensação observado na segunda parte deste estudo, este preenchimento não foi proporcional aos valores de resistência de união observados neste grupo. Assim, poderíamos inferir a adesividade estaria mais relacionada ao tipo de material obturador do que propriamente à técnica utilizada para a obturação do SCR. O cimento AH Plus, utilizado nas técnicas recomendadas pelos fabricantes, penetra melhor nas microirregularidades devido ao seu escoamento (VERSIANI et al., 2006; RESENDE et al., 2009; FLORES et al., 2011; BORGES et al., 2012) e ao elevado tempo de polimerização (ALFREDO et al., 2008; HARAGUSHIKU et al., 2010). Essas propriedades, aliadas à coesão entre suas moléculas e ao volume utilizado provavelmente promoveram, no presente estudo, maior resistência ao deslocamento do material obturador, o que se traduziu em maior adesividade (SOUSA-NETO et al., 2005).

A menor resistência de união obtida no grupo da Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação pode estar associada às interferências físicas e químicas que ocorrem durante o processo de polimerização do cimento RealSeal, um cimento resinoso à base de metacrilato. Por ter endurecimento tipo *dual*, este cimento precisa de uma fonte de luz com potência suficiente para iniciar a reação de

polimerização (TEIXEIRA et al., 2008). O problema está justamente na penetração efetiva da luz nas porções mais profundas dos condutos radiculares, resultando em diminuição de sua potência e, conseqüentemente, no grau de conversão dos monômeros, comprometendo a reação de polimerização (NUNES et al., 2008; RIBEIRO et al., 2008) e sua capacidade adesiva (GESI et al., 2005; UNGOR et al., 2006; FISHER et al., 2007; JAINAEN et al., 2007; SLY et al., 2007; LEE et al., 2008; UREYEN KAYA et al., 2008; DE-DEUS et al., 2009; COSTA et al., 2010; SHOKOUHINEJAD et al., 2010; STIEGEMEIER et al., 2010). Tem sido ainda relatado que a polimerização deste cimento na interface com a dentina sofre inibição do oxigênio presente na parede dentinária interna e no interior dos túbulos dentinários, comprometendo sua capacidade adesiva (RACHED-JÚNIOR et al., 2009; COSTA et al., 2010). Além disto, o material sólido plastificado e compactado tende a se misturar com o cimento formando uma massa não uniforme que, quando resfriada, se contrai, deslocando o cimento obturador e formando lacunas que fragilizam a interface adesiva. Soma-se a estes fatores o menor volume de cimento RealSeal utilizado em virtude da recomendação técnica quando do seu uso em técnicas de termoplastificação do material obturador (MALAGNINO et al., 2011).

Na análise da interação entre as técnicas de obturação e os sistemas utilizados no preparo biomecânico observou-se valor médio de resistência de união do material obturador significativamente maior nos espécimes preparados pela SAF (Tabela XV). METZGER et al. (2010c) compararam a qualidade do preparo e da adaptação do material obturador em canais radiculares preparados com a SAF e com o sistema ProTaper Universal, através de microtomografia computadorizada. Os resultados evidenciaram percentuais significativamente maiores de área de superfície preparada e de adaptação do material obturador nos espécimes

preparados pela SAF. Apesar da ausência de correlação estatística, os autores inferiram que a manutenção das características originais da anatomia interna promovidas pela SAF e a melhor limpeza do SCR, evidenciada em outros estudos (METZGER et al., 2010a; PETERS et al., 2010; ADIGUZEL et al., 2011; KAYA et al., 2011; PARANJPE et al., 2012) resultou na melhor acomodação do material obturador, o que também explicaria os resultados do presente estudo.

Nos espécimes obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação não foi observada diferença na resistência de união nos terços cervical e médio, comparando-se os resultados obtidos em relação aos sistemas utilizados no preparo biomecânico dos canais radiculares deste grupo (Tabela XV). A explicação para estes resultados pode estar relacionada à quantidade de cimento RealSeal utilizada uma vez que esta técnica prevê a utilização de uma quantidade mínima de cimento em razão dos riscos de extravazamento (KEÇEÇI et al., 2005). Assim, durante o procedimento obturador, a maior parte do cimento ficou concentrada na região apical, o que pode ser constatado pela menor densidade de *tags* observada nas regiões cervical e média do canal radicular (Tabela XX). Por outro lado, os maiores valores de resistência de união observados na região apical nos espécimes preparados com a SAF podem ser explicados pela melhor qualidade do preparo (METZGER et al., 2010a; METZGER et al., 2010c) associada à presença de maior quantidade de cimento.

Entre os grupos controle, destaca-se o valor de resistência de união dos espécimes obturados com o carreador WaveOne termoplastificado sem o uso de cimento endodôntico (Tabela XIX). Estes resultados foram suportados na avaliação dos tipos de falhas aonde o percentual de falhas adesivas entre o carreador plástico e a guta-percha foi maior que entre a guta-percha e a dentina (Figuras 37 e 38), e

pela análise em MEV, em que se observou a presença de grânulos de guta-percha nos túbulos dentinários (Figura 42C). Neste sentido, pode-se especular que a formação de prologamentos de guta-percha nas irregularidades do canal e túbulos dentinários promoveu sua embricação mecânica favorecendo sua adesão.

A guta-percha é um polímero orgânico natural de isopreno (MARCIANO et al., 1993; MCSPADDEN, 1993; CANALDA-SAHLI et al., 1997) cuja molécula é formada por uma cadeia de átomos unidos por ligações covalentes. BUNN (1942) relatou que a guta-percha pode existir em duas formas cristalinas, denominadas de alfa e beta. Elas possuem composição química idêntica (SCHILDER et al., 1974a; CANALDA-SAHLI et al., 1997) e podem se converter uma na outra, diferindo apenas na localização da ligação simples e na distância intermolecular (SCHILDER et al., 1974a), o que reflete no seu peso molecular (GOODMAN et al., 1974; SCHILDER et al., 1974b, 1974a; MARCIANO et al., 1993; COMBE et al., 2001; HARGREAVES; COHEN, 2011). Assim, a alta adesividade observada neste grupo pode ser explicada pela guta-percha tipo alfa apresentar peso molecular reduzido, conferindo-lhes maior fluidez, escoamento e adesividade (SCHILDER, 1967; SCHILDER et al., 1974a, 1974b; ORDINOLA-ZAPATA et al., 2009). Esta maior adesividade em relação à guta-percha tipo beta ocorre pela presença de radicais livres formados durante a quebra das cadeias poliméricas pela exposição ao calor, os quais apresentam a tendência de se unir sempre às moléculas mais próximas (WEATHERS, 1991; MCSPADDEN, 1993; CANALDA-SAHLI et al., 1997).

É interessante notar que o valor de resistência de união dos espécimes obturados com o carreador WaveOne termoplastificado sem o uso de cimento foi maior do quando associado ao cimento AH Plus. Nesta situação, a técnica de termoplastificação pode acelerar a polimerização do cimento resinoso, reduzindo

sua viscosidade, dificultando seu escoamento e, conseqüentemente, sua adaptação às paredes do canal, o que vai redundar na redução de sua capacidade adesiva (TAY et al. 2005; KAYA et al., 2008). Além disto, o material sólido plastificado tende a se misturar com o cimento formando uma massa não uniforme que, quando resfriada, se contrai, deslocando o cimento obturador e formando lacunas que fragilizam a interface adesiva.

A análise em MEV mostrou ausência de *tags* na maioria dos espécimes obturados pela Técnica Modificada de Onda Contínua de Condensação. Quando presentes estes *tags* eram curtos e esparsos, diferentemente da técnica recomendada pelo fabricante aonde foi possível observar *tags* mais longos e numerosos. Resultado semelhante foi obtido por PERDIGÃO et al. (2007) que, avaliando a adaptação interfacial de diferentes sistemas obturadores em MEV, não observaram a formação de *tags* na maioria dos espécimes obturados pelo sistema Resilon/RealSeal.

Até o presente momento, não há relato específico e conclusivo da importância dos *tags* na qualidade da adesão (SCHWARTZ; FRANSMAN, 2005; SCHWARTZ, 2006; MALYK et al., 2010). Segundo NAKABAYASHI; PASHLEY (1998), a força de união é diretamente proporcional à soma das áreas das secções transversais dos espaços interfibrilares. Assim, supõe-se que a adesão com a dentina intertubular prevaleça sobre a qualidade e quantidade dos *tags* formados (PERDIGÃO, 2007). Embora a dentina apresente obstáculos às abordagens adesivas, estudos em MEV têm demonstrado a adesão de cimentos endodônticos resinosos às paredes do canal radicular com a formação de *tags* nos túbulos dentinários (SALEH et al., 2003; GESI et al., 2005; SKIDMORE et al., 2006; JAINAEN et al., 2007; SOUSA-NETO et al., 2008; BALGUERIE et al., 2011; MANICARDI et al., 2011). Enquanto alguns

autores relataram maior força de adesão nas porções coronárias do canal em razão da alta densidade de túbulos dentinários e da formação de *tags* de resina mais longos (PATIERNO et al., 1996; MALLMANN et al., 2005), outros não observaram esta correlação (TAY; PASHLEY, 2001; KREMEIER et al., 2008; MANICARDI et al., 2011).

Nesta terceira parte do estudo demonstrou-se que as técnicas recomendadas pelos fabricantes, que incluíram as técnicas de cone único, termoplastificado ou não, e de condensação lateral, utilizando cones de guta-percha e cimento AH Plus, apresentaram maior resistência de união pelo teste de *push-out* do que a Técnica Modificada de Onda Contínua de Condensação, utilizando o sistema Resilon/RealSeal.

***C**ONSIDERAÇÕES **F**INAIS*

Em relação ao delineamento metodológico, alguns aspectos merecem ser ressaltados, principalmente quanto ao aproveitamento dos dentes e à distribuição dos grupos experimentais.

Um dos principais aspectos da metodologia empregada neste estudo foi a possibilidade do uso dos mesmos espécimes em uma sequência de experimentos visando o entendimento de quatro sistemas, desde o preparo biomecânico até a obturação. Esta abordagem só foi possível devido à utilização da microtomografia computadorizada, um método não destrutivo que permitiu a obtenção preliminar de dados bidimensionais (área, perímetro, circularidade, diâmetro maior e diâmetro menor) e tridimensionais (volume, área de superfície e SMI) dos canais radiculares, possibilitando a posterior distribuição dos espécimes em grupos experimentais pela técnica de amostragem estratificada proporcional. Essa distribuição foi confirmada estatisticamente, limitando o impacto da condição anatômica dos canais nos resultados do estudo (BÜRKLEIN et al., 2012). Deve-se salientar que o estabelecimento destas condições em um estudo desta natureza é essencial uma vez que a configuração do canal radicular tem sido mais diretamente relacionada aos resultados dos estudos do que propriamente os instrumentos ou técnicas testados (PETERS et al., 2001a; PETERS et al., 2001b; VERTUCCI, 2005).

Adicionalmente, considerando-se a dificuldade de obtenção de dentes de humanos e os aspectos bioéticos envolvidos na sua utilização, o máximo aproveitamento de cada espécime propiciado por esta metodologia serve como modelo para a realização de outros experimentos.

A introdução dos sistemas rotatórios constituiu uma importante etapa no aprimoramento e na simplificação da endodontia (PETERS, 2004). No entanto, não é verdadeiro que esse tratamento tenha se tornado mais fácil. O avanço da

tecnologia, ao oferecer instrumentos com propriedades mecânicas superiores, permitiu ao especialista e ao clínico realizar com maior segurança, tratamentos antes considerados desafiadores (HÜLSMANN et al., 2005). Apesar disto, o uso de instrumentos que geram secção de corte circular em canais de formato irregular ainda é um fator limitante para um preparo biomecânico efetivo.

Uma tentativa de superar estas deficiências surgiu com o desenvolvimento do instrumento Self-Adjusting File (SAF). Porém, podemos inferir que o avanço tecnológico mais significativo da SAF está relacionado à sua capacidade de realizar o preparo mecânico e químico simultaneamente, por meio de um dispositivo de irrigação especial que injeta um fluxo constante do irrigante através do seu corpo oco, fazendo com que a solução circule livremente e de forma simultânea à ação mecânica promovida por sua superfície abrasiva nas paredes do canal (METZGER et al., 2010).

Lançamentos recentes tem seguido esta tendência de simplificação técnica com o uso de instrumentos únicos para o preparo biomecânico do canal radicular. Esta nova geração de instrumentos tem sua dinâmica reciprocante baseada no movimento de força balanceada (YARED, 2008) e como principais representantes os sistemas Reciproc (VDW) e WaveOne (Dentsply) (BERUTTI et al., 2011; BERUTTI et al., 2012; BÜRKLEIN et al., 2012; KIM et al., 2012).

