



**UNESP - Universidade Estadual Paulista**  
**“Júlio de Mesquita Filho”**  
**Faculdade de Odontologia de Araraquara**



**Mariana Mena Barreto Pivoto João**

**Análise do preparo, limpeza, desinfecção e obturação de canais radiculares de molares inferiores por diferentes protocolos e materiais**

**Araraquara**  
**2019**



**UNESP - Universidade Estadual Paulista**  
**“Júlio de Mesquita Filho”**  
**Faculdade de Odontologia de Araraquara**



**Mariana Mena Barreto Pivoto João**

**Análise do preparo, limpeza, desinfecção e obturação de canais radiculares de molares inferiores por diferentes protocolos e materiais**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Odontologia, Araraquara para obtenção do título de Doutor em Odontologia, na Área de Endodontia

**Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Juliane Maria Guerreiro Tanomaru**

**Araraquara**

**2019**

João, Mariana Mena Barreto Pivoto

Análise do preparo, limpeza, desinfecção e obturação de canais radiculares de molares inferiores por diferentes protocolos e materiais / Mariana Mena Barreto Pivoto João. -- Araraquara: [s.n.], 2019

130 f.; 30 cm.

Tese (Doutorado em Odontologia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Odontologia

Orientadora: Profa. Dra. Juliane Maria Guerreiro Tanomaru

I. Preparo de canal radicular 2. Microtomografia por Raio- X  
3. Enterococcus faecalis I. Título

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Marley C. Chiusoli Montagnoli, CRB-8/5646

Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Odontologia, Araraquara

Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

**Mariana Mena Barreto Pivoto João**

**Análise do preparo, limpeza, desinfecção e obturação de canais radiculares de molares inferiores por diferentes protocolos e materiais**

**Comissão julgadora**

**Tese para obtenção do grau de doutor em Odontologia (Endodontia)**

**Presidente e Orientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dra. Juliane Maria Guerreiro Tanomaru

**2º Examinador:** Prof. Dr. Joni Augusto Cirelli

**3º Examinador:** Prof. Dr. Gustavo Sivieri de Araújo

**4º Examinador:** Prof. Dr. Rodrigo Ricci Vivan

**5º Examinador:** Prof. Dr. Fuad Jacob Abi Rached Junior

Araraquara, 8 de novembro de 2019.

## **DADOS CURRICULARES**

### **Mariana Mena Barreto Pivoto João**

MASCIMENTO: 17/07/1986 – Manaus – Amazonas

FILIAÇÃO: Ana Mena Barreto Bastos e Mário Rodrigues Bastos Sobrinho

Março 2008 - Maio 2013: Graduação em Odontologia pela Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Amazonas –FAO/UFAM

Julho 2013 - Outubro 2014: Especialização em Endodontia (855 horas) – Grupo de endodontia de Manaus – GEM/UNIP

Março 2014 - Março 2016: Mestrado do programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas - Odontologia pela Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Amazonas – FAO/UFAM

Abril 2016 – atual - Doutoranda do programa de Pós-Graduação em Odontologia - Endodontia pela Faculdade de Odontologia de Araraquara - UNESP

Aos meus pais, Ana e Mário (*in memoriam*), que sempre me deram apoio, incentivo e amor incondicional. Dedico essa minha conquista com o mais profundo amor e respeito.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à **Deus** que me concedeu sabedoria e saúde em cada momento da minha vida. Deus me deu o privilégio de nascer em uma família que tem como base o amor. Agradeço imensamente ao meus pais **Mário** (*in memoriam*) e **Ana** que me educaram com todo amor, segurança e bons princípios. Minha eterna gratidão! Preciso destacar que além de mãe, ela também é a **Prof.<sup>a</sup> Dra. Ana Mena** que muitos alunos admiram, incluindo a mim. Espero ter o mesmo amor e brilho nos olhos que a senhora tem quando está na sala de aula ou nas pesquisas no laboratório. Você me inspira! Agradeço muito ao meu irmão **Bruno** que me ensinou a ser destemida igual a ele, correr atrás dos meus sonhos. Foi te observando que eu também voei. Agradeço a minha cunhada **Mariana** e meu amado sobrinho **Bernardo** que sempre estão me esperando com muito amor. Para completar a família, Deus colocou em meu caminho, meu marido **Gabriel**. Meu companheiro dessa vida. Serei grata eternamente por você ter me acompanhado por esses anos de doutorado com seu sorriso no rosto e apoio diário. Sei que não foi fácil para você. Obrigada por tanto amor!

Assim que cheguei na FOAr-UNESP, fui recebida com muito acolhimento por minha orientadora **Prof.<sup>a</sup> Dra. Juliane Tanomaru** e pelo professor **Prof. Dr. Mário Tanomaru Filho**. Agradeço os professores a oportunidade de fazer doutorado nessa instituição. Obrigada professora Juliane pela orientação, pelos ensinamentos passados e pela construção desse trabalho que me proporcionou tanto conhecimento. A senhora plantou em mim, a vontade de trabalhar mais com microbiologia. Agradeço imensamente ao professor Mário que me ensinou muito sobre endodontia, perseverança e dedicação. Me ajudou com toda sua experiência a construir essa tese com tantos trabalhos promissores. Obrigada aos dois pela convivência, paciência, ensinamentos e amizade. Encerro esse ciclo muito honrada de ter tido o privilégio de ter vocês como meus professores. Obrigada por me ajudarem a conquistar esse título. Espero ter outras oportunidades de trabalhar com vocês.

Tive o privilégio de trabalhar com pessoas dispostas, compromissadas e inteligentes. Agradeço a **Camila Espir**, que me ajudou ao longo da pesquisa com o micro-CT. A Camila, virou uma grande amiga que me inspira com sua generosidade. Tenho que agradecer muito ao **Jáder Camilo** e a **Fernanda Torres**. Obrigada, pela

troca de experiências, ensinamentos e amizade construída ao longo desses anos. Vocês sempre estiveram dispostos a ajudar. Agradeço muito a **Gisselle Andrade**, que me ajudou a todo momento, com sua experiência e disponibilidade em ajudar. Virou uma grande amiga! Gi, obrigada por tudo. Sempre estarei torcendo por você.

O doutorado me proporcionou amizades que levarei para vida toda. **Cristiane Lopes, Maria Luiza Gioster e Kennia Scapin**, minhas amigas tão queridas! Elas estiveram sempre ali para tirar minhas dúvidas e me ajudar nesse trabalho. Agradeço pela amizade construída, pelo apoio e incentivo diário. A Cris trouxe para o nosso convívio o **João**, que se tornou nosso querido amigo e de presente veio a **Laurinha**, a mascotinha do grupo. **Lauriê, Tiago, Vinícius, Luana e Camila**, obrigada por estarem sempre presentes. Graças a Deus, passamos muitos momentos especiais juntos. A todos vocês, sentirei muitas saudades, mas levo-os em meu coração.

Agradeço imensamente o **Prof. Dr. Emílio Sponchiado e Prof.<sup>a</sup> Dra. Aida Hanan**. Foi observando eles durante a graduação e mestrado na FAO-UFAM que surgiu o amor pela endodontia e me fez acreditar que seguir a área acadêmica valia a pena. São professores comprometidos, dedicados e generosos. Agradeço todas as oportunidades que vocês me deram e tenho muito orgulho de enfatizar que fui aluna de vocês. Obrigada pelas conversas, conselhos e amizade construída.

Graças a Deus sempre fui cercada de amizades fiéis e tenho que destacar minhas amadas amigas de Manaus, **Márcia Oliveira, Aline Carlos**, minha prima-irmã **Ana Alice e Gabriela Peixoto** que mesmo estando longe, me apoiaram e incentivaram com todo amor.

Agradeço a professora **Dra. Gisele Faria** e os professores, **Dr. Fabio Berbert e Dr. Idomeo Bonetti Filho**, pela oportunidade de conviver com vocês e pelos ensinamentos compartilhados.

Obrigada a todos os alunos da pós-graduação em Odontologia (área-Endodontia) pela boa convivência diária e conversas na salinha do café.

Obrigada aos professores que compuseram a banca da tese de doutorado, **Prof. Dr. Joni Augusto Cirelli, Prof. Dr. Gustavo Sivieri de Araújo, Prof. Dr. Rodrigo Ricc Vivan, Prof. Dr. Fuad Jacob Abi Rached Junior** pela disponibilidade em lerem a minha tese e contribuírem para melhora-la.



Agradeço a **CAPES**: O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

João MMBP. Análise do preparo, limpeza, desinfecção e obturação de canais radiculares de molares inferiores por diferentes protocolos e materiais [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2019.

## RESUMO

Este estudo avaliou o preparo, limpeza e obturação de canais radiculares de molares inferiores por diferentes protocolos e materiais. Canais mesiais (n=48) de molares inferiores curvos (20°- 40°) foram preparados usando ProDesign Logic (PDL) até 25/.06 ou HyFlex EDM (HFEDM) 25/.08, e até PDL-40/.05 ou HFEDM-40/.04 na ampliação (Publicação 1). A irrigação final foi realizada com irrigação ultrassônica passiva-PUI ou easy clean-EC, hipoclorito de Sódio-NaOCl ou clorexidina-CLX ou água destilada (n=8): PUI/NaOCl 2,5%; EC/NaOCl 2,5%; EC/água destilada; PUI/CLX 2%; PUI/NaOCl 1%; PUI/NaOCl 2,5% (Publicação 2). A obturação foi realizada por condensação lateral-CL ou Termo Pack II e AHP (Publicação 3); cone único (CU) com nMTAP ou TFBC (Publicação 4). Escaneamentos (9 µm) foram realizados antes e após cada etapa experimental. Percentual de aumento volumétrico (%AV), debris (%D), redução de debris (%RD), superfície não instrumentada (%SNI), centralização, material obturador (%MO) e falhas (%F) foram analisados em toda a extensão do canal (total) e nos terços dos canais radiculares. Testes ANOVA e Tukey ou Kruskal-Wallis e Dunn, e T Pareado foram realizados ( $\alpha = 0,05$ ). HFEDM-25/.08 promoveu maior % AV. Após a dilatação, HFEDM apresentou maior volume ( $P < 0,05$ ) e houve redução de %D e %SNI. Os sistemas produziram canais centralizados (Publicação 1). Houve diminuição do percentual e volume de debris acumulados após as técnicas e entre o PUI com diferentes soluções irrigantes. EC/NaOCl proporcionou maior %RD no terço apical que PUI/NaCl e EC/H<sub>2</sub>O. PUI/CHX 2% promoveu maior percentual de debris acumulados em relação ao PUI/ NaOCl 1% e PUI/NaOCl 2,5% nos terços cervical/médio, sendo similares no terço apical. Canais preenchidos por (OCC) apresentaram menor %F, e maior %MO no total e terço apical (Publicação 3). nMATP mostrou maior %F e menor %MO no total em comparação com o cimento TFBC. O terço apical obteve %F e %MO similar entre os grupos (Publicação 4). Canais ovais de molares inferiores (n = 50) foram contaminados (*E. faecalis*) por 21 dias e utilizado o protocolo: PDL ou HFEDM com NaOCl ou SS. Após coletas microbiológicas (C1-inicial, C2-pós-instrumentação e C3-final), foi realizada UFC-mL<sup>-1</sup>log10 e análise em MCVL. Os dados foram analisados estatisticamente ( $\alpha = 0,05$ ). Na C1, a contaminação foi similar para os grupos. Na C2, PDL/NaOCl e HFEDM/NaOCl promoveram eliminação microbiana; PDL/SS e HFEDM/SS mostraram crescimento bacteriano similar e menor que C+ que mostrou maior contagem bacteriana. C3, os grupos experimentais foram similares ao C+. HFEDM/NaOCl e PDL/NaOCl apresentou escore 2, HFEDM/SS e PDL/SS, escore 0 e 1 e no grupo controle escore 0 (Publicação 5). Assim, os sistemas rotatórios tratados permitem o aumento apical promovendo menor quantidade de debris e superfície intocada. Quando associados a NaOCl promoveram desinfecção do canal radicular após preparo, mas não foram efetivos sobre *E. faecalis* do SCR. PUI é efetivo com substâncias antibacterianas e que dissolvem matéria orgânica e EC é adequado para limpeza do terço apical. Houve melhores resultados para Termo Pack-II e TFBC, exceto no terço apical na obturação de canais curvos de molares inferiores.