Entretanto, até o presente momento as evidências indicam que nenhum instrumento ou técnica é capaz de atuar sobre toda a área de superfície das paredes dentinárias durante o preparo biomecânico, resultando sempre na presença de restos de matéria orgânica e inorgânica, debris e mesmo de tecido vital em canais laterais, istmos e irregularidades das paredes dentinárias (BARBIZAM et al., 2002; HÜLSMANN et al., 2005; SASAKI et al., 2006; FORNARI et al., 2010). Isto nos

remete à importância da solução irrigante e das técnicas de irrigação, bem como da medicação intracanal, no contexto da neutralização deste material residual (SIQUEIRA et al., 2010). Novamente nesta etapa, a complexidade anatômica pode impedir que estes materiais ajam com efetividade nas áreas não contempladas pelo preparo mecânico (VERTUCCI, 2005) e que, no presente estudo, foi evidenciada em função da característica achatada dos canais no sentido mésio-distal, observada durante a análise qualitativa de seus modelos tridimensionais (Apêndices 1 a 8)

No presente estudo nenhum sistema testado foi capaz de preparar toda a área de superfície do canal radicular. Contudo, considerando que os sistemas de instrumento único promoveram alterações significativas e similares ao sistema de instrumentos múltiplos (ProTaper Universal) em diversos dos parâmetros estudados, sem acidentes operatórios, podemos considerar a viabilidade destas propostas de simplificação técnica do preparo biomecânico levando-se em consideração os aspectos anatômicos que limitam sua efetividade. Neste sentido, a avaliação do percentual de preparo da área de superfície do canal radicular tem sido utilizada em muitos estudos para comprovação da efetividade de diferentes técnicas de preparo biomecânico (VERSIANI et al., 2008; PAQUÉ et al., 2010; VIER-PELISSER et al., 2010; PETERS; PAQUÉ, 2011; VERSIANI et al., 2011).

Após o preparo biomecânico, a obturação adquire um papel fundamental no selamento do SCR, prevenindo a infiltração de fluidos, bactérias e seus metabólitos (SIQUEIRA, 2005; GLUSKIN, 2007). Assim como o preparo biomecânico, a qualidade dos materiais e técnicas de obturação do SCR tem sido avaliada em diferentes protocolos experimentais (SOUSA-NETO et al., 2005; ALFREDO et al., 2008; DE-DEUS et al., 2008a; DE-DEUS et al., 2008b; NUNES et al., 2008; TEIXEIRA et al., 2008; RACHED-JÚNIOR et al., 2009; TEIXEIRA et al., 2009a;

TEIXEIRA et al., 2009b; COSTA et al., 2010; HARAGUSHIKU et al., 2010; MANICARDI et al., 2011; VILANOVA et al., 2011). Em geral, os resultados mostram que nenhum material ou técnica foi capaz de promover um selamento tridimensional resistente à infiltração microbiana e de fluídos (HAMMAD et al., 2009; PAQUÉ et al., 2009; ENDAL et al., 2011; PAQUÉ et al., 2011; ZASLANSKY et al., 2011), sendo constante a presença de falhas. Mesmo a introdução de sistemas obturadores adesivos à base de Resilon se mostraram insatisfatórios em relação a estes quesitos (GESI et al., 2005; TAY et al., 2006). EGUCHI et al. (1985) sugeriram a avaliação do percentual de área ocupada pela guta-percha como parâmetro de qualidade da obturação. De acordo com esta proposta, quanto maior o percentual da área do canal ocupada pelo material obturador, melhor seria a qualidade do selamento. Contudo, cumpre salientar que, no presente estudo, o melhor preenchimento do espaço do canal resultante da utilização da Técnica Modificada de Onda Contínua de Condensação não foi proporcional aos valores de resistência de união observados neste grupo. Assim, poderíamos inferir a adesividade estaria mais relacionada ao tipo de material obturador do que propriamente à técnica utilizada para a obturação do SCR.

No presente estudo, alguns aspectos metodológicos relacionados à obturação merecem ser destacados. Os espécimes foram avaliados inicialmente por meio da microtomografia computadorizada, uma técnica não destrutiva, sendo, posteriormente, submetidos à avaliação da resistência de união, por meio de método invasivo. Mesmo tendo-se seccionado os espécimes, o mesmo elemento dental foi utilizado para a confecção de vários corpos de prova que foram distribuídos uniformemente entre os experimentos de resistência de união ao cisalhamento por extrusão, o que proporcionou a avaliação local de acordo com a técnica de

obturação, e de análise da interface adesiva em MEV, otimizando a amostra disponível.

Os resultados da análise da qualidade de preenchimento do material obturador em relação ao espaço do canal radicular no presente estudo corroboram os achados da literatura. Nenhuma técnica foi capaz de preencher completamente o SCR e a resistência de união do sistema Resilon/RealSeal, utilizado na Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação, foi significativamente menor que as técnicas recomendadas pelos fabricantes utilizando guta-percha e cimento AH Plus. Assim como o preparo biomecânico, o procedimento obturador também é fortemente influenciado pela complexidade da configuração anatômica dos canais radiculares que impede, por si só, a distribuição homogênea do material obturador e a realização efetiva de procedimentos adesivos (DE-DEUS et al., 2006; TAY et al., 2006; TAY; PASHLEY, 2007; RACHED-JÚNIOR et al., 2009; COSTA et al., 2010).

O profissional está sempre à procura de métodos mais rápidos e fáceis para execução do tratamento endodôntico. Os fabricantes de sistemas automatizados, por sua vez, têm relacionado esta maior facilidade com o lançamento de novos produtos. Normalmente, esta suposta “facilidade” vem acompanhada da sugestão do uso de poucos instrumentos e do fato do preparo poder ser realizado eficientemente sem a necessidade de conhecimento prévio da configuração anatômica do canal, dando a impressão errônea de que estes seriam parâmetros ideais para o preparo biomecânico de todos os grupos dentários (VERSIANI et al., 2008).

Muitos estudos têm dado importância à avaliação dos valores de resistência adesiva entre dentina radicular e cimento endodôntico, bem como da análise microscópica desta interface. Apesar das evidências destas condições para a manutenção da integridade da obturação do canal radicular a longo prazo, ainda não

há parâmetros que indiquem, por exemplo, qual seria o percentual clínico aceitável de espaços vazios e de resistência de união do material obturador, refletindo em sua capacidade de selamento.

Confrontando nossos resultados com o de outros autores, observamos que existem muitas variáveis que podem influenciar o comportamento dos materiais e das técnicas utilizadas. Com isto, as discrepâncias nos resultados devem ser apuradas com critério para que se tenha uma efetiva utilidade e aplicação em estudos futuros, na busca de novos materiais e técnicas que apresentem propriedades e características mais desejáveis para uso *in vivo*. Ao mesmo tempo, como profissionais, deveríamos ter suficiente discernimento na adoção de procedimentos técnicos que tenham embasamento suportado por evidências científicas, ignorando idéias embasadas apenas na velocidade ou simplicidade. Contudo, em razão da recente introdução da instrumentação mecanizada e de procedimentos obturadores adesivos na endodontia, ainda não se sabe seu real impacto no prognóstico do tratamento endodôntico. Porém, é evidente a influência da complexidade da configuração anatômica do SCR no preparo e obturação (PETERS, 2004; HÜLSMANN et al., 2005). Isto, efetivamente, expõe a necessidade de novas pesquisas, *in vitro* e *in vivo*, pois o uso desses materiais e técnicas são realidade na prática clínica e suas implicações podem culminar com o insucesso do tratamento.

Assim, este estudo abre perspectivas para o desenvolvimento de modelos experimentais que possibilitem correlacionar as características do preparo biomecânico com as propriedades de selamento e adesividade do material obturador, bem sua capacidade de preenchimento do espaço pulpar.

***C**ONCLUSÕES*

Assim, com base na metodologia utilizada e nos resultados obtidos neste estudo, é lícito concluir que:

1. Todos os sistemas testados resultaram em alterações dos parâmetros bidimensionais e tridimensionais do SCR. A SAF foi o instrumento que apresentou as menores alterações percentuais em todos parâmetros, com exceção do SMI em que todos os instrumentos apresentaram resultados similares;
2. O percentual volumétrico de espaços vazios no material obturador foi significativamente maior nos espécimes obturados pelas técnicas recomendadas pelos fabricantes, em relação à Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação, apenas no terço cervical, não sendo observada diferença nos outros terços;
3. A Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação apresentou resistência de união ao cisalhamento por extrusão significativamente menor que as técnicas recomendadas pelos fabricantes;
4. Nos terços cervical, médio e apical, a análise do tipo de falha ocorrida após o teste de *push-out* mostrou predominância de falha do tipo adesiva, em todos os grupos. Nos espécimes obturados pelas técnicas recomendadas pelos fabricantes houve maior frequência de falha tipo mista, enquanto na Técnica Modificada de Onda Contínua de Condensação houve mais falha do tipo adesiva na dentina;

5. Qualitativamente, não foram observados *tags* na maioria dos espécimes obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação. Quando presentes, eles foram pequenos, pouco numerosos e irregularmente distribuídos. Nos espécimes obturados pelas técnicas recomendadas pelos fabricantes observou-se formação de *tags* longos e regularmente distribuídos em todas as regiões analisadas;

6. Quantitativamente, a densidade de *tags* foi significativamente menor nos espécimes obturados pela Técnica Modificada da Onda Contínua de Condensação em relação às técnicas recomendadas pelos fabricantes.

***R*EFERÊNCIAS**

- ADCOCK, J. M.; SIDOW, S. J.; LOONEY, S. W.; LIU, Y.; MCNALLY, K.; LINDSEY, K.; TAY, F. R. Histologic evaluation of canal and isthmus debridement efficacies of two different irrigant delivery techniques in a closed system. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 4, p. 544-548, 2011.
- ADIGUZEL, O.; YIGIT-OZER, S.; KAYA, S.; UYSAL, I.; GANIDAGLI-AYAZ, S.; AKKUS, Z. Effectiveness of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) and MTAD on debris and smear layer removal using a self-adjusting file. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 112, n. 6, p. 803-808, 2011.
- AGUIAR, C. M.; MENDES, D. A.; CÂMARA, A. C.; DE FIGUEIREDO, J. A. Evaluation of the centreing ability of the ProTaper Universal rotary system in curved roots in comparison to Nitiflex files. **Australian Endodontic Journal**, v. 35, n. 3, p. 174-179, 2009a.
- AGUIAR, C. M.; MENDES, D. A.; CÂMARA, A. C.; FIGUEIREDO, A. P. Assessment of canal walls after biomechanical preparation of root canals instrumented with Protaper Universal rotary system. **Journal of Applied Oral Science**, v. 17, n. 6, p. 590-595, 2009b.
- AL-OMARI, M. A.; AURICH, T.; WIRTTI, S. Shaping canals with ProFiles and K3 instruments: does operator experience matter? **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 110, n. 3, p. e50-55, 2010.
- ALENCAR, A. H. G.; FIGUEIREDO, A. P.; ESTRELA, C. Microtomografia computadorizada na avaliação do preparo do canal radicular: análise crítica. **Revista Odontológica do Brasil Central**, v. 17, n. 44, p. 159-165, 2008.
- ALFREDO, E.; DE SOUZA, E. S.; MARCHESAN, M. A.; PAULINO, S. M.; GARIBA-SILVA, R.; SOUSA-NETO, M. D. Effect of eugenol-based endodontic cement on the adhesion of intraradicular posts. **Brazilian Dental Journal**, v. 17, n. 2, p. 130-133, 2006.
- ALFREDO, E.; SILVA, S. R.; OZÓRIO, J. E.; SOUSA-NETO, M. D.; BRUGNERA-JUNIOR, A.; SILVA-SOUSA, Y. T. Bond strength of AH Plus and Epiphany sealers on root dentine irradiated with 980 nm diode laser. **International Endodontic Journal**, v. 41, n. 9, p. 733-740, 2008.
- ALVES, F. R.; ALMEIDA, B. M.; NEVES, M. A.; MORENO, J. O.; ROÇAS, I. N.; SIQUEIRA, J. F., JR. Disinfecting oval-shaped root canals: effectiveness of different supplementary approaches. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 4, p. 496-501, 2011a.
- ALVES, F. R.; ALMEIDA, B. M.; NEVES, M. A.; ROÇAS, I. N.; SIQUEIRA, J. F., JR. Time-dependent antibacterial effects of the Self-Adjusting File used with two sodium hypochlorite concentrations. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 10, p. 1451-1455, 2011b.

ANBU, R.; NANDINI, S.; VELMURUGAN, N. Volumetric analysis of root fillings using spiral computed tomography: an in vitro study. **International Endodontic Journal**, v. 43, n. 1, p. 64-68, 2010.

ANSI/ADA. New American Dental Association Specification no. 28 for endodontic files and reamers. Council on Dental Materials and Devices. **Journal of American Dental Association**, v. 93, n. 4, p. 813-817, 1976.

ANSI/ADA. Revised American National Standards Institute/American Dental Association specification no. 28 for root canal files and reamers, type K. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. **Journal of American Dental Association**, v. 104, n. 4, p. 506, 1982.

AYHAN, H.; ALACAM, A.; OLMEZ, A. Apical microleakage of primary teeth root canal filling materials by clearing technique. **Journal of Clinical Pediatric Dentistry**, v. 20, n. 2, p. 113-117, 1996.

BABB, B. R.; LOUSHINE, R. J.; BRYAN, T. E.; AMES, J. M.; CAUSEY, M. S.; KIM, J.; KIM, Y. K.; WELLER, R. N.; PASHLEY, D. H.; TAY, F. R. Bonding of self-adhesive (self-etching) root canal sealers to radicular dentin. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 4, p. 578-582, 2009.

BALGUERIE, E.; VAN DER SLUIS, L.; VALLAEYS, K.; GURGEL-GEORGELIN, M.; DIEMER, F. Sealer penetration and adaptation in the dentinal tubules: a scanning electron microscopic study. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 11, p. 1576-1579, 2011.

BARATTO-FILHO, F.; CARVALHO JR, J. R.; FARINIUK, L. F.; SOUSA-NETO, M. D.; PÉCORA, J. D.; CRUZ-FILHO, A. M. Morphometric analysis of the effectiveness of different concentrations of sodium hypochlorite associated with rotary instrumentation for root canal cleaning. **Brazilian Dental Journal**, v. 15, n. 1, p. 36-40, 2004.

BARBIZAM, J. V.; 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. **Journal of Endodontics**, v. 28, n. 5, p. 365-366, 2002.

BAUMANN, M. A.; DOLL, G. M. Spatial reproduction of the root canal system by magnetic resonance microscopy. **Journal of Endodontics**, v. 23, n. 1, p. 49-51, 1997.

BAUMANN, M. A. Nickel-titanium: options and challenges. **Dental Clinics of North America**, v. 48, n. 1, p. 55-67, 2004.

BAUMANN, M. A. Reamer with alternating cutting edges - concept and clinical application. **Endodontic Topics**, v. 10, n. 1, p. 176-178, 2005.

BERGMANS, L.; VAN CLEYNENBREUGEL, J.; WEVERS, M.; LAMBRECHTS, P. A methodology for quantitative evaluation of root canal instrumentation using

microcomputed tomography. **International Endodontic Journal**, v. 34, n. 5, p. 390-398, 2001.

BERGMANS, L.; VAN CLEYNENBREUGEL, J.; BEULLENS, M.; WEVERS, M.; VAN MEERBEEK, B.; LAMBRECHTS, P. Smooth flexible versus active tapered shaft design using NiTi rotary instruments. **International Endodontic Journal**, v. 35, n. 10, p. 820-828, 2002.

BERGMANS, L.; VAN CLEYNENBREUGEL, J.; BEULLENS, M.; WEVERS, M.; VAN MEERBEEK, B.; LAMBRECHTS, P. Progressive versus constant tapered shaft design using NiTi rotary instruments. **International Endodontic Journal**, v. 36, n. 4, p. 288-295, 2003.

BERUTTI, E. Computerized analysis of the instrumentation of the root canal system. **Journal of Endodontics**, v. 19, n. 5, p. 236-238, 1993.

BERUTTI, E.; CHIANDUSSI, G.; PAOLINO, D. S.; SCOTTI, N.; CANTATORE, G.; CASTELLUCCI, A.; PASQUALINI, D. Effect of canal length and curvature on working length alteration with WaveOne reciprocating files. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 12, p. 1687-1690, 2011.

BERUTTI, E.; PAOLINO, D. S.; CHIANDUSSI, G.; ALOVISI, M.; CANTATORE, G.; CASTELLUCCI, A.; PASQUALINI, D. Root Canal Anatomy Preservation of WaveOne Reciprocating Files with or without Glide Path. **Journal of Endodontics**, v. 38, n. 1, p. 101-104, 2012.

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

BLAŠKOVIĆ-ŠUBAT, V.; SMOJVER, B.; MARIĆIĆ, B.; SUTALO, J. A computerized method for the evaluation of root canal morphology. **International Endodontic Journal**, v. 28, n. 6, p. 290-296, 1995.

BORGES, R. P.; SOUSA-NETO, M. D.; VERSIANI, M. A.; RACHED-JÚNIOR, F. A.; DE-DEUS, G.; MIRANDA, C. E.; PÉCORA, J. D. Changes in the surface of four calcium silicate-containing endodontic materials and an epoxy resin-based sealer after a solubility test. **International Endodontic Journal**, 2012. doi: 10.1111/j.1365-2591.2011.01992.x. [Epub ahead of print]

BOUILLAGUET, S.; TROESCH, S.; WATAHA, J. C.; KREJCI, I.; MEYER, J. M.; PASHLEY, D. H. Microtensile bond strength between adhesive cements and root canal dentin. **Dental Materials**, v. 19, n. 3, p. 199-205, 2003.

BOUILLAGUET, S.; BERTOSSA, B.; KREJCI, I.; WATAHA, J. C.; TAY, F. R.; PASHLEY, D. H. Alternative adhesive strategies to optimize bonding to radicular dentin. **Journal of Endodontics**, v. 33, n. 10, p. 1227-1230, 2007.

BRAMANTE, C. M.; BERBERT, A.; BORGES, R. P. A methodology for evaluation of root canal instrumentation. **Journal of Endodontics**, v. 13, n. 5, p. 243-245, 1987.

BUCHANAN, L. S. The continuous wave of condensation technique: a convergence of conceptual and procedural advances in obturation. **Dentistry Today**, v. 13, n. 10, p. 80, 82, 84-85, 1994.

BUCHANAN, L. S. The continuous wave of obturation technique: 'centered' condensation of warm gutta percha in 12 seconds. **Dentistry Today**, v. 15, n. 1, p. 60-62, 64-67, 1996.

BUCHANAN, L. S. Continuous wave of condensation technique. **Endodontic Practice**, v. 1, n. 4, p. 7-10, 13-16, 18, 1998.

BÜRKLEIN, S.; HINSCHITZA, K.; DAMMASCHKE, T.; SCHÄFER, E. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. **International Endodontic Journal**, 2012. doi: 10.1111/j.1365-2591.2011.01996.x. [Epub ahead of print]

BUNN, C. W. Molecular structure of rubber-like elasticity. Part I: The crystal structure of gutta-percha, rubber and polychloroprene. **Proceedings of the Royal Society A**, v. 180, n. 980, p. 40-66, 1942.

CAMÕES, I. C. G.; VICTOR, F. L.; GOMES, C. C.; FREITAS, L. F.; PINTO, S. S. Estudo comparativo entre duas técnicas obturadoras: condensação lateral X Híbrida de Tagger. **Pesquisa Brasileira de Odontopediatria Clínica Integrada**, v. 7, n. 3, p. 217-222, 2007.

CANALDA-SAHLI, C.; BERASTEGUI-JIMENO, E.; BRAU-AGUADE, E. Apical sealing using two thermoplasticized gutta-percha techniques compared with lateral condensation. **Journal of Endodontics**, v. 23, n. 10, p. 636-638, 1997.

CATHRO, P. R.; LOVE, R. M. Comparison of MicroSeal and System B/Obtura II obturation techniques. **International Endodontic Journal**, v. 36, n. 12, p. 876-882, 2003.

CHEUNG, L. H.; CHEUNG, G. S. Evaluation of a rotary instrumentation method for C-shaped canals with micro-computed tomography. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 10, p. 1233-1238, 2008.

CIVJAN, S.; HUGET, E. F.; DESIMON, L. B. Potential applications of certain nickel-titanium (nitinol) alloys. **Journal of Dental Research**, v. 54, n. 1, p. 89-96, 1975.

CLAUDER, T.; BAUMANN, M. A. ProTaper NT system. **Dental Clinics of North America**, v. 48, n. 1, p. 87-111, 2004.

COMBE, E. C.; COHEN, B. D.; CUMMINGS, K. Alpha- and beta-forms of gutta-percha in products for root canal filling. **International Endodontic Journal**, v. 34, n. 6, p. 447-451, 2001.

COSTA, J. A.; RACHED-JÚNIOR, F. A.; SOUZA-GABRIEL, A. E.; SILVA-SOUSA, Y. T.; SOUSA-NETO, M. D. Push-out strength of methacrylate resin-based sealers to root canal walls. **International Endodontic Journal**, v. 43, n. 8, p. 698-706, 2010.

CRUZ-FILHO, A. M.; SOUSA-NETO, M. D.; SAVIOLI, R. N.; SILVA, R. G.; VANSAN, L. P.; PÉCORA, J. D. Effect of chelating solutions on the microhardness of root canal lumen dentin. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 3, p. 358-362, 2011.

DA SILVA, K. T.; GRAZZIOTIN-SOARES, R.; LIMONGI, O.; IRALA, L. E.; SALLES, A. A. Wear promoted in the apical third of simulated canals after instrumentation with ProTaper universal system. **Journal of Applied Oral Science**, v. 17, n. 5, p. 501-507, 2009.

DE-DEUS, G.; GURGEL-FILHO, E. D.; MAGALHÃES, K. M.; COUTINHO-FILHO, T. A laboratory analysis of gutta-percha-filled area obtained using Thermafil, System B and lateral condensation. **International Endodontic Journal**, v. 39, n. 5, p. 378-383, 2006.

DE-DEUS, G.; MURAD, C.; PACIORNIK, S.; REIS, C. M.; COUTINHO-FILHO, T. The effect of the canal-filled area on the bacterial leakage of oval-shaped canals. **International Endodontic Journal**, v. 41, n. 3, p. 183-190, 2008a.

DE-DEUS, G.; REIS, C.; BEZNOS, D.; DE ABRANCHES, A. M.; COUTINHO-FILHO, T.; PACIORNIK, S. Limited ability of three commonly used thermoplasticized gutta-percha techniques in filling oval-shaped canals. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 11, p. 1401-1405, 2008b.

DE-DEUS, G.; DI GIORGI, K.; FIDEL, S.; FIDEL, R. A.; PACIORNIK, S. Push-out bond strength of Resilon/Epiphany and Resilon/Epiphany self-etch to root dentin. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 7, p. 1048-1050, 2009.

DE-DEUS, G.; GARCIA-FILHO, P. Influence of the NiTi rotary system on the debridement quality of the root canal space. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 108, n. 4, p. e71-76, 2009.

DE-DEUS, G.; BARINO, B.; ZAMOLYI, R. Q.; SOUZA, E.; FONSECA, A., JR.; FIDEL, S.; FIDEL, R. A. Suboptimal debridement quality produced by the single-file F2 ProTaper technique in oval-shaped canals. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 11, p. 1897-1900, 2010.

DE-DEUS, G.; REIS, C.; DI GIORGI, K.; BRANDÃO, M. C.; AUDI, C.; FIDEL, R. A. Interfacial adaptation of the Epiphany self-adhesive sealer to root dentin. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 111, n. 3, p. 381-386, 2011a.

DE-DEUS, G.; SOUZA, E. M.; BARINO, B.; MAIA, J.; ZAMOLYI, R. Q.; REIS, C.; KFIR, A. The self-adjusting file optimizes debridement quality in oval-shaped root canals. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 5, p. 701-705, 2011b.

DE-DEUS, G. A.; GURGEL-FILHO, E. D.; MANIGLIA-FERREIRA, C.; COUTINHO-FILHO, T. The influence of filling technique on depth of tubule penetration by root canal sealer: a study using light microscopy and digital image processing. **Australian Endodontic Journal**, v. 30, n. 1, p. 23-28, 2004.

DE ALENCAR, A. H.; DUMMER, P. M.; OLIVEIRA, H. C.; PÉCOR, J. D.; ESTRELA, C. Procedural errors during root canal preparation using rotary NiTi instruments detected by periapical radiography and cone beam computed tomography. **Brazilian Dental Journal**, v. 21, n. 6, p. 543-549, 2010.

DI GIORGI, K. A. **Avaliação do efeito de duas técnicas de instrumentação na zona de risco de molares inferiores curvos através de microtomografia computadorizada e análise de imagens**. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado [Universidade Estadual do Rio de Janeiro]. 2010.