**Palavras chave:** Preparo de canal radicular. Microtomografia por Raio-x. *Enterococcus faecalis*.

João MMBP. Análise do preparo, limpeza, desinfecção e obturação de canais radiculares de molares inferiores por diferentes protocolos e materiais [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2019.

## ABSTRACT

This study evaluated the preparation, cleaning and obturation of lower molar root canals by different protocols and materials. Mesial root canals (n = 48) of curved mandibular molars (20°- 40°) were prepared using ProDesign Logic (PDL) up to 25/.06 or HyFlex EDM (HFEDM) 25/.08 and up to PDL-40/.05 or HFEDM-40/.04 in the enlargement step (Publication 1). Final irrigation was performed with passive ultrasonic irrigation-PUI or easy clean-EC, sodium hypochlorite-NaOCl or chlorhexidine-CLX or distilled water (n=8): PUI/NaOCl 2,5%; EC/NaOCl 2,5%; EC/distilled water; PUI/CLX 2%; PUI/NaOCl 1%; PUI/NaOCl 2,5% (Publication 2). The obturation was performed by using lateral compaction-LC or Termo Pack II and AHP (Publication 3); single cone-SC with nMTAP or TFBC (Publication 4). Scanning (9 µm) was performed before and after each experimental stage. Percentage of volume increase (%VI), debris (%D), reduction of debris (%RD) and untouched root canal surface (%SNI), centering ability, percentage of filling material (%FM) and percentage of voids (%V) was determined throughout the entire root canal extension (total) and thirds of roots canals. Data were submitted to ANOVA and Tukey or Kruskal-Wallis and Dunn, and paired t ( $\alpha = 0,05$ ). HFEDM 25/.08 resulted in higher %VI. After apical enlargement, HFEDM presented higher volume with reduction of debris and untouched surface. The systems promoted centered canals (Publication 1). There was a decrease in the percentage and volume of debris accumulated after the techniques and between the PUI with different irrigating solutions. EC/NaOCl promoted higher %RD in the apical third than PUI/NaOCl and EC/H<sub>2</sub>O. PUI/CHX 2% promoted higher percentage of accumulated debris than PUI/ NaOCl 1% and PUI/NaOCl 2,5% in the cervical / middle thirds, and similar in the apical third. Obturated canals with CWC presented smaller %V and higher %FM in the entire extension and apical third (Publication 3). nMATP presented higher %V and smaller %FM in the entire extension than TFBC sealer. The apical third showed similar percentage of voids (Publication 4). Oval-shaped mandibular molar canals (n=50) were inoculated (*E. faecalis*) and prepared using PDL or HFEDM with NaOCl ou SS. After microbiological collections (C1-initial, C2-post-instrumentation and C3-final), UFC-mL<sup>-1</sup>log10 was performed and evaluated by CLSM. Data were submitted to statistical tests ( $\alpha = 0,05$ ). In C1, the contamination was similar between groups. In C2, PDL/NaOCl and HFEDM/NaOCl presented microbial elimination; PDL/SS e HFEDM/SS showed bacterial growth similar and smaller than C+ that showed higher bacterial count. Considering C3, the experimental groups were similar to C+. HFEDM/NaOCl and PDL/NaOCl presented score 2, HFEDM/SS and PDL/SS, score 0 and 1 and in the control group, score 0 (Publication 5). Thus, the treated rotary systems allow apical increase and smaller amount of debris and untouched surface. When associated with NaOCl these systems promote root canal disinfection after preparation, which was not effective on *E. faecalis* from SCR. PUI is effective with antibacterial substances that dissolve organic matter. EC is appropriate for apical third cleaning. There were better results for Term Pack-II and TFBC, except for the apical third in the obturation of mesial root canals of curved mandibular molars.

**Keywords:** Root canal preparation. X-Ray Microtomography. *Enterococcus faecalis*.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 PROPOSIÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Proposição Geral.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Proposições Específicas.....</b>	<b>18</b>
<b>3 PUBLICAÇÕES .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Publicação 1 .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Publicação 2 .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3 Publicação 3 .....</b>	<b>53</b>
<b>3.4 Publicação 4 .....</b>	<b>67</b>
<b>3.5 Publicação 5 .....</b>	<b>80</b>
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>97</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>102</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>103</b>
<b>APÊNDICE A- Metodologia Detalhada.....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO A- Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa.....</b>	<b>128</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O preparo dos canais radiculares visa limpeza e modelagem do sistema de canais radiculares (SCR), possibilitando posteriormente o adequado preenchimento com material obturador<sup>1</sup>. O acúmulo de debris é frequente em função do preparo e da complexa anatomia do SCR<sup>2,3</sup>. A utilização de instrumentos flexíveis evita acidentes como desvio do trajeto original e fratura de instrumentos em canais curvos<sup>4,5</sup>. A dilatação apical remove maior quantidade de dentina infectada<sup>6</sup> e promove menor porcentagem de superfícies não instrumentadas no canal radicular<sup>7</sup>. Também, favorece o efeito da irrigação e limpeza do canal radicular na porção apical<sup>6</sup>.

As propriedades mecânicas dos instrumentos de níquel e titânio (NiTi), são aperfeiçoadas por tratamentos termomecânicos no processo de fabricação<sup>8</sup>. Tratamentos térmicos promovem maior flexibilidade e resistência à fadiga cíclica aos instrumentos de NiTi<sup>9,10</sup>, permitindo preparos centralizados em canais curvos<sup>11,12</sup>, sem a remoção excessiva da dentina<sup>13</sup>.

Os instrumentos HyFlex EDM (HFEDM; Coltene-Whaledent, Altstätten, Suíça) são fabricados a partir da liga CM (memória controlada) e recebem tratamento de superfície por um processo de usinagem por descarga elétrica (EDM)<sup>14,15</sup>. Esse processo proporciona ao instrumento uma superfície dura e melhor propriedade mecânica<sup>14,15,16</sup>, além de flexibilidade e resistência à fadiga cíclica<sup>16</sup>. Os instrumentos HyFlex EDM apresentam 3 secções transversais diferentes ao longo do instrumento; quadrangular na região apical, trapezoidal na parte média e triangular na região coronal do instrumento<sup>14,17,18</sup>. O tratamento superficial constitui uma inovação em comparação com as limas de NiTi convencionais, promovendo maior resistência à fadiga cíclica<sup>14,16</sup>. Instrumentos HyFlex EDM apresentaram maior resistência à fadiga cíclica do que as limas OneShape, Reciproc Blue e WaveOne Gold<sup>19</sup>.

ProDesign Logic (PDL; Easy Equipamentos Odontológicos, BH, MG, Brasil) são instrumentos rotatórios NiTi fabricados com tratamento térmico CM, composto por instrumentos *glide Path* com conicidade de 0,01 mm, e instrumentos de preparo de conicidade 0,03 até 0,06. Instrumentos PDL produzem preparo centralizado e menor transporte apical<sup>20</sup>. ProDesign Logic e ProDesign R apresentam maior resistência à fadiga cíclica do que os instrumentos WaveOne<sup>21</sup>.

Micro-organismos e tecido necrótico permanecem em áreas não tocadas pelo preparo<sup>22</sup>, dificultando a desinfecção dos canais radiculares<sup>23</sup>. A irrigação com soluções irrigantes com efeito bactericida e de dissolução de tecido orgânico favorece a remoção do biofilme<sup>24,25</sup>. O hipoclorito de sódio (NaOCl) é um irrigante bastante utilizado na desinfecção de canais radiculares, porém quando usado isolado é ineficaz na remoção da camada de *smear layer*. A adição de 17% de ácido etilenodiaminatetracético (EDTA) ao protocolo de irrigação é recomendado para a remoção dessa camada<sup>26</sup>. A Clorexidina (CHX) é outro irrigante frequentemente utilizado devido às suas propriedades antimicrobianas e de substantividade<sup>27</sup> mas não apresenta atuação como solvente de tecido orgânico<sup>28</sup>. O preparo com instrumentos de NiTi associado com soluções antimicrobianas reduz ou elimina bactérias dos canais radiculares<sup>29</sup>. Redução do número de *Streptococcus* e *E. faecalis* foi observada logo após preparo com instrumentos de NiTi manual tamanho #40 em movimento oscilatório associado com NaOCl a 1%<sup>30</sup>. Foi observado 99% de redução bacteriana realizando análise imediatamente após preparo Reciproc/NaOCl a 2,5% e BioRace/NaOCl a 2,5%<sup>31</sup>. Porém, a coleta bacteriana com cones de papel, permite a recuperação de bactérias presentes apenas na luz do canal radicular<sup>32,33-35</sup> sendo importante a avaliação da infecção residual no sistema de canais radiculares após preparo<sup>36</sup>.

Considerando que a técnica de irrigação convencional pode apresentar eficácia limitada na eliminação de biofilmes microbianos e tecidos orgânicos em áreas anatômicas complexas<sup>37</sup>, métodos de agitação da solução irrigante na limpeza final são propostos<sup>38</sup>. A aplicação de fluxo contínuo de soluções irrigadoras ativadas por ultrassom, melhoram a remoção de debris dentinários<sup>39</sup>. A técnica de irrigação ultrassônica passiva (PUI) foi proposta para limpeza de áreas não tocadas pelos instrumentos, pela ativação da solução irrigante com um inserto ultrassônico<sup>40</sup>. O sistema de irrigação easy clean (EC; Easy Equipamentos Odontológicos, Belo Horizonte, MG, Brasil) é composto por um instrumento #25/.04, acoplado a um motor elétrico usando cinemática recíprocante ou rotatória. EC associado ao NaOCl a 2,5% promoveu remoção de debris de forma mais eficaz no terço apical de canais curvos quando comparado ao PUI<sup>38</sup>.