DIAS, L. L.; GIOVANI, A. R.; SILVA SOUSA, Y. T.; VANSAN, L. P.; ALFREDO, E.; SOUSA-NETO, M. D.; PAULINO, S. M. Effect of eugenol-based endodontic sealer on the adhesion of intraradicular posts cemented after different periods. **Journal of Applied Oral Science**, v. 17, n. 6, p. 579-583, 2009.

DIEMER, F.; CALAS, P. Effect of pitch length on the behavior of rotary triple helix root canal instruments. **Journal of Endodontics**, v. 30, n. 10, p. 716-718, 2004.

DOWKER, S. E.; DAVIS, G. R.; ELLIOTT, J. C. X-ray microtomography: nondestructive three-dimensional imaging for in vitro endodontic studies. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 83, n. 4, p. 510-516, 1997.

DULAC, K. A.; NIELSEN, C. J.; TOMAZIC, T. J.; FERRILLO, P. J., JR.; HATTON, J. F. Comparison of the obturation of lateral canals by six techniques. **Journal of Endodontics**, v. 25, n. 5, p. 376-380, 1999.

EGUCHI, D. S.; PETERS, D. D.; HOLLINGER, J. O.; LORTON, L. A comparison of the area of the canal space occupied by gutta-percha following four gutta-percha obturation techniques using Procosol sealer. **Journal of Endodontics**, v. 11, n. 4, p. 166-175, 1985.

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. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2011.

EPLEY, S. R.; FLEISCHMAN, J.; HARTWELL, G.; CICALESE, C. Completeness of root canal obturations: Epiphany techniques versus gutta-percha techniques. **Journal of Endodontics**, v. 32, n. 6, p. 541-544, 2006.

ERICKSON, R. L. Surface interactions of dentin adhesive materials. **Operative Dentistry**, v. 5, n. 1, p. 81-94, 1992.

- FAN, B.; MIN, Y.; LU, G.; YANG, J.; CHEUNG, G. S.; GUTMANN, J. L. Negotiation of C-shaped canal systems in mandibular second molars. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 7, p. 1003-1008, 2009.
- FAN, W.; FAN, B.; GUTMANN, J. L.; FAN, M. Identification of a C-shaped canal system in mandibular second molars. Part III. Anatomic features revealed by digital subtraction radiography. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 10, p. 1187-1190, 2008.
- FERRARI, M.; VICHI, A.; GRANDINI, S.; GEPPI, S. Influence of microbrush on efficacy of bonding into root canals. **American Journal of Dentistry**, v. 15, n. 4, p. 227-231, 2002.
- FISHER, M. A.; BERZINS, D. W.; BAHCALL, J. K. An in vitro comparison of bond strength of various obturation materials to root canal dentin using a push-out test design. **Journal of Endodontics**, v. 33, n. 7, p. 856-858, 2007.
- FLORES, D. S.; RACHED-JÚNIOR, F. J.; VERSIANI, M. A.; GUEDES, D. F.; SOUSA-NETO, M. D.; PÉCORA, J. D. Evaluation of physicochemical properties of four root canal sealers. **International Endodontic Journal**, v. 44, n. 2, p. 126-135, 2011.
- FORNARI, V. J.; SILVA-SOUSA, Y. T.; VANNI, J. R.; PÉCORA, J. D.; VERSIANI, M. A.; SOUSA-NETO, M. D. Histological evaluation of the effectiveness of increased apical enlargement for cleaning the apical third of curved canals. **International Endodontic Journal**, v. 43, n. 11, p. 988-994, 2010.
- FREIRE, L. G.; GAVINI, G.; BRANCO-BARLETTA, F.; SANCHES-CUNHA, R.; DOS SANTOS, M. Microscopic computerized tomographic evaluation of root canal transportation prepared with twisted or ground nickel-titanium rotary instruments. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 112, n. 6, p. e143-e148, 2011.
- GAMBILL, J. M.; ALDER, M.; DEL RIO, C. E. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. **Journal of Endodontics**, v. 22, n. 7, p. 369-375, 1996.
- GAO, Y.; FAN, B.; CHEUNG, G. S.; GUTMANN, J. L.; FAN, M. C-shaped canal system in mandibular second molars part IV: 3-D morphological analysis and transverse measurement. **Journal of Endodontics**, v. 32, n. 11, p. 1062-1065, 2006.
- GAO, Y.; CHEUNG, G. S.; SHEN, Y.; ZHOU, X. Mechanical behavior of ProTaper universal F2 finishing file under various curvature conditions: a finite element analysis study. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 10, p. 1446-1450, 2011.
- GEKELMAN, D.; RAMAMURTHY, R.; MIRFARSI, S.; PAQUÉ, F.; PETERS, O. A. Rotary nickel-titanium GT and ProTaper files for root canal shaping by novice operators: a radiographic and micro-computed tomography evaluation. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 11, p. 1584-1588, 2009.

GENÇOĞLU, N.; GARIP, Y.; BAS, M.; SAMANI, S. Comparison of different gutta-percha root filling techniques: Thermafil, Quick-fill, System B, and lateral condensation. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 93, n. 3, p. 333-336, 2002.

GENÇOĞLU, N. Comparison of 6 different gutta-percha techniques (part II): Thermafil, JS Quick-Fill, Soft Core, Microseal, System B, and lateral condensation. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 96, n. 1, p. 91-95, 2003.

GERGI, R.; RJEILY, J. A.; SADER, J.; NAAMAN, A. Comparison of canal transportation and centering ability of twisted files, Pathfile-ProTaper system, and stainless steel hand K-files by using computed tomography. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 5, p. 904-907, 2010.

GESI, A.; RAFFAELLI, O.; GORACCI, C.; PASHLEY, D. H.; TAY, F. R.; FERRARI, M. Interfacial strength of Resilon and gutta-percha to intraradicular dentin. **Journal of Endodontics**, v. 31, n. 11, p. 809-813, 2005.

GILHOOLY, R. M.; HAYES, S. J.; BRYANT, S. T.; DUMMER, P. M. Comparison of lateral condensation and thermomechanically compacted warm alpha-phase gutta-percha with a single cone for obturating curved root canals. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 91, n. 1, p. 89-94, 2001.

GILLEN, B. M.; LOONEY, S. W.; GU, L. S.; LOUSHINE, B. A.; WELLER, R. N.; LOUSHINE, R. J.; PASHLEY, D. H.; TAY, F. R. Impact of the quality of coronal restoration versus the quality of root canal fillings on success of root canal treatment: a systematic review and meta-analysis. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 7, p. 895-902, 2011.

GLUSKIN, A. H. Anatomy of an overfill: a reflection on the process. **Endodontic Topics**, v. 16, n. 1, p. 64-81, 2007.

GONDIM, E.; ZAIA, A. A.; GOMES, B. P.; FERRAZ, C. C.; TEIXEIRA, F. B.; SOUZA-FILHO, F. J. Investigation of the marginal adaptation of root-end filling materials in root-end cavities prepared with ultrasonic tips. **International Endodontic Journal**, v. 36, n. 7, p. 491-499, 2003.

GOODMAN, A.; SCHILDER, H.; ALDRICH, W. The thermomechanical properties of gutta-percha. II. The history and molecular chemistry of gutta-percha. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology**, v. 37, n. 6, p. 954-961, 1974.

GORDON, M. P.; LOVE, R. M.; CHANDLER, N. P. An evaluation of .06 tapered gutta-percha cones for filling of .06 taper prepared curved root canals. **International Endodontic Journal**, v. 38, n. 2, p. 87-96, 2005.

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 Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 106, n. 3, p. e70-76, 2008.

GU, Y.; LU, Q.; WANG, H.; DING, Y.; WANG, P.; NI, L. Root canal morphology of permanent three-rooted mandibular first molars - part I: pulp floor and root canal system. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 6, p. 990-994, 2010a.

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

GUTMANN, J. L.; SAUNDERS, W. P.; SAUNDERS, E. M.; NGUYEN, L. An assessment of the plastic Thermafil obturation technique. Part 1. Radiographic evaluation of adaptation and placement. **International Endodontic Journal**, v. 26, n. 3, p. 173-178, 1993.

GUTMANN, J. L.; GAO, Y. Alteration in the inherent metallic and surface properties of nickel-titanium root canal instruments to enhance performance, durability and safety: a focused review. **International Endodontic Journal**, 2012. doi: 10.1111/j.1365-2591.2011.01957.x. [Epub ahead of print]

HAMMAD, M.; QUALTROUGH, A.; SILIKAS, N. Three-dimensional evaluation of effectiveness of hand and rotary instrumentation for retreatment of canals filled with different materials. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 11, p. 1370-1373, 2008.

HAMMAD, M.; QUALTROUGH, A.; SILIKAS, N. Evaluation of root canal obturation: a three-dimensional in vitro study. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 4, p. 541-544, 2009.

HARAGUSHIKU, G. A.; SOUSA-NETO, M. D.; SILVA-SOUSA, Y. T.; ALFREDO, E.; SILVA, S. C.; SILVA, R. G. Adhesion of endodontic sealers to human root dentine submitted to different surface treatments. **Photomedicine and Laser Surgery**, v. 28, n. 3, p. 405-410, 2010.

HARGREAVES, K. M.; COHEN, S. **Cohen's Pathways of the Pulp**. St. Louis: Mosby. 2011. 992 p.

HILALY EID, G. E.; WANEES AMIN, S. A. Changes in diameter, cross-sectional area, and extent of canal-wall touching on using 3 instrumentation techniques in long-oval canals. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 12, n. 5, p. 688-695, 2011.

HILDEBRAND, T.; RÜEGSEGG, P. Quantification of bone micro architecture with the structure model index. **Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering**, v. 1, n. 1, p. 15-23, 1997.

HOF, R.; PEREVALOV, V.; ELTANANI, M.; ZARY, R.; METZGER, Z. The self-adjusting file (SAF). Part 2: mechanical analysis. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 4, p. 691-696, 2010.

HÜBSCHER, W.; BARBAKOW, F.; PETERS, O. A. Root-canal preparation with FlexMaster: canal shapes analysed by micro-computed tomography. **International Endodontic Journal**, v. 36, n. 11, p. 740-747, 2003.

HÜLSMANN, M.; PETERS, O. A.; DUMMER, P. M. H. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. **Endodontic Topics**, v. 10, n. 1, p. 30-76, 2005.

IQBAL, M. K.; FIRIC, S.; TULCAN, J.; KARABUCAK, B.; KIM, S. Comparison of apical transportation between ProFile and ProTaper NiTi rotary instruments. **International Endodontic Journal**, v. 37, n. 6, p. 359-364, 2004.

ITO, M.; NISHIDA, A.; NAKAMURA, T.; UETANI, M.; HAYASHI, K. Differences of three-dimensional trabecular microstructure in osteopenic rat models caused by ovariectomy and neurectomy. **Bone**, v. 30, n. 4, p. 594-598, 2002.

JAINAEN, A.; PALAMARA, J. E.; MESSER, H. H. Push-out bond strengths of the dentine-sealer interface with and without a main cone. **International Endodontic Journal**, v. 40, n. 11, p. 882-890, 2007.

JAINAEN, A.; PALAMARA, J. E.; MESSER, H. H. Effect of dentinal tubules and resin-based endodontic sealers on fracture properties of root dentin. **Dental Materials**, v. 25, n. 10, p. e73-81, 2009.

JARRETT, I. S.; MARX, D.; COVEY, D.; KARMAZIN, M.; LAVIN, M.; GOUND, T. Percentage of canals filled in apical cross sections - an in vitro study of seven obturation techniques. **International Endodontic Journal**, v. 37, n. 6, p. 392-398, 2004.

JIANG, J. **Large sample techniques for statistics**. New York: Springer. 2010. 600 p.

JOHNSON, W. B. A new gutta-percha technique. **Journal of Endodontics**, v. 4, n. 6, p. 184-188, 1978.

JOHNSON, W. T.; GUTMANN, J. L. Obturation of the cleaned and shaped root canal system. *In: Cohen's Pathways of the Pulp*. St. Louis: Mosby, 2011. 992 p.

JUHLIN, J. J.; WALTON, R. E.; DOVGAN, J. S. Adaptation of thermafil components to canal walls. **Journal of Endodontics**, v. 19, n. 3, p. 130-135, 1993.

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

KARABUCAK, B.; KIM, A.; CHEN, V.; IQBAL, M. K. The comparison of gutta-percha and Resilon penetration into lateral canals with different thermoplastic delivery systems. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 7, p. 847-849, 2008.