O preparo biomecânico dos canais radiculares visa, além de limpeza, proporcionar conformação cônica adequada para a obturação do canal<sup>41</sup> e o sucesso do tratamento endodôntico está relacionado ao correto selamento dos SCR.

A qualidade da obturação dos canais radiculares<sup>42</sup>, pode ser influenciada pelo preparo com diferentes sistemas e protocolos de instrumentação<sup>43</sup>, e técnicas de obturação<sup>44</sup>. Várias técnicas são recomendadas para promover o preenchimento completo do sistema de canais radiculares<sup>45</sup>. Porém, nenhuma técnica de obturação é capaz de promover preenchimento completo<sup>46</sup>. A técnica de compactação lateral é considerada simples, e com boa relação custo-benefício<sup>47</sup>, promovendo menor índice de sobre-obturaçã<sup>48</sup>. Porém pode apresentar falhas na adaptação do material obturador à parede do canal radicular, risco de fratura radicular e falta de homogeneidade<sup>48,49</sup>.

Técnicas de termoplastificação da guta percha como a de onda contínua de condensação são utilizadas por meio de dispositivos que injetam guta percha aquecida após compactação vertical no terço apical<sup>45-47,50</sup>, obtendo melhor preenchimento do SCR<sup>45</sup>. A técnica de obturação por onda contínua de condensação Termo Pack II (Easy, Equipamentos Odontológicos, Brasil) apresenta condensador para fase Downpack de aquecimento e condensação da guta percha apical, e o injetor de guta percha aquecida para a fase Back Fill. Esse sistema é semelhante a outros sistemas de onda contínua de condensação como BeeFill 2 in 1 (VDW, München, Germany)<sup>51,52</sup>.

A combinação do diâmetro do cone principal adequado ao preparo proporciona para técnica do cone único maior volume de guta percha no canal radicular<sup>53</sup>. A técnica de cone único é favorecida por cimento com capacidade de escoamento, a fim de preencher espaços entre o cone e a dentina e promover adequado selamento<sup>54</sup>. A qualidade da obturação está associada ao adequado preparo do canal radicular<sup>55</sup>. A dilatação do canal radicular, promove melhor desinfecção, aumenta ação do irrigante e conseqüentemente limpeza apical<sup>6</sup>. A dilatação apical do canal radicular também pode influenciar na eficácia da técnica de obturação em canais curvos pelas técnicas de compactação térmica<sup>45</sup>, pois favorece a penetração do plugger até a região apical<sup>46</sup>.

As técnicas de obturação dos canais radiculares necessitam de cimentos endodônticos para o preenchimento entre a guta percha e a parede do canal<sup>56</sup>. AH Plus é um material endodôntico à base de resina epóxica que apresenta propriedade seladora<sup>57</sup>. O cimento AH Plus apresenta propriedades físicas satisfatórias e proporciona preenchimento adequado quando comparado com outros materiais<sup>58</sup>.

Os cimentos biocerâmicos apresentam propriedades físico-químicas adequadas e capacidade de induzir mineralização<sup>59</sup>. O cimento NeoMTA Plus (nMTAP; Avalon Biomed Inc., Bradenton, FL, USA) é um cimento de silicato de cálcio composto por pó e gel e com óxido de tântalo (Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) como radiopacificador. O nMTAP apresenta capacidade de induzir formação de tecido mineralizado e não promove descoloração dentária<sup>60,61</sup>. Esse cimento apresenta capacidade de selamento e menor extrusão para região periapical<sup>54</sup>. O cimento nMTAP produziu penetração tubular a 5mm do ápice com a técnica de obturação com cone único<sup>62</sup>. TotalFill BC sealer (TFBC; FKG, La Chaux-de-Fonds, Switzerland; Brasseler, Savannah, Georgia, USA) é um cimento biocerâmico, pré-misturado e pronto para uso<sup>63</sup>. De acordo com o fabricante, é composto por silicato de cálcio, fosfato de cálcio, hidróxido de cálcio, óxido de zircônio e agentes espessantes. TFBC promoveu maior escoamento em relação ao cimento AHPlus e GuttaFlow Bioseal<sup>64</sup> e boa adaptação à dentina<sup>65</sup>.

A microtomografia computadorizada (micro-CT) é uma ferramenta que permite a avaliação ex vivo e in vivo da morfologia do canal radicular. Micro-CT é utilizado para estudar a qualidade de preparo dos instrumentos<sup>11,66,67</sup>, permite a análise volumétrica<sup>66</sup> e de superfície não tocada<sup>68,69</sup>. Micro-CT possibilita avaliar o preenchimento por diferentes técnicas e cimentos obturadores<sup>70</sup>. O volume de falhas detectadas pode estar relacionado ao tamanho do voxel das imagens de micro-TC, e falhas muito pequenas não são detectados em resoluções menores<sup>71</sup>. A Microscopia confocal a laser (MCVL), é uma ferramenta que auxilia no estudo de biofilmes dentinários tornando a análise mais fiel dos componentes do biofilme e da relação entre o biofilme e o substrato<sup>72</sup>. O emprego de uma substância como irrigante e como medicação intracanal sobre biofilme de *E. faecalis* foi avaliada por MEV e MCVL<sup>73</sup>. A desinfecção do sistema de canais radiculares pode ser avaliada por método de coleta por contagem de UFC mL<sup>-1</sup> log 10, logo após o preparo com instrumentos rotatórios de NiTi<sup>31,74</sup> e após 7 dias do preparo<sup>33,75</sup>.

A avaliação da capacidade de preparo de instrumentos de NiTi com tratamento térmico CM, protocolos de irrigação para limpeza final, além de novos sistemas de obturação termoplásticos e materiais obturadores, tornam-se importantes em canais radiculares curvos com maior dilatação apical, e empregando maior resolução de escaneamento. Também, é relevante avaliar o efeito dos protocolos de preparo na eliminação de microrganismos do SCR.



Sendo assim, foi proposto nesse estudo a análise do preparo de molares inferiores empregando diferentes sistemas, limpeza final com diferentes técnicas e soluções irrigantes e a obturação com diferentes técnicas e materiais, além da avaliação da efetividade dos instrumentos de NiTi na desinfecção de microrganismos do SCR.

## 2 PROPOSIÇÃO

Os objetivos do presente estudo foram:

### 2.1 Proposição Geral

Avaliar, por meio da microtomografia computadorizada (micro-CT), o preparo, limpeza final e obturação de canais mesiais de molares inferiores utilizando instrumentos rotatórios de NiTi ProDesign Logic (PDL) e HyFlex EDM (HFEDM), soluções irrigantes, protocolos de limpeza final, diferentes cimentos endodônticos e técnicas obturadoras. E avaliar a efetividade desses instrumentos de NiTi associados a soluções irrigantes na desinfecção do sistema de canais radiculares contaminados com *E. faecalis*.

### 2.2 Proposições Específicas

Publicação 1: Avaliar, por meio de micro-CT, o preparo e a ampliação apical em canais curvos de molares inferiores com os instrumentos ProDesign Logic (PDL) e HyFlex EDM (HFEDM).

Publicação 2: Avaliar, por meio de micro-CT a efetividade de protocolos de limpeza final: irrigação ultrassônica passiva (PUI) e easy clean (EC) associados com soluções irrigantes e a avaliação do PUI com diferentes soluções irrigantes na remoção de debris em canais curvos de molares inferiores.

Publicação 3: Comparar, por meio de micro-CT, a capacidade de preenchimento de canais mesiais de molares inferiores, obturados pelas técnicas de compactação lateral ou onda contínua de condensação (Termo Pack II).

Publicação 4: Comparar, por meio de micro-CT, a capacidade de preenchimento de canais mesiais de molares inferiores pelos cimentos NeoMTA Plus ou TotalFill BC sealer, obturados por cone único em canais curvos de molares inferiores.

Publicação 5: Avaliar a efetividade do preparo com instrumentos ProDesign Logic (PDL) e HyFlex EDM (HFEDM) e irrigação com hipoclorito de sódio (NaOCl) ou solução salina (SS) na desinfecção do SCR em canais distais ovais de molares inferiores.

### 3 PUBLICAÇÕES

#### 3.1 Publicação 1\*

##### **A microcomputed tomography evaluation of the root canal preparation and enlargement using thermally-treated nickel-titanium rotary systems in curved canals**

###### **Abstract**

**Objectives** To evaluate root canal preparation and apical enlargement of curved canals using rotary heat-treated and heat/surface treated systems, by using micro-computed tomography (micro-CT).

**Materials and methods** Mesial root canals ( $n = 48$ ) of mandibular molars curved ( $20^\circ - 40^\circ$ ) were prepared using ProDesign Logic (PDL) 25/.01 and 25/.06 or HyFlex EDM (HFEDM) 10/.05, HyFlex-CM 20/.04 and HFEDM 25/.08. Apical enlargement was performed using PDL-40/.05 or HFEDM-40/.04. Scanning ( $9 \mu\text{m}$ ) was performed before and after preparation, and after apical enlargement, by using micro-CT. Volume, percentage of volume increase, debris and untouched root canal surface, centring ability were analyzed. Data were compared using Kruskal-Wallis and Dunn or Student's t-test, ANOVA and Tukey ( $\alpha = 5\%$ ).

**Results** HFEDM 25/.08 promoted higher volumetric increase ( $P < 0.05$ ). After apical enlargement, HFEDM presented higher volume ( $P < 0.05$ ). After the increase, there was a reduction of debris and untouched surface ( $P > 0.05$ ). The systems promoted centered canals ( $P > 0.05$ ).

**Conclusions** The rotary systems with thermal and surface treatment allow the enlargement of apical preparation in curved canals, promoting lower amount of debris and less untouched surface area, and maintained centralization for both evaluated instruments.

**Clinical Relevance** Apical enlargement is directly associated with better cleaning of root canals. The rotary systems with thermal and surface treatment allow the enlargement of apical preparation in curved canals, promoting lower

---

\* Esse artigo foi submetido ao periódico Clinical Oral Investigation.

amount of debris and less untouched surface area, which may favor the endodontic treatment prognosis.

**Keywords** Endodontic treatment. NiTi endodontic instruments. Root canal preparation. Micro-computed tomography

## Introduction

The apical root canal preparation is critical for control of infection [1]. Although, nickel–titanium (NiTi) instruments present flexibility, they allow a significant percentage of untouched areas [2, 3]. Thus, bacteria and necrotic tissue remain in these areas after preparation [2, 3]. Apical enlargement removes a larger quantity of infected dentin [4] and promotes a lower percentage of uninstrumented surfaces in the root canal [2]. Greater enlargement during preparation favors the effect of irrigation and apical root canal cleaning [4].

Thermal treatments provide NiTi instruments with more flexibility and cyclic fatigue resistance [5, 6]. These instruments favor centralization of curved canals [7, 8], without excessive removal of dentine [9]. The HyFlex EDM (Coltene Whaledent) instruments are manufactured from the controlled memory treatment (CM), and receive surface treatment by an Electrical Discharge Machining (EDM) process [10, 11]. This process allows an instrument with a hard and rough surface providing better mechanical properties [10–12], in addition to flexibility and cyclic fatigue resistance [12]. HyFlex EDM instruments have 3 different cross-sections along the instrument; quadrangular in the apical region, trapezoidal in the middle part and triangular in the coronal region of the instrument [10, 13, 14].

ProDesign Logic (Easy Equipamentos Odontológicos, BH, MG, Brazil) are rotary NiTi instruments manufactured with CM heat treatment. It is composed of a glide path instrument with .01 mm taper. In addition, there are of .05 and .06 taper instruments for finishing the root canal preparation. ProDesign Logic instruments promote less apical transportation [15]. The ProDesign Logic and ProDesign R instruments are produced with the same thermal treatment and presents high cyclic fatigue resistance [16]. Micro-computed tomography

(micro-CT) has been used to study the shaping ability of instruments [15, 17, 18]. Micro-CT allows the volume analysis [18] and proportion of untouched surface [3, 19].

The aim of this study was to evaluate root canal preparation and apical enlargement of curved root canals using rotary NiTi instruments ProDesign Logic or HyFlex EDM. The null hypothesis tested was that there are no differences in the ability for preparation and apical enlargement between the two rotary systems.

## **Materials and Methods**

### **Sample size estimation**

The sample size for this study was calculated with a specific software (G \* Power 3.1.7 for Windows, Heinrich Heine, Universitat Dusseldorf), and the t-test for two independent groups was used, with alpha type error of .05 and beta power of .80 for all the variables. Previous studies that used Micro-CT for evaluating root canals with similar morphology were used to determine the specific effect size for each variable: Percentage of volumetric increase, 0.9744 [10]; debris, 1.0338 [20]; untouched surface, 0.7797 [21], centring ability 1.033 [20]. Nineteen specimens per group were indicated as being the ideal size required. A sample of 24 root canals per group was stipulated, taking into consideration the risk of tooth loss during the methodology.

### **Selection of teeth**

After Institutional Ethics Committee approval (CAAE: 69756516.0.0000.5416) (Attachment A), mesiobuccal and mesiolingual root canals of mandibular molars were selected. A digital radiography system (Kodak RVG 6100, Kodak Dental Systems, NY, USA) and micro-CT were used to confirm the inclusion criteria and to perform a homogeneous distribution of the samples. Scanning was performed at 35 µm voxel size, using a computed microtomograph (Skyscan 1176, Bruker-MicroCT, Kontich, Belgium) with the following parameters: copper and aluminum filter, exposure time of 87 ms, frame 3, rotation of 360°, 80 kV, and 300 uA. A total of 24 first and second human mandibular molars with two mesial root canals, presenting type IV configuration were selected according to

the Vertucci classification [22]. Complete apical formation, absence of root fractures, angle of curvature between 20° and 40°, in accordance with the Schneider method [23], and radius of curvature smaller than 10 mm, following Pruett methodology [24], were observed. The tooth size was standardized at 18 mm, with a tolerance for discrepancy of  $\pm 2$  mm. The selected root canals were stored in a 0.1% thymol solution at 5°C. The root canals were randomly divided into two experimental groups (n= 24), with stratified random sampling, considering the initial volume of the preoperative root canals.

After the specimens were washed in water for 48 hours, access to the canals was obtained with a high speed bur (n.2, KG Sorensen, São Paulo, Brazil), and the root canals were irrigated with 2.5% sodium hypochlorite, a size 10 K-file (Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland) was used to explore the mesial root canals until the file tip was visible through the apical foramen. The working length (WL) was established 1 mm short of the apical foramen. The specimens were instrumented with a size 10 K-file, using the balanced-force technique to perform the glide path, up to the WL. The roots were embedded in condensation silicone (Oranwash, Zhermack SpA, Badia Polesine, Italy) to simulate the periodontal ligament [25]. Afterwards, a single, experienced operator performed the root canal preparations.

### **Root Canal Preparation**

The PDL instruments, 25/.01 were activated by an electric motor (VDW.SILVER, VDW GmbH, Munich, Germany) in rotary motion at 350 rpm and 1 N cm<sup>-1</sup> of torque in accordance with the manufacturer's instructions, with in-and-out movements up to the WL. Then, a PDL instrument, 25/.06, was used at 600 rpm and 3 N cm<sup>-1</sup> of torque (manufacturer's instructions for curved root canals), with movements in the apical direction up to the WL.

The PDL instruments, 40/.05, were activated by an electric motor (VDW.SILVER, VDW GmbH, Munich, Germany) in rotary motion at 600 rpm and 3 N cm<sup>-1</sup> of torque (manufacturer's instructions for curved root canals), with movements in the apical direction up to the WL.

A brushing motion was performed in the safety zone (mesial wall) with a mean amplitude of 3 mm, totaling three movements: mesial, mesiobuccal

and mesiolingual. After concluding the operative procedure, the samples were scanned by micro-CT with a 9  $\mu\text{m}$  voxel size resolution.

The HyFlex EDM instruments, 10/.05, were activated by an electric motor (VDW.SILVER, VDW GmbH, Munich, Germany) in rotary motion at 300 rpm and 1.8  $\text{N cm}^{-1}$  of torque in accordance with the manufacturer's instructions, with in-and-out movements up to the WL. Then, a HyFlex CM instrument, 20/.04 and HyFlex EDM instrument, 25/.08 were used at 500 rpm and 2,5  $\text{N cm}^{-1}$  of torque [26] with movements in the apical direction up to the WL.

The HyFlex EDM instruments 40/.04, were activated by an electric motor (VDW.SILVER, VDW GmbH, Munich, Germany) in rotary motion at 500 rpm and 2,5  $\text{N cm}^{-1}$  of torque, in accordance with the manufacturer's instructions, with in-and-out movements up to the WL.

A brushing motion was performed in the safety zone (mesial wall) with a mean amplitude of 3 mm, totaling three movements: mesial, mesiobuccal and mesiolingual. After concluding the operative procedure, the samples were scanned by micro-CT with a 9  $\mu\text{m}$  voxel size resolution.

At each stage of preparation all the instruments were cleaned with gauze moistened with distilled water. A total of 12 mL of 2.5% NaOCl was used to irrigate each canal using a 30 G NaviTip needle (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT), 1 mm short of the WL, after preparing each third with in-and-out movements.

### **Micro-CT analysis**

Analysis of the percentage of volume increase, debris and untouched root canal surface and centring ability, was performed by scanning the samples by using a micro-CT (SkyScan 1176; Bruker Micro-CT, Kontich, Belgium) before and after preparation, and after apical enlargement, in which cases the samples were scanned in the same position in all the stages. The following parameters were used: copper and aluminum filter; 90 kV power; 278 mA energy; evolution cycle 180° and rotation 0.5, with 9  $\mu\text{m}$  voxel size. The images obtained before and after preparation, and after apical enlargement, were reconstructed using NRecon software, and superimposed with geometric alignment using the Data

Viewer software (Data Viewer v.1.5.1, Bruker Micro-CT). Quantitative analyses were then made using CTAn software (CTAn v.1.14.4, Bruker Micro-CT), by applying task lists with arithmetic and logic operations between the superimposed sections.

Each parameter was evaluated for the entire root canal and for each root canal third. A value of approximately 9 mm was determined for the total length analysis, and approximately 3 mm for each third. Aided by CTAn software, the bottom value corresponded to the WL, and 9 mm was added to this value to determine the top value.

Initial volume, final volume and final surface area after preparation were obtained. Based on these values, the percentage of volumetric increase (% Volumetric increase), percentage of debris (% Debris) and percentage of untouched surface (% Untouched surface) were calculated using the following formulas:

$$\% \text{ Volumetric increase} = \left[ \frac{\text{Final Volume} \times 100}{\text{Initial Volume}} \right] - 100$$

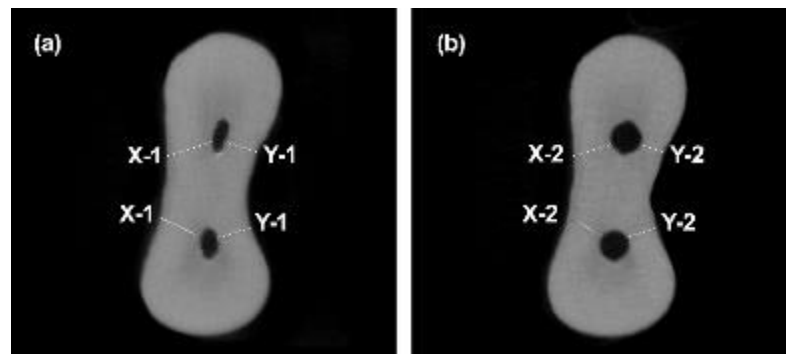
$$\% \text{ Debris} = \frac{\text{Volume of debris} \times 100}{\text{Final volume}}$$

$$\% \text{ Untouched surface} = \frac{\text{Untouched surface} \times 10}{\text{Final surface}}$$

Analyses of root canal centring ability were made from the superimposed images, using the CTAn software, as previously described. The shortest distance between the mesial edge of the root and the canal before instrumentation (X1), to the shortest distance between the mesial edge of the root and the instrumented canal (X2), to the shortest distance between the distal edge of the root and the canal before instrumentation (Y1) and the shortest distance between the distal edge of the root and the instrumented canal (Y2) were measured, as proposed by Gambill et al. [27] (Figure 1). Five cross sections were measured for each third (coronal, middle and apical), and



were determined by the arithmetical mean value. The thirds corresponded to 3, 6 and 9 mm from the anatomic apex, with each third covering 3 mm of the extension of the canal. The degree of canal centralization was obtained by means of the following equation:  $(X1-X2) / (Y1-Y2)$ . The centring ability data were ordered from 0 to 1, with values closest to 1 being completely centralized, and those closest to zero being completely outside of centralization.



**Fig. 1** - Representative micro-CT cross sections of the middle third of PDL root canal preparation of mesial root canals of mandibular molars, showing the shortest distance between the edge of the root and the canal, determined to perform the analyses of centralization. **(a)** Preoperative root canal, and **(b)**, after preparation.

### Statistical analysis

The data obtained for each of the parameters evaluated were submitted to the Kolmogorov\Smirnov normality test. The data obtained in the evaluation of increased volume, debris, untouched root canal surface showed a non-normal distribution, and the data obtained of the canal volume and centring ability showed normal distribution. Thus, the Kruskal-Wallis and Dunn tests were used to compare the groups with regard to increase in volume, debris, untouched root canal surface values and the paired t-test was used for comparisons before and after enlargement (size 40.) Considering the data for canal volume and centring ability the parametric Student's-*t* test was used to compare the groups, ANOVA and Tukey were used between the thirds of each group. The significance level adopted was 5% for both analyses.