KAYA, S.; YIGIT-OZER, S.; ADIGUZEL, O. Evaluation of radicular dentin erosion and smear layer removal capacity of Self-Adjusting File using different concentrations of

sodium hypochlorite as an initial irrigant. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 112, n. 4, p. 524-530, 2011.

KEÇEÇI, A. D.; ÜNAL, G. C.; SEN, B. H. Comparison of cold lateral compaction and continuous wave of obturation techniques following manual or rotary instrumentation. **International Endodontic Journal**, v. 38, n. 6, p. 381-388, 2005.

KIM, H. C.; KIM, H. J.; LEE, C. J.; KIM, B. M.; PARK, J. K.; VERSLUIS, A. Mechanical response of nickel-titanium instruments with different cross-sectional designs during shaping of simulated curved canals. **International Endodontic Journal**, v. 42, n. 7, p. 593-602, 2009.

KIM, H. C.; KWAK, S. W.; CHEUNG, G. S. P.; KO, D. H.; CHUNG, S. M.; LEE, W. C. Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. **Journal of Endodontics**, 2012. doi: 10.1016/j.joen.2011.11.014. [Epub ahead of print]

KOVACS, M.; DANYI, R.; ERDELYI, M.; FEJERDY, P.; DOBO-NAGY, C. Distortional effect of beam-hardening artefacts on microCT: a simulation study based on an in vitro caries model. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 108, n. 4, p. 591-599, 2009.

KREMEIER, K.; FASEN, L.; KLAIBER, B.; HOFMANN, N. Influence of endodontic post type (glass fiber, quartz fiber or gold) and luting material on push-out bond strength to dentin in vitro. **Dental Materials**, v. 24, n. 5, p. 660-666, 2008.

KUNERT, G. G.; CAMARGO FONTANELLA, V. R.; DE MOURA, A. A.; BARLETTA, F. B. Analysis of apical root transportation associated with ProTaper Universal F3 and F4 instruments by using digital subtraction radiography. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 6, p. 1052-1055, 2010.

LAWSON, M. S.; LOUSHINE, B.; MAI, S.; WELLER, R. N.; PASHLEY, D. H.; TAY, F. R.; LOUSHINE, R. J. Resistance of a 4-META-containing, methacrylate-based sealer to dislocation in root canals. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 7, p. 833-837, 2008.

LEE, B. S.; LAI, E. H.; LIAO, K. H.; LEE, C. Y.; HSIEH, K. H.; LIN, C. P. A novel polyurethane-based root canal-obturation material and urethane-acrylate-based root canal sealer-part 2: evaluation of push-out bond strengths. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 5, p. 594-598, 2008.

LEE, J. K.; HA, B. H.; CHOI, J. H.; HEO, S. M.; PERINPANAYAGAM, H. Quantitative three-dimensional analysis of root canal curvature in maxillary first molars using micro-computed tomography. **Journal of Endodontics**, v. 32, n. 10, p. 941-945, 2006.

LOIZIDES, A.; KAKAVETSOS, V.; TZANETAKIS, G.; KONTAKIOTIS, E.; ELIADES, G. A Comparative study of the effects of two nickel–titanium preparation techniques on root canal geometry assessed by microcomputed tomography. **Journal of Endodontics**, v. 33, n. 12, p. 1455-1459, 2007.

LYROUDIA, K.; MIKROGEORGIS, G.; BAKALOUDI, P.; KECHAGIAS, E.; NIKOLAIDIS, N.; PITAS, I. Virtual endodontics: three-dimensional tooth volume representations and their pulp cavity access. **Journal of Endodontics**, v. 28, n. 8, p. 599-602, 2002.

MADARATI, A. A.; QUALTROUGH, A. J.; WATTS, D. C. A microcomputed tomography scanning study of root canal space: changes after the ultrasonic removal of fractured files. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 1, p. 125-128, 2009.

MAHRAN, A. H.; ABOEL-FOTOUH, M. M. Comparison of effects of ProTaper, HeroShaper, and Gates Glidden Burs on cervical dentin thickness and root canal volume by using multislice computed tomography. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 10, p. 1219-1222, 2008.

MALAGNINO, V. A.; ROSSI-FEDELE, G.; PASSARIELLO, P.; CANULLO, L. 'Simultaneous technique' and a hybrid Microseal/PacMac obturation. **Dental Update**, v. 38, n. 7, p. 477-478, 481-472, 484, 2011.

MALLMANN, A.; JACQUES, L. B.; VALANDRO, L. F.; MATHIAS, P.; MUENCH, A. Microtensile bond strength of light- and self-cured adhesive systems to intraradicular dentin using a translucent fiber post. **Operative Dentistry**, v. 30, n. 4, p. 500-506, 2005.

MALYK, Y.; KAADEN, C.; HICKEL, R.; ILIE, N. Analysis of resin tags formation in root canal dentine: a cross sectional study. **International Endodontic Journal**, v. 43, n. 1, p. 47-56, 2010.

MANICARDI, C. A.; VERSIANI, M. A.; SAQUY, P. C.; PÉCORA, J. D.; DE SOUSA-NETO, M. D. Influence of filling materials on the bonding interface of thin-walled roots reinforced with resin and quartz fiber posts. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 4, p. 531-537, 2011.

MARCIANO, J.; MICHAILESCO, P.; ABADIE, M. J. Stereochemical structure characterization of dental gutta-percha. **Journal of Endodontics**, v. 19, n. 1, p. 31-34, 1993.

MARCIANO, M. A.; BRAMANTE, C. M.; DUARTE, M. A.; DELGADO, R. J.; ORDINOLA-ZAPATA, R.; GARCIA, R. B. Evaluation of single root canals filled using the lateral compaction, tagger's hybrid, microseal and guttaflow techniques. **Brazilian Dental Journal**, v. 21, n. 5, p. 411-415, 2010.

MARENDING, M.; SCHICHT, O. O.; PAQUÉ, F. Initial apical fit of K-files versus LightSpeed LSX instruments assessed by micro-computed tomography. **International Endodontic Journal**, 2012. doi: 10.1111/j.1365-2591.2011.01967.x. [Epub ahead of print]

MARKVART, M.; DARVANN, T. A.; LARSEN, P.; DALSTRA, M.; KREIBORG, S.; BJØRNDAL, L. Micro-CT analyses of apical enlargement and molar root canal complexity. **International Endodontic Journal**, v. 45, n. 2, p. 273-281, 2012.

MAZOTTI, D.; SIVIERI-ARAUJO, G.; BERBERT, F. L.; BONETTI-FILHO, I. In vitro evaluation of the obturation ability, adaptation and compaction of gutta-percha in the root canal system employing different filling techniques. **Acta Odontologia Latinoamericana**, v. 21, n. 1, p. 3-9, 2008.

MCSPADDEN, J. T. Multiphase gutta-percha obturation technique. **Dental Economics**, v. 83, n. 9, p. 95, 97, 1993.

METZGER, Z.; TEPEROVICH, E.; COHEN, R.; ZARY, R.; PAQUÉ, F.; HÜLSMANN, M. The self-adjusting file (SAF). Part 3: removal of debris and smear layer-A scanning electron microscope study. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 4, p. 697-702, 2010a.

METZGER, Z.; TEPEROVICH, E.; ZARY, R.; COHEN, R.; HOF, R. The self-adjusting file (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy - a new concept of endodontic files and its implementation. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 4, p. 679-690, 2010b.

METZGER, Z.; ZARY, R.; COHEN, R.; TEPEROVICH, E.; PAQUÉ, F. The quality of root canal preparation and root canal obturation in canals treated with rotary versus self-adjusting files: a three-dimensional micro-computed tomographic study. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 9, p. 1569-1573, 2010c.

MIRFENDERESKI, M.; ROTH, K.; FAN, B.; DUBROWSKI, A.; CARNAHAN, H.; AZARPAZHOOH, A.; BASRANI, B.; TORNECK, C. D.; FRIEDMAN, S. Technique acquisition in the use of two thermoplasticized root filling methods by inexperienced dental students: a microcomputed tomography analysis. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 11, p. 1512-1517, 2009.

MJÖR, I. A. Dentin permeability: the basis for understanding pulp reactions and adhesive technology. **Brazilian Dental Journal**, v. 20, n. 1, p. 3-16, 2009.

MOORE, J.; FITZ-WALTER, P.; PARASHOS, P. A micro-computed tomographic evaluation of apical root canal preparation using three instrumentation techniques. **International Endodontic Journal**, v. 42, n. 12, p. 1057-1064, 2009.

MORTMAN, R. E. Technologic advances in endodontics. **Dental Clinics of North America**, v. 55, n. 3, p. 461-480, vii-viii, 2011.

MUNIZ, L.; MATHIAS, P. The influence of sodium hypochlorite and root canal sealers on post retention in different dentin regions. **Operative Dentistry**, v. 30, n. 4, p. 533-539, 2005.

NAGY, C. D.; BARTHA, K.; BERNATH, M.; VERDES, E.; SZABO, J. The effect of root canal morphology on canal shape following instrumentation using different techniques. **International Endodontic Journal**, v. 30, n. 2, p. 133-140, 1997.

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

NAKABAYASHI, N.; PASHLEY, D. H. **Hybridization of dental hard tissues**. Chicago: Quintessence Publishing Co. 1998. 129 p.

NARANJO, V.; LLORENS, R.; ALCANIZ, M.; LOPEZ-MIR, F. Metal artifact reduction in dental CT images using polar mathematical morphology. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v. 102, n. 1, p. 64-74, 2011.

NIELSEN, R. B.; ALYASSIN, A. M.; PETERS, D. D.; CARNES, D. L.; LANCASTER, J. Microcomputed tomography: an advanced system for detailed endodontic research. **Journal of Endodontics**, v. 21, n. 11, p. 561-568, 1995.

NUNES, V. H.; SILVA, R. G.; ALFREDO, E.; SOUSA-NETO, M. D.; SILVA-SOUSA, Y. T. Adhesion of Epiphany and AH Plus sealers to human root dentin treated with different solutions. **Brazilian Dental Journal**, v. 19, n. 1, p. 46-50, 2008.

ORDINOLA-ZAPATA, R.; BRAMANTE, C. M.; BERNARDINELI, N.; GRAEFF, M. S.; GARCIA, R. B.; DE MORAES, I. G.; DEBELIAN, G. A preliminary study of the percentage of sealer penetration in roots obturated with the Thermafil and RealSeal-1 obturation techniques in mesial root canals of mandibular molars. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 108, n. 6, p. 961-968, 2009.

OUNSI, H. F.; FRANCIOSI, G.; PARAGLIOLA, R.; AL-HEZAIMI, K.; SALAMEH, Z.; TAY, F. R.; FERRARI, M.; GRANDINI, S. Comparison of two techniques for assessing the shaping efficacy of repeatedly used nickel-titanium rotary instruments. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 6, p. 847-850, 2011.

OZAWA, T.; TAHA, N.; MESSER, H. H. A comparison of techniques for obturating oval-shaped root canals. **Dental Materials Journal**, v. 28, n. 3, p. 290-294, 2009.

OZER, S. Y. Comparison of root canal transportation induced by three rotary systems with noncutting tips using computed tomography. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 111, n. 2, p. 244-250, 2011.

OZGUR UYANIK, M.; CEHRELI, Z. C.; OZGEN MOCAN, B.; TASMAN DAGLI, F. Comparative evaluation of three nickel-titanium instrumentation systems in human teeth using computed tomography. **Journal of Endodontics**, v. 32, n. 7, p. 668-671, 2006.

PANITVISAI, P.; PARUNNIT, P.; SATHORN, C.; MESSER, H. H. Impact of a retained instrument on treatment outcome: a systematic review and meta-analysis. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 5, p. 775-780, 2010.

PAQUÉ, F.; BARBAKOW, F.; PETERS, O. A. Root canal preparation with Endo-Eze AET: changes in root canal shape assessed by micro-computed tomography. **International Endodontic Journal**, v. 38, n. 7, p. 456-464, 2005a.

PAQUÉ, F.; MUSCH, U.; HÜLSMANN, M. Comparison of root canal preparation using RaCe and ProTaper rotary Ni-Ti instruments. **International Endodontic Journal**, v. 38, n. 1, p. 8-16, 2005b.

PAQUÉ, F.; GANAHL, D.; PETERS, O. A. Effects of root canal preparation on apical geometry assessed by micro-computed tomography. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 7, p. 1056-1059, 2009a.

PAQUÉ, F.; LAIB, A.; GAUTSCHI, H.; ZEHNDER, M. Hard-tissue debris accumulation analysis by high-resolution computed tomography scans. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 7, p. 1044-1047, 2009b.

PAQUÉ, F.; BALMER, M.; ATTIN, T.; PETERS, O. A. Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 4, p. 703-707, 2010a.