## Results

HFEDM 25/.08 presented higher percentage of volumetric increase than PDL 25/.06 ( $P < 0.05$ ) (Table 1 and Figure 2).

Table 2 shows the comparison of enlargement (size 40.) with the preoperative root canal. HFEDM presented higher volume ( $P < 0.05$ ) (Figure 2). There was no difference in centring ability after performing preparation size 25. (Table 1, Figure 2), and after enlargement to size 40. ( $P > .05$ ) (Table 2, Figure 2).

After apical enlargement (size 40), there was a significant decrease in the percentage of debris accumulation for the PDL in the total root canal extension and all thirds, and for the HFEDM in the total and in the apical third ( $P < 0.05$ ).

There was a significant reduction in the percentage of untouched root canal surface for PDL in the total and in the apical third and HFEDM in the apical third ( $P < 0.05$ ) (Table 3, Figure 2).

**Table 1** - Root canal volume, increase in volume (%), centring ability, after preparation with ProDesign Logic 25.06 and HyFlex EDM 25.08 instruments

		Preparation in relation to pre-operative canal	
		ProDesign Logic 25.06	HyFlex EDM 25.08
Pre-operative canal (mm <sup>3</sup> )	Total*	1.74±0.53 <sup>a</sup>	1.68±0.55 <sup>a</sup>
	Cervical*	0.93±0.27 <sup>a</sup>	0.94±0.37 <sup>a</sup>
	Middle*	0.54±0.23 <sup>a</sup>	0.49±0.15 <sup>a</sup>
Preparation size 25. (mm <sup>3</sup> )	Apical*	0.26±0.09 <sup>a</sup>	0.27±0.12 <sup>a</sup>
	Total*	2.85±0.50 <sup>b</sup>	3.37±0.66 <sup>a</sup>
	Cervical*	1.57±0.36 <sup>b</sup>	1.77±0.43 <sup>a</sup>
	Middle*	0.88±0.19 <sup>a</sup>	1.03±0.26 <sup>a</sup>
Increase in Volume (%)	Apical*	0.39±0.11 <sup>b</sup>	0.54±0.15 <sup>a</sup>
	Total**	51.28 (12.41-217.9) <sup>b</sup>	92.41 (36.03-469.3) <sup>a</sup>
	Cervical**	65.36 (5.562-235.2) <sup>aA</sup>	75.61 (29.77-275.5) <sup>aA</sup>
	Middle **	69.58 (7.670-229.9) <sup>aA</sup>	99.14 (9.686-361.1) <sup>aA</sup>
Centring ability	Apical**	51.61 (14.64-284.7) <sup>bA</sup>	78.72 (30.63-645.5) <sup>aA</sup>
	Cervical*	0.6008 ± 0.02229 <sup>aA</sup>	0.6470± 0.2149 <sup>aA</sup>
	Middle *	0.5290 ± 0.1983 <sup>aA</sup>	0.6413±0.2240 <sup>aA</sup>
	Apical*	0.6680 ±0.2167 <sup>aA</sup>	0.5373±0.2889 <sup>aA</sup>

Different superscript lowercase letters in same line indicate statistical difference between the groups.

Superscript Capital letters in the same column indicate statistical difference among the thirds of the same preparation for each analysis: mean and ± standard deviation for the parametric data (Student's-t test\*, 5% significance), and median, maximum and minimum values for the non-parametric data (Kruskal–Wallis\*\* and Dunn, 5% significance).

**Table 2** - Root canal volume, increase in volume (%), centring ability, in the apical enlargement (40) in relation to pre-operative canal

		Apical enlargement in relation to pre-operative canal	
		ProDesign Logic 40.05	HyFlex EDM 40.04
Pre-operative canal	Total*	1.74±0.53 <sup>a</sup>	1.68±0.55 <sup>a</sup>
	Cervical*	0.93±0.27 <sup>a</sup>	0.94±0.37 <sup>a</sup>
	Middle*	0.54±0.23 <sup>a</sup>	0.49±0.15 <sup>a</sup>
	Apical*	0.26±0.09 <sup>a</sup>	0.27±0.12 <sup>a</sup>
Apical enlargement 40. (mm <sup>3</sup> )	Total*	3.17±0.52 <sup>b</sup>	3.70±0.87 <sup>a</sup>
	Cervical*	1.63±0.25 <sup>b</sup>	1.83±0.43 <sup>a</sup>
	Middle*	1.01±0.22 <sup>a</sup>	1.16±0.33 <sup>a</sup>
	Apical*	0.52±0.13 <sup>a</sup>	0.63±0.21 <sup>a</sup>
Increase in Volume (%)	Total**	91.83 (50.89-291.2) <sup>a</sup>	110.4 (37.21-369.7) <sup>a</sup>
	Cervical**	81.02 (24.34-253.2) <sup>aB</sup>	76.46 (5.233-299.5) <sup>aB</sup>
	Middle**	81.23 (11.09-419.2) <sup>aB</sup>	93.36 (7.484-388.3) <sup>aB</sup>
	Apical**	151.31 (39.09-386.5) <sup>aA</sup>	166.7 (39.10-435.6) <sup>aA</sup>
Centring ability	Cervical*	0.5842 (0.011-0.951) <sup>aA</sup>	0.5630 (0.103-0.998) <sup>aA</sup>
	Middle*	0.6585 (0.053-0.975) <sup>aA</sup>	0.8112 (0.056-0.954) <sup>aA</sup>
	Apical*	0.6251 (0.246-0.974) <sup>aA</sup>	0.6921 (0.301-0.930) <sup>aA</sup>

Different superscript lowercase letters in same line indicate statistical difference between the groups.

Superscript Capital letters in the same column indicate statistical difference among the thirds of the same preparation for each analysis: mean and ± standard deviation for the parametric data (Student's-*t* test\*, 5% significance), and median, maximum and minimum values for the non-parametric data (Kruskal–Wallis\*\* and Dunn, 5% significance).

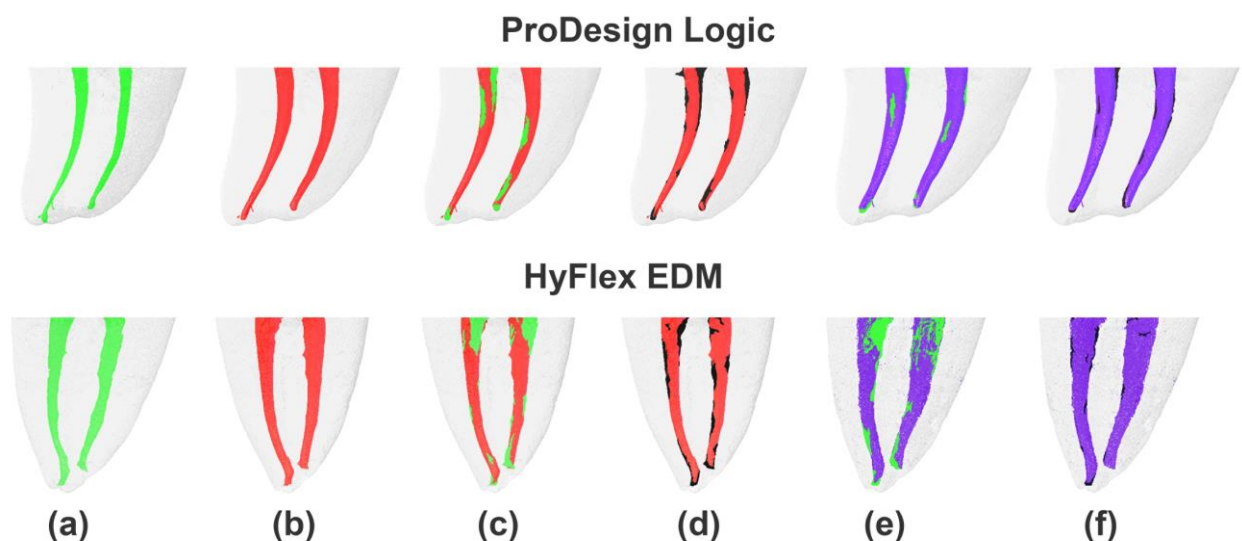
**Tabela 3** - Mean and  $\pm$  standard deviation of debris (% and mm<sup>3</sup>) and non-instrumented area (% and mm<sup>2</sup>) of root canals prepared using ProDesign Logic and HyFlex EDM, before and after root canal enlargement (size 40)

		Debris (%)		Debris (mm <sup>3</sup> )	
		Before enlargement	After enlargement	Before enlargement	After enlargement
PDL	Total	5.669 (0.92-15.99) <sup>aA</sup>	3.058 (0.36 -11.18) <sup>bA</sup>	0.161 (0.0291-0.5329) <sup>aA</sup>	0.095 (0.0108-0.3348) <sup>bA</sup>
	Cervical	4.303 (0.42-21.67) <sup>aA</sup>	2.136 (0.10-10.44) <sup>bA</sup>	0.070 (0.007-0.3806) <sup>aA</sup>	0.034 (0.0016-0.1705) <sup>bA</sup>
	Middle	3.877 (0.07-39.58) <sup>aA</sup>	0.9473(0.01-15.64) <sup>bA</sup>	0.014 (0.0002-0.6239) <sup>aA</sup>	0.007 (0.0004-0.1459) <sup>bA</sup>
	Apical	9.422 (2.77-29.17) <sup>aA</sup>	2.782 (0.007-22.68) <sup>bA</sup>	0.041 (0.00929-0.1361) <sup>aA</sup>	0.013 (0.0004-0.1176) <sup>bA</sup>
HFEDM	Total	7.514 (0.003-24.93) <sup>aA</sup>	2.596 (0.08-14.69) <sup>bA</sup>	0.200 (0.00019-0.8846) <sup>aA</sup>	0.096 (0.004-0.5199) <sup>aA</sup>
	Cervical	4.242 (0.005-18.25) <sup>aA</sup>	2.882 (0.09-20.22) <sup>aA</sup>	0.067 (0.0035-0.2856) <sup>aA</sup>	0.043 (0.002- 0.3930) <sup>aA</sup>
	Middle	2.524 (0.001-31.27) <sup>aA</sup>	1.102 (0.004-39.98) <sup>aA</sup>	0.023 (0.0021-0.3479) <sup>aA</sup>	0.013 (0.0003-0.2005) <sup>aA</sup>
	Apical	10.49 (0.15-57.99) <sup>aA</sup>	2.930 (0.08-32.37) <sup>bA</sup>	0.053 (0.00085-0.5095) <sup>aA</sup>	0.017 (0.0006-0.1255) <sup>bA</sup>

		Untouched surface (%)		Untouched surface (mm <sup>3</sup> )	
		Before enlargement	After enlargement	Before enlargement	After enlargement
PDL	Total	33.47 (11.64- 57.50) <sup>aA</sup>	23.13 (7.25- 56.93) <sup>bA</sup>	6.51 (3.037-16.35) <sup>aA</sup>	5.389 (1.655- 13.03) <sup>bA</sup>
	Cervical	34.95 (6.85-59.07) <sup>aA</sup>	22.63 (2.82- 54.15) <sup>aA</sup>	3.67 (0.670- 9.690) <sup>aA</sup>	2.536 (0.278- 6.647) <sup>bA</sup>
	Middle	15.92 (3.13-58.57) <sup>aA</sup>	10.09 (0.17-51.01) <sup>aA</sup>	1.05 (0.224- 4.681) <sup>aA</sup>	0.713 (0.012- 4.673) <sup>aA</sup>
	Apical	44.71 (15.14-78.12) <sup>aA</sup>	22.41 (4.91-68.67) <sup>bA</sup>	2.31 (0.856- 5.016) <sup>aA</sup>	1.304 (0.260- 5.120) <sup>bA</sup>
HFEDM	Total	32.05 (0.08-66.78) <sup>aA</sup>	22.49 (3.42- 53.71) <sup>aA</sup>	6.92 (0.021- 25.21) <sup>aA</sup>	6.100 (0.806- 18.41) <sup>aA</sup>
	Cervical	25.04 (0.01-61.50) <sup>aA</sup>	26.92 (1.68- 58.47) <sup>aA</sup>	3.62 (0.002- 10.47) <sup>aA</sup>	3.619 (0.182- 9.857) <sup>aA</sup>
	Middle	14.51 (0.01-81.40) <sup>aA</sup>	12.91 (0.02- 57.50) <sup>aA</sup>	1.24 (0.002- 6.24) <sup>aA</sup>	0.962 (0.002-7.102) <sup>aA</sup>
	Apical	30.57 (2.40-87.99) <sup>aA</sup>	20.12 (1.24- 52.68) <sup>bA</sup>	2.000 (0.300- 9.00) <sup>aA</sup>	1.000 (0.083- 5.000) <sup>bA</sup>

Different superscript lowercase letters in same line indicate statistical difference between the groups. (paired t-test \*, 5% significance). Superscript Capital letters in the same column indicate statistical difference among the thirds for each group. (Kruskal–Wallis\*\* and Dunn, 5% significance)



**Fig. 2** - Micro-CT images of mandibular molar mesial root canals prepared by using PDL and HyFlex EDM: (a) Preoperative canal (green); (b) Post-instrumentation (red); (c) Superimposition of preparation on initial canal; (d) Debris (black); (e) Superimposition of the apical enlargement (purple) on initial canal; and (f) root canal enlargement with debris.

## Discussion

The null hypothesis of this study was partially rejected. HFEDM 25/.08 promoted a higher volumetric increase along the root canal (total) and in the apical third than PDL 25/.06. Considering that the initial volume of root canals was similar, the apical volumetric increase could be related to the greater taper (.08) in the first 5 mm of the HFEDM 25/.08 instrument. Even with the progressive decrease in taper (.06 mm and .04 mm) [14, 28], HFEDM 25/.08 produced greater enlargement than the instruments PDL 25/.06, with constant taper.

Although the HyFlex instruments promoted a larger final volume after preparation size 25., and after enlargement (size 40.), there was no difference in the percentage of untouched surfaces. Coelho et al. [29] also observed that WaveOne instruments promoted larger volumetric increase, and similar uninstrumented surfaces to ProDesign Logic and One Shape systems. In another study, Unicore promoted a larger increase in root canal volume and obtained larger uninstrumented surface areas [17].

Apical enlargement promotes decrease of untouched surfaces for both instruments. The increase in the size of the instrument and reduction in percentage of untouched surface is observed after larger preparations [2, 21]. However, a considerable percentage of untouched surface is observed after root canal preparation [2, 3, 18]. The uninstrumented areas after preparation may favor the retention of remnant bacteria and pulp tissue [30, 31]. The design and kinematics of instruments are factors that influence the biomechanical preparation of root canals [32].

The present study detected similar quantity of debris in the mesial root canals after preparation and enlargement using both instruments (HFEDM and PDL). However, both systems presented decrease in accumulated debris after apical enlargement. De Deus et al. [20] also observed that increasing apical preparation resulted in less debris accumulation.

The apical enlargement is more effective to reduce bacteria and increase the effect of the irrigating solution [4]. Tree sizes larger than that the first apical instrument is considered a proper root canal enlargement [33]. In our results, even with the reduction in the quantity of debris after apical enlargement, none

of the systems promoted a root canal free of debris, in agreement with various studies [17, 20]. Accumulation of debris is known to be capable of accommodating bacteria [34] and difficult the complete root canal filling [35].

Although different tapers between the instruments were used, both preparations maintained the root canals centred. Rotary instruments usually provide root canal treatment with quality and safety [7]. These instruments are constantly evolving in manufacture, design, promoting a NiTi alloy with more flexibility and shape memory, thus contributing to improvement in the capacity for centralization of instruments and less transport of the root canal [36]. The glide path used before instrumentation to create a pathway, makes it possible to have less anatomic interference [37] and could thus significantly reduce the occurrence of apical transportation and risk of instrument fractures [38]. Heat treated NiTi instruments have demonstrated preparations with low apical transportation and more centred canals [15] and favorable debris removal results [17, 18].

In the present study, the teeth were scanned at a lower resolution (35  $\mu\text{m}$ ) to select roots with standardized morphology, degree of curvature and volume of root canals, and thus obtain a homogeneous distribution between the experimental groups. Micro-CT allows tridimensional, nondestructive analysis of the root canals and their complexities, such as apical deltas, isthmus, and accessory canals [39]. With this tool it is possible to obtain quantitative tridimensional data and bidimensional parameters [40] when analyzing the preparation of the root canal [17, 18], uninstrumented surfaces [2, 3], debris accumulation [20, 41], centring ability and transport [13, 15]. Nevertheless, studies are necessary, which may evaluate the association of the preparation and enlargement using the NiTi instruments with their effectiveness in disinfection of the root canal system.

## **Conclusion**

Root canal enlargement produced less debris and untouched surfaces, and maintained centralization for both evaluated instruments. The rotary systems with thermal and surface treatment allow the enlargement of apical preparation in curved canals, promoting lower amount of debris and less untouched surface area, which may favor the endodontic treatment prognosis.

## References

1. Siqueira JF Jr, Lopes HP (2011) Chemomechanical preparation. In: Siqueira Jr JF, ed. Treatment of endodontic infections. London, UK: Quintessence Publishing, pp.236–84.
2. Pérez AR, Alves FRF, Marceliano-Alves MF, Provenzano JC, Gonçalves LS, Neves AA, Siqueira JF Jr (2018) Effects of increased apical enlargement on the amount of unprepared areas and coronal dentine removal: a micro-computed tomography study. *Int Endod J* 51:684–690. <https://doi.org/10.1111/iej.12873>
3. Siqueira JF Jr, Pérez AR, Marceliano-Alves MF (2018) What happens to unprepared root canal walls: a correlative analysis using micro-computed tomography and histology/scanning electron microscopy. *Int Endod J* 51:501–8. <https://doi.org/10.1111/iej.12753>
4. Marinho AC, Martinho FC, Zaia AA, Ferraz CC, Gomes BP (2012) Influence of the apical enlargement size on the endotoxin level reduction of dental root canals. *J Appl Oral Sci* 20:661–666
5. Zhao D, Shen Y, Peng B, Haapasalo M (2015) Effect of autoclave sterilization on the cyclic fatigue resistance of thermally treated Nickel-Titanium instruments. *Int Endod J* 49:990–995. <https://doi.org/10.1111/iej.12550>
6. Alcalde MP, Duarte MAH, Bramante CM, de Vasconcelos BC, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM, Pinto JC, Só MVR, Vivan RR (2018) Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. *Clin Oral investing* 22:1865–1871. <https://doi.org/10.1007/s00784-017-2295-8>
7. Marceliano-Alves MFV, Sousa-Neto MD, Fidel SR, Steier L, Robinson JP, Pécora JD, Versiani MA (2015) Shaping ability of single-file reciprocating and heat-treated multifile rotary systems: a micro-CT study. *Int Endod J* 48:1129–1136. <https://doi.org/10.1111/iej.12412>
8. Jatahy Ferreira do Amaral RO, Leonardi DP, Gabardo MC, Coelho BS, Oliveira KV, Baratto Filho F (2016) Influence of Cervical and Apical Enlargement Associated with the WaveOne System on the Transportation



- and Centralization of Endodontic Preparations. *J Endod* 42:626–631. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.12.005>
9. Sant'Anna Júnior A, Cavenago BC, Ordinola-Zapata R, De-Deus G, Bramante CM, Duarte MA (2014) The effect of larger apical preparations in the danger zone of lower molars prepared using the Mtwo and Reciproc systems. *J Endod* 40:1855–1859. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.06.020>
  10. Pedullà E, Plotino G, Grande NM, Avarotti G, Gambarini G, Rapisarda E, Mannocci F (2016) Shaping ability of two nickel titanium instruments activated by continuous rotation or adaptive motion: a micro-computed tomography study. *Clin Oral Invest* 20:2227–2233. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1732-4>
  11. Iacono F, Pirani C, Generali L, Bolelli G, Sassatelli P, Lusvardi L, Gandolfi MG, Giorgini L, Prati C (2017) Structural analysis of HyFlex EDM instruments. *Int Endod J* 50:303–313. <https://doi.org/10.1111/iej.12620>
  12. Pirani C, Iacono F, Generali L, Sassatelli P, Nucci C, Lusvardi L, Gandolfi MG, Prati C (2016) Hyflex EDM: superficial features, metallurgical analysis and fatigue resistance of innovative electro discharge machined NiTi Rotary instruments. *Int Endod J* 49:483–493. <https://doi.org/10.1111/iej.12470>
  13. Venino PM, Citterio CL, Pellegatta A, Marta Ciccarelli, Marcello Maddalone M (2017) A Micro-computed Tomography Evaluation of the Shaping Ability of Two Nickel-titanium Instruments, HyFlex EDM and ProTaper Next. *J Endod* 43:628–632. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.11.022>
  14. Mandava J, Yelisela RK, Arikatla SK, Ravi RC (2018) Micro-computed tomographic evaluation of dentinal defects after root canal preparation with Hyflex EDM and Vortex Blue rotary systems. *J Clin Exp Dent* 10:e844–51. <https://doi.org/10.4317/jced.54853>
  15. Pinheiro SR, Alcalde MP, Vivacqua-Gomes N, Bramante CM, Vivan RR, Duarte MAH, Vasconcelos BC (2018) Evaluation of apical transportation and centring ability of five thermally treated NiTi rotary systems. *Int Endod J* 51:705–713. <https://doi.org/10.1111/iej.12881>
  16. de Menezes SEAC, Batista SM, Lira JOP, Monteiro GQM (2017) Cyclic Fatigue Resistance of WaveOne Gold, ProDesign R and ProDesign Logic