PAQUÉ, F.; ZEHNDER, M.; MARENDING, M. Apical fit of initial K-files in maxillary molars assessed by micro-computed tomography. **International Endodontic Journal**, v. 43, n. 4, p. 328-335, 2010b.

PAQUÉ, F.; BOESSLER, C.; ZEHNDER, M. Accumulated hard tissue debris levels in mesial roots of mandibular molars after sequential irrigation steps. **International Endodontic Journal**, v. 44, n. 2, p. 148-153, 2011.

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. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 4, p. 517-521, 2011.

PAQUÉ, F.; AL-JADAA, A.; KFIR, A. Hard-tissue debris accumulation created by conventional rotary versus self-adjusting file instrumentation in mesial root canal systems of mandibular molars. **International Endodontic Journal**, 2012. doi: 10.1111/j.1365-2591.2011.01991.x. [Epub ahead of print]

PARANJPE, A.; GREGORIO, C.; GONZALEZ, A. M.; GOMEZ, A.; HERZOG, D. S.; PIÑA, A. A.; COHENCA, N. Efficacy of the Self-Adjusting File system on cleaning and shaping oval canals: a microbiological and microscopic evaluation. **Journal of Endodontics**, v. 38, n. 2, p. 226-231, 2012.

PARK, J. W.; LEE, J. K.; HA, B. H.; CHOI, J. H.; PERINPANAYAGAM, H. Three-dimensional analysis of maxillary first molar mesiobuccal root canal configuration and curvature using micro-computed tomography. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 108, n. 3, p. 437-442, 2009.

PASTERNAK-JÚNIOR, B.; SOUSA-NETO, M. D.; SILVA, R. G. Canal transportation and centring ability of RaCe rotary instruments. **International Endodontic Journal**, v. 42, n. 6, p. 499-506, 2009.

PATIERNO, J. M.; RUEGGEBERG, F. A.; ANDERSON, R. W.; WELLER, R. N.; PASHLEY, D. H. Push-out strength and SEM evaluation of resin composite bonded to internal cervical dentin. **Endodontics and Dental Traumatology**, v. 12, n. 5, p. 227-236, 1996.

PÉCORA, J. D.; CUSSIOLI, A. L.; GUERISOLI, D. M.; MARCHESAN, M. A.; SOUSA-NETO, M. D.; BRUGNERA-JÚNIOR, A. Evaluation of Er:YAG laser and EDTAC on dentin adhesion of six endodontic sealers. **Brazilian Dental Journal**, v. 12, n. 1, p. 27-30, 2001.

PÉCORA, J. D.; CAPELLI, A.; GUERISOLI, D. M.; SPANÓ, J. C.; ESTRELA, C. Influence of cervical preflaring on apical file size determination. **International Endodontic Journal**, v. 38, n. 7, p. 430-435, 2005.

PÉCORA, J. D.; CAPELLI, A. Shock of paradigms on the instrumentation of curved root canals. **Brazilian Dental Journal**, v. 17, n. 1, p. 3-5, 2006.

PENTRON CLINICAL TECHNOLOGIES. Important technique notice. **Epiphany Newsletter**, v. 1, n. 1, p. 2, 2005.

PERDIGÃO, J. New developments in dental adhesion. **Dental Clinics of North America**, v. 51, n. 2, p. 333-357, 2007.

PERDIGÃO, J.; LOPES, M. M.; GOMES, G. Interfacial adaptation of adhesive materials to root canal dentin. **Journal of Endodontics**, v. 33, n. 3, p. 259-263, 2007.

PEREIRA, E. S.; PEIXOTO, I. F.; VIANA, A. C.; OLIVEIRA, II; GONZALEZ, B. M.; BUONO, V. T.; BAHIA, M. G. Physical and mechanical properties of a thermomechanically treated NiTi wire used in the manufacture of rotary endodontic instruments. **International Endodontic Journal**, 2012. doi: 10.1111/j.1365-2591.2011.01998.x. [Epub ahead of print]

PETERS, O. A.; LAIB, A.; RUEGSEGG, P.; BARBAKOW, F. Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. **Journal of Dental Research**, v. 79, n. 6, p. 1405-1409, 2000.

PETERS, O. A.; LAIB, A.; GOHRING, T. N.; BARBAKOW, F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. **Journal of Endodontics**, v. 27, n. 1, p. 1-6, 2001a.

PETERS, O. A.; SCHÖNENBERGER, K.; LAIB, A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. **International Endodontic Journal**, v. 34, n. 3, p. 221-230, 2001b.

PETERS, O. A.; PETERS, C. I.; SCHÖNENBERGER, K.; BARBAKOW, F. ProTaper rotary root canal preparation: effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT. **International Endodontic Journal**, v. 36, n. 2, p. 86-92, 2003.

PETERS, O. A. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. **Journal of Endodontics**, v. 30, n. 8, p. 559-567, 2004.

PETERS, O. A.; BOESSLER, C.; PAQUÉ, F. Root canal preparation with a novel nickel-titanium instrument evaluated with micro-computed tomography: canal surface preparation over time. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 6, p. 1068-1072, 2010.

PETERS, O. A.; PAQUÉ, F. Current developments in rotary root canal instrument technology and clinical use: a review. **Quintessence International**, v. 41, n. 6, p. 479-488, 2010.

PETERS, O. A.; PAQUÉ, F. Root canal preparation of maxillary molars with the self-adjusting file: a micro-computed tomography study. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 1, p. 53-57, 2011.

PHILLIPS, R. W. **Skinner's science of dental materials**. Philadelphia: Saunders. 1993. 615 p.

PIRANI, C.; PELLICIONI, G. A.; MARCHIONNI, S.; MONTEBUGNOLI, L.; PIANA, G.; PRATI, C. Effectiveness of three different retreatment techniques in canals filled with compacted gutta-percha or Thermafil: a scanning electron microscope study. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 10, p. 1433-1440, 2009.

PLOTINO, G.; GRANDE, N. M.; PECCI, R.; BEDINI, R.; PAMEIJER, C. H.; SOMMA, F. Three-dimensional imaging using microcomputed tomography for studying tooth macromorphology. **Journal of American Dental Association**, v. 137, n. 11, p. 1555-1561, 2006.

RACHED-JÚNIOR, F. J.; SOUZA-GABRIEL, A. E.; ALFREDO, E.; MIRANDA, C. E.; SILVA-SOUSA, Y. T.; SOUSA-NETO, M. D. Bond strength of Epiphany sealer prepared with resinous solvent. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 2, p. 251-255, 2009.

RAPISARDA, E.; BONACCORSO, A.; TRIPI, T. R. Evaluation of two root canal preparation and obturation methods: the Mc Spadden method and the use of ProFile-Thermafil. **Minerva Stomatologica**, v. 48, n. 1-2, p. 29-38, 1999.

RESENDE, L. M.; RACHED-JÚNIOR, F. J.; VERSIANI, M. A.; SOUZA-GABRIEL, A. E.; MIRANDA, C. E.; SILVA-SOUSA, Y. T.; SOUSA NETO, M. D. A comparative study of physicochemical properties of AH Plus, Epiphany, and Epiphany SE root canal sealers. **International Endodontic Journal**, v. 42, n. 9, p. 785-793, 2009.

RHODES, J. S.; FORD, T. R.; LYNCH, J. A.; LIEPINS, P. J.; CURTIS, R. V. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. **International Endodontic Journal**, v. 32, n. 3, p. 165-170, 1999.

RHODES, J. S.; PITT FORD, T. R.; LYNCH, J. A.; LIEPINS, P. J.; CURTIS, R. V. A comparison of two nickel-titanium instrumentation techniques in teeth using microcomputed tomography. **International Endodontic Journal**, v. 33, n. 3, p. 279-285, 2000.

RIBEIRO, F. C.; SOUZA-GABRIEL, A. E.; MARCHESAN, M. A.; ALFREDO, E.; SILVA-SOUSA, Y. T.; SOUSA-NETO, M. D. Influence of different endodontic filling materials on root fracture susceptibility. **Journal of Dentistry**, v. 36, n. 1, p. 69-73, 2008.

RUDDLE, C. J. Nickel-titanium rotary instruments: current concepts for preparing the root canal system. **Australian Endodontic Journal**, v. 29, n. 2, p. 87-98, 2003.

RUDDLE, C. J. The ProTaper technique. **Endodontic Topics**, v. 10, n. 1, p. 187-190, 2005.

SALEH, I. M.; RUYTER, I. E.; HAAPASALO, M. P.; ØRSTAVIK, D. Adhesion of endodontic sealers: scanning electron microscopy and energy dispersive spectroscopy. **Journal of Endodontics**, v. 29, n. 9, p. 595-601, 2003.

SASAKI, E. W.; VERSIANI, M. A.; PEREZ, D. E.; SOUSA-NETO, M. D.; SILVA-SOUSA, Y. T.; SILVA, R. G. Ex vivo analysis of the debris remaining in flattened root canals of vital and nonvital teeth after biomechanical preparation with Ni-Ti rotary instruments. **Brazilian Dental Journal**, v. 17, n. 3, p. 233-236, 2006.

SCHILDER, H. Filling root canals in three dimensions. **Dental Clinics of North America**, v. 11, n. 5, p. 723-744, 1967.

SCHILDER, H. Cleaning and shaping the root canal. **Dental Clinics of North America**, v. 18, n. 2, p. 269-296, 1974.

SCHILDER, H.; GOODMAN, A.; ALDRICH, W. The thermomechanical properties of gutta-percha. 3. Determination of phase transition temperatures for gutta-percha. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology**, v. 38, n. 1, p. 109-114, 1974a.

SCHILDER, H.; GOODMAN, A.; ALDRICH, W. The thermomechanical properties of gutta-percha. I. The compressibility of gutta-percha. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology**, v. 37, n. 6, p. 946-953, 1974b.

SCHWARTZ, R. S.; FRANSMAN, R. Adhesive dentistry and endodontics: materials, clinical strategies and procedures for restoration of access cavities: a review. **Journal of Endodontics**, v. 31, n. 3, p. 151-165, 2005.

SCHWARTZ, R. S. Adhesive dentistry and endodontics. Part 2: bonding in the root canal system-the promise and the problems: a review. **Journal of Endodontics**, v. 32, n. 12, p. 1125-1134, 2006.

SHEN, Y.; HAAPASALO, M. Three-dimensional analysis of cutting behavior of nickel-titanium rotary instruments by microcomputed tomography. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 5, p. 606-610, 2008.

SHIPPER, G.; ØRSTAVIK, D.; TEIXEIRA, F. B.; TROPE, M. An evaluation of microbial leakage in roots filled with a thermoplastic synthetic polymer-based root canal filling material (Resilon). **Journal of Endodontics**, v. 30, n. 5, p. 342-347, 2004.

SHIPPER, G.; TEIXEIRA, F. B.; ARNOLD, R. R.; TROPE, M. Periapical inflammation after coronal microbial inoculation of dog roots filled with gutta-percha or resilon. **Journal of Endodontics**, v. 31, n. 2, p. 91-96, 2005.

SHOKOUHINEJAD, N.; SABETI, M. A.; HASHEMINASAB, M.; SHAFIEI, F.; SHAMSHIRI, A. R. Push-out bond strength of Resilon/Epiphany self-etch to intraradicular dentin after retreatment: a preliminary study. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 3, p. 493-496, 2010.

SIJBERS, J.; POSTNOV, A. Reduction of ring artefacts in high resolution micro-CT reconstructions. **Physics in Medicine and Biology**, v. 49, n. 14, p. 247-253, 2004.

SIQUEIRA, J. F., JR. Reaction of periradicular tissues to root canal treatment: benefits and drawbacks. **Endodontic Topics**, v. 10, n. 1, p. 123-147, 2005.

SIQUEIRA, J. F., JR.; ALVES, F. R.; ALMEIDA, B. M.; DE OLIVEIRA, J. C.; ROÇAS, I. N. Ability of chemomechanical preparation with either rotary instruments or self-adjusting file to disinfect oval-shaped root canals. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 11, p. 1860-1865, 2010.

SKIDMORE, L. J.; BERZINS, D. W.; BAHCALL, J. K. An in vitro comparison of the intraradicular dentin bond strength of Resilon and gutta-percha. **Journal of Endodontics**, v. 32, n. 10, p. 963-966, 2006.

SLY, M. M.; MOORE, B. K.; PLATT, J. A.; BROWN, C. E. Push-out bond strength of a new endodontic obturation system (Resilon/Epiphany). **Journal of Endodontics**, v. 33, n. 2, p. 160-162, 2007.