- Files in Curved Canals In Vitro. Iran Endod J 12:468–473. <https://doi.org/10.22037/iej.v12i4.17494>
17. Espir CG, Nascimento-Mendes CA, Guerreiro-Tanomaru JM, Cavenago BC, Duarte MAH, Tanomaru-Filho M (2018) Shaping ability of rotary or reciprocating systems for oval root canal preparation: a micro-computed tomography study. Clin Oral Invest 22:3189–3194. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2411-4>
  18. Espir CG, Nascimento-Mendes CA, Guerreiro-Tanomaru JM, Freire LG, Gavini G, Tanomaru-Filho M (2018) Counterclockwise or clockwise reciprocating motion for oval root canal preparation: a micro-CT analysis. Int Endod J. 51:541–548. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2411-4>
  19. Kierklo A, Tabor Z, Pawińska M, Jaworska M (2015) A microcomputed tomography-based comparison of root canal filling quality following different instrumentation and obturation techniques. Med princ pract 24:84–91. <https://doi.org/10.1159/000368307>
  20. De-Deus G, Marins J, Silva EJNL, Souza E, Belladonna FG, Reis C, Machado AS, Lopes RT, Versiani MA, Paciornik S, Neves AA (2015) Accumulated hard tissue debris produced during reciprocating and rotary nickel-titanium canal preparation. J Endod 41:676–681. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.11.028>
  21. Peters OA, Arias A, Paqué F (2015) A micro-computed tomographic assessment of root canal preparation with a novel instrument, TRUShape, in mesial roots of mandibular molars. J Endod 41:1545–50. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.06.007>
  22. Vertucci FJ (1984) Root canal anatomy of the human permanent teeth. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 58:589–599.
  23. Schneider SW (1971) A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 32:271–275.
  24. Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL (1997) Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. J Endod 23:77–85. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(97\)80250-6](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(97)80250-6)
  25. Pinto JC, Pivoto-João MMB, Espir CG, Ramos MLG, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M (2019) Micro-CT evaluation of apical enlargement of molar root canals using rotary or reciprocating heat-treated NiTi

- instruments. *J Appl Oral Sci* 27:e20180689. [https://doi.org/ 10.1590/1678-7757-2018-0689](https://doi.org/10.1590/1678-7757-2018-0689)
26. HyFlexEDMbrochure.[https://www.coltene.com/fileadmin/Data/EN/Products/Endodontics/Root Canal Shaping/HyFlex EDM/31328A HyFlexEDM Brochure US.pdf](https://www.coltene.com/fileadmin/Data/EN/Products/Endodontics/Root_Canal_Shaping/HyFlex_EDM/31328A_HyFlexEDM_Brochure_US.pdf)
27. Gambill JM, Alder M, Del Rio C (1996) Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J Endod* 22:369–375. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(96\)80221-4](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(96)80221-4)
28. Gündoğar M, Özyürek T (2017) Cyclic Fatigue Resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue Nickel-titanium Instruments. *J Endod* 43:1192–1196. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.03.009>
29. Coelho BS, Jatahy Ferreira do Amaral RO, Leonardi DP, Marques-da-Silva B, Silva-Sousa YT, Carvalho FM, Baratto-Filho F (2016) Performance of Three Single Instrument Systems in the Preparation of Long Oval Canals. *Braz Dent J* 27:217–222. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201302449>
30. Siqueira JF Jr, Alves FR, Versiani MA, Rôças IN, Almeida BM, Neves MA, Sousa-Neto MD (2013) Correlative bacteriologic and micro-computed tomographic analysis of mandibular molar mesial canals prepared by selfadjusting file, Reciproc, and Twisted File systems. *J Endod* 39:1044–1050. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.04.034>
31. Zhao D, Shen Y, Peng B, Haapasalo M (2014) Root canal preparation of mandibular molars with 3 nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomographic study. *J Endod* 40:1860–184. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.06.023>
32. Sousa-Neto MD, Silva-Sousa YC, Mazzi-Chaves JF, Carvalho KKT, Barbosa AFS, Versiani MA, Jacobs R, Leoni GB (2018) Root canal preparation using micro-computed tomography analysis: a literature review. *Braz Oral Res* 32(suppl):e66. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0066>
33. Saini HR, Tewari S, Sangwan P, Duhan J, Gupta A (2012) Effect of different apical preparation sizes on outcome of primary endodontic treatment: a randomized controlled trial. *J Endod* 38:1309–1315. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.06.024>

34. Nair PN, Henry S, Cano V, Vera J (2005) Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after “one-visit” endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol and Endod* 99:231–252. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2004.10.005>
35. Somma F, Cretella G, Carotenuto M, Pecci R, Bedini R, De Biasi M, Angerame D (2011) Quality of thermoplasticized and single point root fillings assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J* 44:362–369. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01840.x>
36. Pedullà E, Genovesi F, Rapisarda S, La Rosa GR, Grande NM, Plotino G, Adorno CG (2017) Effects of 6 Single-File Systems on Dentinal Crack Formation. *J Endod* 43:456–461. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.10.038>
37. D'Amario M, Baldi M, Petricca R, De Angelis F, El Abed R, D'Arcangelo C (2013) Evaluation of a new nickel-titanium system to create the glide path in root canal preparation of curved canals. *J Endod* 39:1581–1584. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.06.037>
38. Munoz E, Forner L, Llana C (2014) Influence of operator's experience on root canal shaping ability with a rotary nickel-titanium single-file reciprocating motion system. *J Endod* 40:547–550. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.08.027>
39. Versiani MA, Pécora JD, Sousa-Neto MD (2013) Microcomputed tomography analysis of the root canal morphology of single-rooted mandibular canines. *Int Endod J* 46:800–807. <https://doi.org/10.1111/iej.12061>
40. Versiani MA, Pécora JD, Sousa-Neto MD (2012) Root and root canal morphology of four-rooted maxillary second molars: a microcomputed tomography study. *J Endod* 38:977–982. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.03.026>
41. Freire LG, Iglecias EF, Cunha RS, Dos Santos M, Gavini G (2015) Micro-computed tomographic evaluation of hard tissue debris removal after different irrigation methods and its influence on the filling of curved canals. *J Endod* 41:1660–6. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.05.001>

### 3.2 Publicação 2\*

#### **Presença de debris após diferentes protocolos de limpeza final em canais curvos de molares inferiores. Análise em micro-CT**

##### **Resumo**

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de irrigação ultrassônica passiva (PUI) e do easy clean (EC) com soluções de hipoclorito de sódio (NaOCl) ou clorexidina (CHX) na remoção de debris em canais radiculares de molares curvos. Quarenta e oito canais radiculares de raízes mesiais de molares inferiores com curvatura entre 20° e 40° foram preparados com o sistema ProDesign Logic (PDL) até o instrumento 40/.05 ou HyFlex EDM (HFEDM) até 40/.04. Canais preparados com PDL (n = 24) receberam como protocolo de irrigação final: PUI/NaOCl 2,5%, EC/NaOCl 2,5% e EC/H<sub>2</sub>O. E em canais radiculares (n =24) preparados com HFEDM foi utilizado: PUI/CHX 2%, PUI NaOCl 1% e PUI/NaOCl 2,5%. Escaneamentos a 9 µm foram realizados após o preparo e após limpeza final utilizando SkyScan 1176. O percentual e volume de debris acumulados e redução do percentual de debris (%RD), nos terços cervical/médio e apical foi calculado. Os dados foram submetidos aos testes ANOVA e Tukey (p<0.05). Houve diminuição do percentual e volume de debris acumulados após as técnicas e entre o PUI com diferentes soluções irrigantes (p<0.05). EC/NaOCl proporcionou maior %RD no terço apical que PUI/NaOCl e EC/H<sub>2</sub>O (p<0.05). PUI/CHX 2% promoveu maior percentual de debris acumulados em relação ao PUI/ NaOCl 1% e PUI/NaOCl 2,5% nos terços cervical/médio (p<0.05) e foram similares no terço apical (p>0.05). Nenhuma técnica de irrigação complementar e solução irrigante foi capaz de eliminar debris dos canais radiculares. Easy Clean associado ao NaOCl a 2,5% promoveu maior limpeza do terço apical do que a irrigação ultrassônica passiva. As diferentes soluções irrigadoras associadas ao uso do PUI proporcionaram limpeza similar dos canais radiculares.

Palavras-chave: endodontia, ultrassom, irrigantes do canal radicular, microtomografia por raio-x.

---

\* Artigo nas normas do periódico Brazilian Dental Journal.

## Introdução

Canais mesiais curvos de molares inferiores apresentam maior dificuldade para a correta limpeza (1), podendo acumular debris dentinários e smear layer em suas paredes (2). Instrumentos de níquel-titânio (NiTi) apresentam flexibilidade para o preparo de canais curvos, mas permitem uma porcentagem significativa de paredes do canal radicular não tocadas (3). Desta forma bactérias, tecido necrótico (4) e debris podem permanecer após o preparo (5).

A irrigação durante o preparo tem efeito importante na desinfecção e dissolução de tecido orgânico e biofilme (6), principalmente no terço apical e áreas de difícil acesso (7). Maior dilatação durante o preparo favorece a penetração da agulha de irrigação, potencializando a ação de limpeza do irrigante (8). O hipoclorito de sódio (NaOCl) é um irrigante com efetividade antimicrobiana, porém é ineficaz na remoção da camada de smear layer. A adição de 17% de ácido etilenodiaminatetracético (EDTA) ao protocolo de irrigação é recomendada para remoção dessa camada (9). A Clorexidina (CHX) é utilizada devido à sua propriedade antimicrobiana (10), mas não apresenta atuação como solvente de tecido orgânico (11). A associação de NaOCl 1% ao PUI promoveu redução de 55,55% nos debris acumulados em canais curvos de molares inferiores (12). Hipoclorito de sódio a 2,5% quando ativado por PUI, melhorou a limpeza do canal radicular e do istmo em raízes mesiais de molares (1).

A técnica de irrigação convencional apresenta limitações para a remoção de debris acumulados do SCR (1). Métodos de agitação da solução irrigante podem potencializar a limpeza após preparo dos canais radiculares (13). A técnica de irrigação ultrassônica passiva (PUI) favorece limpeza de áreas não tocadas pelos instrumentos a partir da ativação da solução irrigante por inserto ultrassônico (7). Easy Clean (Easy Equipamentos Odontológicos, Belo Horizonte, MG, Brasil) é um instrumento plástico que acoplado a um motor elétrico em cinemática recíprocante ou rotatória promove remoção de debris dos canais radiculares (1,13).

Análises de seções bidimensionais das raízes proporciona uma avaliação limitada da eficácia da irrigação (1). A análise por microtomografia computadorizada (micro-CT) permite calcular o volume de debris no canal radicular sendo realizados estudos com tamanho de voxel de 14.16  $\mu\text{m}$  (14) e 17.42  $\mu\text{m}$  (12). No presente

estudo maior resolução de escaneamento (9  $\mu\text{m}$ ) foi utilizada para possibilitar melhor detecção dos debrís.