SMITH, R. S.; WELLER, R. N.; LOUSHINE, R. J.; KIMBROUGH, W. F. Effect of varying the depth of heat application on the adaptability of gutta-percha during warm vertical compaction. **Journal of Endodontics**, v. 26, n. 11, p. 668-672, 2000.

SOLOMONOV, M. Eight months of clinical experience with the Self-Adjusting File system. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 6, p. 881-887, 2011.

SOLOMONOV, M.; PAQUÉ, F.; FAN, B.; EILAT, Y.; BERMAN, L. H. The challenge of C-shaped canal systems: a comparative study of the Self-Adjusting File and ProTaper. **Journal of Endodontics**, v. 38, n. 2, p. 209-214, 2012.

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. **International Endodontic Journal**, v. 42, n. 2, p. 165-174, 2009.

SOMMA, F.; CRETELLA, G.; CAROTENUTO, M.; PECCI, R.; BEDINI, R.; DE BIASI, M.; ANGERAME, D. Quality of thermoplasticized and single point root fillings assessed by micro-computed tomography. **International Endodontic Journal**, v. 44, n. 4, p. 362-369, 2011.

SOUSA-NETO, M. D.; SILVA COELHO, F. I.; MARCHESAN, M. A.; ALFREDO, E.; SILVA-SOUSA, Y. T. Ex vivo study of the adhesion of an epoxy-based sealer to human dentine submitted to irradiation with Er : YAG and Nd : YAG lasers. **International Endodontic Journal**, v. 38, n. 12, p. 866-870, 2005.

SOUSA-NETO, M. D.; RACHED-JÚNIOR, F. A.; GARIBA-SILVA, R.; PÉCORA, J. D.; SILVA-SOUZA, Y. T. C. Avaliação da adesividade à dentina do cimento AH Plus e Epiphany associados aos cones de resilon e gutta-percha. **Revista Odontológica do Brasil Central**, v. 17, n. 43, p. 22-31, 2008.

SOUZA, E. M.; WU, M. K.; VAN DER SLUIS, L. W.; LEONARDO, R. T.; BONETTI-FILHO, I.; WESSELINK, P. R. Effect of filling technique and root canal area on the percentage of gutta-percha in laterally compacted root fillings. **International Endodontic Journal**, v. 42, n. 8, p. 719-726, 2009.

STIEGEMEIER, D.; BAUMGARTNER, J. C.; FERRACANE, J. Comparison of push-out bond strengths of Resilon with three different sealers. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 2, p. 318-321, 2010.

STOCK, S. R. **Microcomputed tomography: methodology and applications**. Boca Raton: CRC Press. 2009. 331 p.

STOLL, R.; THULL, P.; HOBECK, C.; YUKSEL, S.; JABLONSKI-MOMENI, A.; ROGGENDORF, M. J.; FRANKENBERGER, R. Adhesion of self-adhesive root canal sealers on gutta-percha and Resilon. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 5, p. 890-893, 2010.

TACHIBANA, H.; MATSUMOTO, K. Applicability of X-ray computerized tomography in endodontics. **Endodontics and Dental Traumatology**, v. 6, n. 1, p. 16-20, 1990.

TAGGER, M.; TAGGER, E.; TJAN, A. H.; BAKLAND, L. K. Shearing bond strength of endodontic sealers to gutta-percha. **Journal of Endodontics**, v. 29, n. 3, p. 191-193, 2003.

TAN, B. T.; MESSER, H. H. The effect of instrument type and preflaring on apical file size determination. **International Endodontic Journal**, v. 35, n. 9, p. 752-758, 2002.

TAŞDEMİR, T.; AYDEMİR, H.; İNAN, U.; ÜNAL, O. Canal preparation with Hero 642 rotary Ni-Ti instruments compared with stainless steel hand K-file assessed using computed tomography. **International Endodontic Journal**, v. 38, n. 6, p. 402-408, 2005.

TASSANI, S.; ASVESTAS, P. A.; MATSOPOULOS, G. K.; BARUFFALDI, F. Automatic identification of trabecular bone fracture **The International Federation for Medical and Biological Engineering**, v. 29, n. 2, p. 296-299, 2010.

TAY, F. R.; PASHLEY, D. H. Aggressiveness of contemporary self-etching systems. I: Depth of penetration beyond dentin smear layers. **Dental Materials**, v. 17, n. 4, p. 296-308, 2001.

TAY, F. R.; LOUSHINE, R. J.; LAMBRECHTS, P.; WELLER, R. N.; PASHLEY, D. H. Geometric factors affecting dentin bonding in root canals: a theoretical modeling approach. **Journal of Endodontics**, v. 31, n. 8, p. 584-589, 2005.

TAY, F. R.; PASHLEY, D. H. Monoblocks in root canals: a hypothetical or a tangible goal. **Journal of Endodontics**, v. 33, n. 4, p. 391-398, 2007.

TEIXEIRA, C. S.; SILVA-SOUSA, Y. C.; SOUSA-NETO, M. D. Effects of light exposure time on composite resin hardness after root reinforcement using translucent fibre post. **Journal of Dentistry**, v. 36, n. 7, p. 520-528, 2008.

TEIXEIRA, C. S.; ALFREDO, E.; THOME, L. H.; GARIBA-SILVA, R.; SILVA-SOUSA, Y. T.; SOUSA-NETO, M. D. Adhesion of an endodontic sealer to dentin and gutta-percha: shear and push-out bond strength measurements and SEM analysis. **Journal of Applied Oral Science**, v. 17, n. 2, p. 129-135, 2009a.

TEIXEIRA, C. S.; SILVA-SOUSA, Y. T.; SOUSA-NETO, M. D. Bond strength of fiber posts to weakened roots after resin restoration with different light-curing times. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 7, p. 1034-1039, 2009b.

THOMPSON, N. M. **Development of a novel canal preparation technique using the torsional fatigue profile of the ProTaper(TM) F2 rotary instrument**. Toronto: Dissertação de Mestrado [University of Toronto]. 2006.

THOMPSON, S. A. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. **International Endodontic Journal**, v. 33, n. 4, p. 297-310, 2000.

UNAL, G. C.; MADEN, M.; SAVGAT, A.; ONUR ORHAN, E. Comparative investigation of 2 rotary nickel-titanium instruments: protaper universal versus protaper. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 107, n. 6, p. 886-892, 2009.

UNGOR, M.; ONAY, E. O.; ORUCOGLU, H. Push-out bond strengths: the Epiphany-Resilon endodontic obturation system compared with different pairings of Epiphany, Resilon, AH Plus and gutta-percha. **International Endodontic Journal**, v. 39, n. 8, p. 643-647, 2006.

UREYEN KAYA, B.; KECECI, A. D.; ORHAN, H.; BELLI, S. Micropush-out bond strengths of gutta-percha versus thermoplastic synthetic polymer-based systems - an ex vivo study. **International Endodontic Journal**, v. 41, n. 3, p. 211-218, 2008.

VARELA-PATINO, P.; IBANEZ-PARRAGA, A.; RIVAS-MUNDINA, B.; CANTATORE, G.; OTERO, X. L.; MARTIN-BIEDMA, B. Alternating versus continuous rotation: a comparative study of the effect on instrument life. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 1, p. 157-159, 2010.

VENTURI, M. Evaluation of canal filling after using two warm vertical gutta-percha compaction techniques in vivo: a preliminary study. **International Endodontic Journal**, v. 39, n. 7, p. 538-546, 2006.

VERSIANI, M. A.; CARVALHO-JÚNIOR, J. R.; PADILHA, M. I.; LACEY, S.; PASCON, E. A.; SOUSA-NETO, M. D. A comparative study of physicochemical properties of AH Plus and Epiphany root canal sealants. **International Endodontic Journal**, v. 39, n. 6, p. 464-471, 2006.

VERSIANI, M. A.; PASCON, E. A.; DE SOUSA, C. J.; BORGES, M. A.; SOUSA-NETO, M. D. Influence of shaft design on the shaping ability of 3 nickel-titanium rotary systems by means of spiral computerized tomography. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 105, n. 6, p. 807-813, 2008.

VERSIANI, M. A.; PÉCORA, J. D.; SOUSA-NETO, M. D. Flat-oval root canal preparation with self-adjusting file instrument: a micro-computed tomography study. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 7, p. 1002-1007, 2011a.

VERSIANI, M. A.; PÉCORA, J. D.; SOUSA-NETO, M. D. The anatomy of two-rooted mandibular canines determined using micro-computed tomography. **International Endodontic Journal**, v. 44, n. 7, p. 682-687, 2011b.

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

VIEIRA, E. P.; BUONO, V. T.; DE AZEVEDO BAHIA, M. G. Effect of lateral pressure motion on the torsional behavior of rotary ProTaper Universal instruments. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 8, p. 1124-1127, 2011.

VILANOVA, W. V.; CARVALHO-JÚNIOR, J. R.; ALFREDO, E.; SOUSA-NETO, M. D.; SILVA-SOUSA, Y. T. Effect of intracanal irrigants on the bond strength of epoxy resin-based and methacrylate resin-based sealers to root canal walls. **International Endodontic Journal**, v. 45, n. 1, p. 42-48, 2011.

VILLAS-BOAS, M. H. **Análise comparativa em microtomografia do preparo dos canais mesiais de molares inferiores por quatro sistemas rotatórios de níquel-titânio** Bauru: Dissertação de Mestrado [Universidade de São Paulo]. 2011.

WALIA, H. M.; BRANTLEY, W. A.; GERSTEIN, H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. **Journal of Endodontics**, v. 14, n. 7, p. 346-351, 1988.

WEATHERS, A. K., JR. "Alpha" gutta-percha--is it just another phase? **Dentistry Today**, v. 10, n. 5, p. 55-56, 1991.

WEBBER, J.; MACHTOU, P.; PERTOT, W. J.; KUTTLER, S.; RUDDLE, C. J.; WEST, J. The WaveOne single-file reciprocating system. **Roots**, v. 7, n. 1, p. 28-33, 2011.

WEIGER, R.; ELAYOUTI, A.; LÖST, C. Efficiency of hand and rotary instruments in shaping oval root canals. **Journal of Endodontics**, v. 28, n. 8, p. 580-583, 2002.

WELLER, R. N.; KIMBROUGH, W. F.; ANDERSON, R. W. A comparison of thermoplastic obturation techniques: adaptation to the canal walls. **Journal of Endodontics**, v. 23, n. 11, p. 703-706, 1997.

WEST, J. Progressive taper technology: rationale and clinical technique for the new ProTaper universal system. **Dentistry Today**, v. 25, n. 12, p. 64, 66-69, 2006.

WHITWORTH, J. Methods of filling root canals: principles and practices. **Endodontic Topics**, v. 12, n. 1, p. 2-24, 2005.

WISEMAN, A.; COX, T. C.; PARANJPE, A.; FLAKE, N. M.; COHENCA, N.; JOHNSON, J. D. Efficacy of sonic and ultrasonic activation for removal of calcium hydroxide from mesial canals of mandibular molars: a microtomographic study. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 2, p. 235-238, 2011.

WU, M. K.; FAN, B.; WESSELINK, P. R. Diminished leakage along root canals filled with gutta-percha without sealer over time: a laboratory study. **International Endodontic Journal**, v. 33, n. 2, p. 121-125, 2000a.

WU, M. K.; FAN, B.; WESSELINK, P. R. Leakage along apical root fillings in curved root canals. Part I: effects of apical transportation on seal of root fillings. **Journal of Endodontics**, v. 26, n. 4, p. 210-216, 2000b.

WU, M. K.; KAST'AKOVA, A.; WESSELINK, P. R. Quality of cold and warm gutta-percha fillings in oval canals in mandibular premolars. **International Endodontic Journal**, v. 34, n. 6, p. 485-491, 2001.

WU, M. K.; WESSELINK, P. R. A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. **International Endodontic Journal**, v. 34, n. 2, p. 137-141, 2001.

WU, M. K.; VAN DER SLUIS, L. W.; WESSELINK, P. R. A preliminary study of the percentage of gutta-percha-filled area in the apical canal filled with vertically compacted warm gutta-percha. **International Endodontic Journal**, v. 35, n. 6, p. 527-535, 2002.

YANG, G.; YUAN, G.; YUN, X.; ZHOU, X.; LIU, B.; WU, H. Effects of two nickel-titanium instrument systems, Mtwo versus ProTaper universal, on root canal geometry assessed by micro-computed tomography. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 10, p. 1412-1416, 2011.

YARED, G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. **International Endodontic Journal**, v. 41, n. 4, p. 339-344, 2008.

YE, J.; GAO, Y. Metallurgical Characterization of M-Wire Nickel-Titanium Shape Memory Alloy Used for Endodontic Rotary Instruments during Low-cycle Fatigue. **Journal of Endodontics**, v. 38, n. 1, p. 105-107, 2012.

YIN, X.; CHEUNG, G. S.; ZHANG, C.; MASUDA, Y. M.; KIMURA, Y.; MATSUMOTO, K. Micro-computed tomographic comparison of nickel-titanium rotary versus traditional instruments in C-shaped root canal system. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 4, p. 708-712, 2010.

YOLDAS, O.; YILMAZ, S.; ATAKAN, G.; KUDEN, C.; KASAN, Z. Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the Self-Adjusting File **Journal of Endodontics**, v. 38, n. 2, p. 232-235, 2012.

YOU, S. Y.; KIM, H. C.; BAE, K. S.; BAEK, S. H.; KUM, K. Y.; LEE, W. Shaping ability of reciprocating motion in curved root canals: a comparative study with micro-computed tomography. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 9, p. 1296-1300, 2011.

ZASLANSKY, P.; FRATZL, P.; RACK, A.; WU, M. K.; WESSELINK, P. R.; SHEMESH, H. Identification of root filling interfaces by microscopy and tomography methods. **International Endodontic Journal**, v. 44, n. 5, p. 395-401, 2011.

Anexo 1 Relatório do Comitê de Ética **UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto

Comitê de Ética em Pesquisa

Of. CEP / 356/ FORP

Ribeirão Preto, 24 de agosto de 2010

Ref. processo n.º 2009.1.972.58.4
CAAE n.º 0072.0.138.000-09

Senhor Pesquisador,

A pedido da Profa. Dra. Cláudia Helena Lovato da Silva, Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa, desta Faculdade, informamos que o referido Comitê em sua 111ª Sessão, realizada em 19 de agosto de 2010, **aprovou o Relatório Parcial do Projeto de Pesquisa:** "Avaliação de diferentes técnicas de preparo biomecânico, obturação, retrobturação, preparo para contenção intraradicular de dentes submetidos a diferentes tratamentos, por meio de microtomografia computadorizada".

Na oportunidade, lembramos da necessidade de entregar na Secretaria do Comitê, com os formulários preenchidos pelo pesquisador responsável, o **Relatório Parcial** no dia 30 de maio de 2011 e o **Relatório Final** no dia 30 de março de 2012.

JULIANA GODOI DE OLIVEIRA SILVA
Secretária do Comitê de Ética em Pesquisa

Ilmo. Sr.
Prof. Dr. MANOEL DAMIÃO DE SOUSA NETO
Departamento de Odontologia Restauradora
desta Faculdade

Anexo 2 Parâmetros de Aquisição das Projeções dos Espécimes

DataDirectory=C:\Users\SkyScan\MarcoVersiani\Tese\ScanAfter\Sample001
Filename Prefix=Sample001_
Number Of Files= 187
Number Of Rows= 1024
Number Of Columns= 652
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)=19.66
Scaled Image Pixel Size (um)=19.659000
Image Format=TIFF
Depth (bits)=16
Screen LUT=0
Exposure (ms)=6000
Rotation Step (deg)=1.000
Use 360 Rotation=NO
Scanning position=13.498 mm
Flat Field Correction=ON
Frame Averaging=ON (2)
Sharpening (%)=40
Random Movement=ON
Geometrical Correction=ON
Filter=1mm Al filter
Rotation Direction=CC
Type of Detector Motion=STEP AND SHOOT
Scanning Trajectory=ROUND
Number of connected scans=1
Scan duration=00:59:13

Anexo 3 Parâmetros de Reconstrução (NRecon)

Reconstruction Program=NRecon
Reconstruction engine=NReconServer
Reconstruction from batch=No
Dataset Origin=SkyScan1174v2
Dataset Prefix=Sample001_
Dataset Directory= C:\Users\SkyScan\MarcoVersiani\Tese\ Sample001
OutputDirectory= C:\Users\SkyScan\MarcoVersiani\Tese\Sample001\Reconstructed
First Section=127
Last Section=909
Reconstruction duration per slice (seconds)=0.095785
Postalignment=5.50
Section to Section Step=1
Sections Count=783
Result File Type=BMP
Result File Header Length (bytes)=1134
Result Image Width (pixels)=484
Result Image Height (pixels)=496
Pixel Size (um)=19.65900
Reconstruction Angular Range (deg)=187.00
Use 180+=OFF
Angular Step (deg)=1.0000
Smoothing=3
Smoothing kernel=1 (Symmetrical boxcar)
Ring Artifact Correction=5
Draw Scales=OFF
Object Bigger than FOV=OFF
Reconstruction from ROI=ON
ROI Top (pixels)=654
ROI Bottom (pixels)=157
ROI Left (pixels)=190
ROI Right (pixels)=674
ROI reference length=847
Filter cutoff relative to Nyquist frequency=100
Undersampling factor=1
Threshold for defect pixel mask (%)=0
Beam Hardening Correction (%)=15
CS Static Rotation (deg)=0.0
Minimum for CS to Image Conversion=0.0020
Maximum for CS to Image Conversion=0.0970
HU Calibration=OFF
BMP LUT=0
Cone-beam Angle Horiz.(deg)=4.208354
Cone-beam Angle Vert.(deg)=5.086730

Anexo 4 Parâmetros de segmentação e análise das imagens do canal radicular antes e após o preparo mecânico-químico

1. Thresholding

Mode, Global / Lower grey threshold, 65 / Upper grey threshold, 255

2. Morphological operations

Type: Opening (3D space) / Kernel: Round / Radius: 2 / Apply to: Image

3. Despeckle

Type: Sweep (3D space) / Remove: all except the largest object / Apply to: Image

4. Bitwise operations

<Region of Interest> = COPY <Image>

5. Despeckle

Type: Remove pores (2D space) / Detected by: by image borders / Apply to: ROI

6. Bitwise operations

<Image> = <Image> XOR <Region of Interest>

7. Despeckle

Type: Remove white speckles (2D space) / Area: less than 20 pixels / Apply to: Image

8. Despeckle

Type: Sweep (3D space) / Remove: all except the largest object / Apply to: Image

9. Save bitmaps (image inside ROI):

File format: bmp / Resize to the ROI bounds: Off

10. Individual object analysis (2D space)

Area / Perimeter / Roundness / Major Diameter / Minor Diameter

11. 3D analysis

Surface Area / Volume / Structure Model Index (SMI)

12. 3D model

Model creation algorithm: Double-Time Cubes

ANEXO 5 Macros em Visual Basic para Microsoft Excel 2007

Macro 1

```
Sub CombineTextFiles()
    Dim FilesToOpen
    Dim x As Integer
    Dim wkbAll As Workbook
    Dim wkbTemp As Workbook
    Dim sDelimiter As String
    On Error GoTo ErrHandler
    Application.ScreenUpdating = False
    sDelimiter = ","
    FilesToOpen = Application.GetOpenFilename _
        (FileFilter:="Text Files (*.txt), *.txt", _
        MultiSelect:=True, Title:="Text Files to Open")
    If TypeName(FilesToOpen) = "Boolean" Then
        MsgBox "No Files were selected"
        GoTo ExitHandler
    End If
    x = 1
    Set wkbTemp = Workbooks.Open(Filename:=FilesToOpen(x))
    wkbTemp.Sheets(1).Copy
    Set wkbAll = ActiveWorkbook
    wkbTemp.Close (False)
    wkbAll.Worksheets(x).Columns("A:A").TextToColumns _
        Destination:=Range("A1"), DataType:=xlDelimited, _
        TextQualifier:=xlDoubleQuote, _
        ConsecutiveDelimiter:=False, _
        Tab:=False, Semicolon:=False, _
        Comma:=False, Space:=False, _
        Other:=True, OtherChar:="|"
    x = x + 1
    While x <= UBound(FilesToOpen)
        Set wkbTemp = Workbooks.Open(Filename:=FilesToOpen(x))
        With wkbAll
            wkbTemp.Sheets(1).Move After:=.Sheets(.Sheets.Count)
            .Worksheets(x).Columns("A:A").TextToColumns _
                Destination:=Range("A1"), DataType:=xlDelimited, _
                TextQualifier:=xlDoubleQuote, _
                ConsecutiveDelimiter:=False, _
                Tab:=False, Semicolon:=False, _
                Comma:=False, Space:=False, _
                Other:=True, OtherChar:=sDelimiter
        End With
        x = x + 1
    Wend
ExitHandler:
    Application.ScreenUpdating = True
    Set wkbAll = Nothing
    Set wkbTemp = Nothing
    Exit Sub
ErrHandler:
    MsgBox Err.Description
    Resume ExitHandler
End Sub
```

Macro 2

```
Sub Combine()  
    Dim J As Integer  
  
    On Error Resume Next  
    Sheets(1).Select  
    Worksheets.Add ' add a sheet in first place  
    Sheets(1).Name = "Combined"  
  
    ' copy headings  
    Sheets(2).Activate  
    Range("A1").EntireRow.Select  
    Selection.Copy Destination:=Sheets(1).Range("A1")  
  
    ' work through sheets  
    For J = 2 To Sheets.Count ' from sheet 2 to last sheet  
        Sheets(J).Activate ' make the sheet active  
        Range("A1").Select  
        Selection.CurrentRegion.Select ' select all cells in this sheets  
  
        ' select all lines except title  
        Selection.Offset(1, 0).Resize(Selection.Rows.Count - 1).Select  
  
        ' copy cells selected in the new sheet on last line  
        Selection.Copy Destination:=Sheets(1).Range("A65536").End(xlUp)(2)  
    Next  
End Sub
```


Anexo 6 Parâmetros de Aquisição das Projeções dos Espécimes Obturados

Data Directory=C:\Users\SkyScan\MarcoVersiani\Tese\Obturation\Sample 001

Filename Prefix= Sample001_

Number Of Files= 180

Number Of Rows= 1024

Number Of Columns= 652

Partial Width= 50%

Image crop origin X= 326

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)=19.66

Scaled Image Pixel Size (um)=19.659000

Image Format=TIFF

Depth (bits)=16

Screen LUT=0

Exposure (ms)=6000

Rotation Step (deg)=2.000

Use 360 Rotation=YES

FlatField Update=NO

Scanning position=19.999 mm

Flat Field Correction=ON

Frame Averaging=ON (2)

Sharpening (%)=40

Random Movement=OFF

Geometrical Correction=ON

Filter=0.5mm Al

Rotation Direction=CC

Type of Detector Motion=STEP AND SHOOT

Scanning Trajectory=ROUND

Number of connected scans=1

APÊNDICE

Apêndice 1. Visão frontal e lateral dos modelos tridimensionais dos canais radiculares de cada espécime do grupo ProTaper (n=25) antes do preparo mecânico.

Apêndice 2. Visão frontal e lateral dos modelos tridimensionais dos canais radiculares de cada espécime do grupo WaveOne (n=25) antes do preparo mecânico.

Apêndice 3. Visão frontal e lateral dos modelos tridimensionais dos canais radiculares de cada espécime do grupo Reciproc (n=25) antes do preparo mecânico.

Apêndice 4. Visão frontal e lateral dos modelos tridimensionais dos canais radiculares de cada espécime do grupo SAF (n=25) antes do preparo mecânico.

Apêndice 5. Visão frontal e lateral dos modelos tridimensionais dos canais radiculares de cada espécime do grupo ProTaper (n=25) após o preparo mecânico.

Apêndice 6. Visão frontal e lateral dos modelos tridimensionais dos canais radiculares de cada espécime do grupo WaveOne (n=25) após o preparo mecânico.

Apêndice 7. Visão frontal e lateral dos modelos tridimensionais dos canais radiculares de cada espécime do grupo Reciproc (n=25) após o preparo mecânico.

Apêndice 8. Visão frontal e lateral dos modelos tridimensionais dos canais radiculares de cada espécime do grupo SAF (n=25) após o preparo mecânico.

Apêndice 9. Visão lateral dos modelos tridimensionais sobrepostos dos canais radiculares dos espécimes do grupo ProTaper antes (em cor verde) e após (em cor vermelha) o preparo mecânico.

Apêndice 10. Visão lateral dos modelos tridimensionais sobrepostos dos canais radiculares dos espécimes do grupo WaveOne antes (em cor verde) e após (em cor vermelha) o preparo mecânico.

Apêndice 11. Visão lateral dos modelos tridimensionais sobrepostos dos canais radiculares dos espécimes do grupo Reciproc antes (em cor verde) e após (em cor vermelha) o preparo mecânico.

Apêndice 12. Visão lateral dos modelos tridimensionais sobrepostos dos canais radiculares dos espécimes do grupo SAF antes (em cor verde) e após (em cor vermelha) o preparo mecânico.