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a efetividade na redução de debrís da irrigação ultrassônica passiva (PUI) e easy clean (EC) e da PUI com diferentes soluções irrigantes em canais radiculares de molares curvos após preparo com diâmetro 40. A primeira hipótese nula é que não há diferença significativa entre as técnicas de limpeza complementar. A segunda hipótese nula sugerida é que não há diferença entre as soluções irrigantes avaliadas com o PUI.

## **Materias e Métodos**

Após aprovação do Comitê de Ética (CAAE: 69756516.0.0000.5416) (Anexo A), foram selecionados canais radiculares mesiais de molares inferiores. Radiografia digital (Kodak RVG 6100, Kodak Dental Systems, NY, EUA) e micro-CT foram usados para seleção dos espécimes. Os escaneamentos foram realizados em 35  $\mu\text{m}$  de tamanho de voxel, utilizando Micro-CT (Skyscan 1176, Bruker-MicroCT, Kontich, Bélgica) com os seguintes parâmetros: filtro de Cu + Al, 80 Kv de potência, energia 300  $\mu\text{A}$ , frame 3, ciclo de evolução de 360  $^\circ$ , rotação de 0,5. Foram selecionados 24 molares inferiores humanos com dois canais radiculares mesiais, com configuração tipo IV de Vertucci (15), formação apical completa, ausência de fraturas radiculares, ângulo de curvatura entre 20  $^\circ$  e 40  $^\circ$ , de acordo com o método de Schneider (16). Foram padronizados dentes com  $18 \pm 2$  mm, armazenados em solução de timol a 0,1% a 5  $^\circ\text{C}$ . Os dentes foram divididos em dois grupos experimentais ( $n = 24$ ), com amostragem considerando o volume dos canais radiculares.

## **Preparo do canal radicular**

Após os espécimes foram lavados em água por 48 horas, o acesso aos canais foi obtido com broca de alta velocidade (n.2, KG Sorensen, São Paulo, Brasil), e os canais radiculares foram irrigados com hipoclorito de sódio a 2,5%. Utilizou-se limas #10 tipo K (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) até que a ponta fosse visível no forame apical e o comprimento de trabalho (CT) foi estabelecido 1 mm aquém do forame apical. As raízes foram fixadas em um aparato de resina acrílica e foram envoltas em silicone de condensação (Oranwash, Zhermack SpA,

Badia Polesine, Itália) para simular o ligamento periodontal. Um único operador experiente realizou os preparos do canal radicular.

### **Preparo do canal radicular com instrumentos ProDesign Logic (PDL)**

PDL 25 / .01 foi usado em 350 rpm e  $1 \text{ N cm}^{-1}$  de torque (VDW.SILVER, VDW GmbH, Munique, Alemanha) até o comprimento de trabalho (CT). Em seguida, PDL 25/.06 foi utilizado a 600 rpm e  $3 \text{ Ncm}^{-1}$  de torque (instrução para canais radiculares curvos), com movimentos de avanço e recuo. Movimento de pincelamento foi realizado nas paredes mesial, vestibular e lingual após instrumento atingir CT, totalizando dois movimentos em cada direção. Os canais foram ampliados usando PDL 40/.05 com 600 rpm e  $3 \text{ Ncm}^{-1}$  de torque como descrito acima.

### **Preparo do canal radicular com instrumentos HyFlex EDM (HFEDM)**

O preparo dos canais radiculares foi realizado com instrumentos HyFlex EDM (HFEDM; Coltene-Whaledent, Altstätten, Suíça), tamanho #10/.05, acionado no motor elétrico (VDW.SILVER, VDW GmbH, Munique, Alemanha) a 300 rpm e  $1,8 \text{ Ncm}^{-1}$  de torque com movimentos de entrada e saída até o CT. Em sequência, um instrumento HyFlex CM, tamanho #20/.04 e instrumento HyFlex EDM, tamanho #25/.08 foram empregados a 500 rpm e  $2,5 \text{ Ncm}^{-1}$  de torque com movimentos na direção apical até o CT. Movimento de pincelamento foi realizado nas paredes mesial, vestibular e lingual após instrumento atingir CT, totalizando dois movimentos em cada direção. Os canais foram ampliados usando HFEDM 40/.04, a 500 rpm e  $2,5 \text{ N cm}^{-1}$  de torque, de acordo com as instruções do fabricante, como descrito acima.

Em cada etapa do preparo PDL e HFEDM, todos os instrumentos foram limpos com gaze umedecida em água destilada. Um total de 12 mL de NaOCl a 2,5% foi usado para irrigar cada canal, usando uma agulha NaviTip de 30 G (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT), 2 mm aquém do CT. Após a conclusão do preparo, as amostras foram escaneadas usando micro-CT com uma resolução de  $9 \mu\text{m}$  de tamanho de voxel.



### Protocolos de irrigação final

Após realizar os escaneamentos em micro CT de acordo com os parâmetros já definidos, os espécimes preparados com os instrumentos PDL (n=24 canais) foram divididos em 3 grupos com diferentes técnicas de irrigação complementar. Foi empregado o PUI utilizando hipoclorito de sódio 2,5% (n=8 canais), o instrumento Easy Clean em movimento recíprocante com hipoclorito de sódio 2,5% (n=8 canais) e Easy Clean em movimento recíprocante com água destilada (n=8 canais).

Os espécimes instrumentados com o sistema HFEDM (n=24 canais) foram distribuídos em 3 grupos empregando diferentes soluções irrigantes. Foi utilizado PUI associado a clorexidina 2% (n=8 canais), PUI com hipoclorito de sódio 1% (n=8 canais) e PUI com hipoclorito de sódio 2,5% (n=8 canais).

O sistema Easy Clean foi utilizado com uma lima plástica por canal, posicionado a 1 mm aquém do CT, na programação *RECIPROC ALL* no motor VDW *Silver* (VDW, Munich, Germany). O protocolo de 3 ciclos de 20 segundos em cada etapa foi preconizado: 5 mL de NaOCl a 2,5% ou 5 mL de água destilada + 2,5 mL de EDTA 17% + 5 mL de NaOCl a 2,5% ou 5 mL de água destilada + lavagem final com 10 mL de água destilada.

Na técnica de irrigação ultrassônica passiva foi utilizado o aparelho de ultrassom piezoelétrico *Ied Ultrawave XS* (Ultradente products, INC), potência 4, com a ponta ultrassônica *Irrisonic E1 (#20.01)* a cada 5 canais, 1 mm aquém do CT. A sequência de protocolo empregada foi de 3 ciclos de 20 segundos de acordo com a solução irrigadora de escolha: 5 mL de clorexidina a 2% ou 5 mL de NaOCl a 1% ou 5 mL de NaOCl a 2,5% + 2,5 mL de EDTA 17% + 5 mL de clorexidina a 2% ou 5 mL de hipoclorito de sódio a 1% ou 5 mL de NaOCl a 2,5% + lavagem final com 10 mL de água destilada.

Após protocolo de irrigação final, os canais radiculares foram secos com cone de papel estéreis de tamanho #40 (Tanari Industrial Ltda., SP, Brasil).

**Tabela 1.** Distribuição dos grupos experimentais de acordo com o preparo do canal radicular e a técnica de irrigação complementar

Preparo	Técnicas de irrigação complementar	Solução irrigadora	Tamanho da amostra (n)
PDL : Dilatação 40.05	PUI: 3 ciclos de 20 s para cada etapa	<b>NaOCl 2,5%:</b> 5 mL NaOCl 2,5% + 2,5 mL EDTA 17% + 5 mL NaOCl 2,5% + 10 mL água destilada	8
	EC: 3 ciclos de 20 s para cada etapa	<b>NaOCl 2,5%:</b> 5 mL NaOCl 2,5% + 2,5 mL EDTA 17% + 5 mL NaOCl 2,5% + 10 mL água destilada	8
	EC: 3 ciclos de 20 s para cada etapa	<b>Água destilada:</b> 5 mL água destilada + 2,5 mL EDTA 17% + 5 mL água destilada + 10 mL água destilada	8

\*PDL: ProDesign Logic; PUI: Irrigação Ultrassônica Passiva; EC: Easy Clean; NaOCl: Hipoclorito de Sódio.

**Tabela 2.** Distribuição dos grupos experimentais de acordo com o preparo do canal radicular e a solução irrigante utilizada.

Preparo	Técnicas de irrigação complementar	Solução irrigadora	Tamanho da amostra (n)
HFEDM : Dilatação 40.04	PUI: 3 ciclos de 20 s para cada etapa	<b>CHX 2%:</b> 5 mL CHX 2% + 2,5 mL EDTA 17% + 5 mL CHX 2% + 10 mL água destilada	8
		<b>NaOCl 1 %:</b> 5 mL NaOCl 1 % + 2,5 mL EDTA 17% + 5 mL NaOCl 1 % + 10 mL água destilada	8
		<b>NaOCl 2,5 %:</b> 5 mL NaOCl 2,5% + 2,5 mL EDTA 17% + 5 mL NaOCl 2,5 % + 10 mL água destilada	8

\*HFEDM: HyFlex EDM; PUI: Irrigação Ultrassônica Passiva; NaOCl: Hipoclorito de Sódio; CHX: Clorexidina.

## **Análise por Micro-CT**

Após preparo e após limpeza dos canais radiculares, novos escaneamentos foram realizados (micro-CT; (SkyScan 1176; Bruker microCT, Kontich, Bélgica). Os parâmetros utilizados foram: filtro de Cu + Al, 90 kV de potência, energia de 278  $\mu$ A, frame 3, ciclo de evolução 180°, rotação de 0.5, e tamanho de voxel de 9  $\mu$ m. As imagens obtidas após preparo e após limpeza foram reconstruídas utilizando o software Nrecon (NRecon v.1.6.10.4, Bruker Micro-CT) e sobrepostas por meio de alinhamento geométrico no software Data Viewer (Data Viewer v.1.5.1, Bruker Micro-CT).

O volume dos canais radiculares após preparo e o volume de debris após protocolo de limpeza final foram quantificados aplicando task lists específicos no software CTAn (CTAn v.1.14.4, Bruker Micro-CT). Essa análise foi realizada no comprimento de 3 mm para cada terço. A redução do percentual de debris (%RD) foi calculada considerando o volume de debris obtido antes (A) e depois (B) da irrigação final de acordo com a seguinte fórmula:  $[\% RD = (B * 100 / A) - 100]$  (12).

## **Análise Estatística**

Utilizando o software GraphPad Prism (GraphPad Inc, La Jolla, CA), os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilks. Para comparar os dados relativos ao percentual de debris e volume de debris entre os terços do mesmo grupo, foi utilizado ANOVA e Tukey, e teste t pareado para comparações entre os mesmos grupos antes e após técnica de irrigação final. O nível de significância adotado foi de 5%.

## **Resultados**

A Tabela 3 mostra a comparação entre as técnicas de limpeza complementar. Houve significativa diminuição de debris em porcentagem e em volume / área após todas as técnicas ( $p < 0.05$ ). PUI/ NaOCl 2,5%, EC/ NaOCl 2,5% e EC (H<sub>2</sub>O) não apresentaram diferenças estatisticamente significantes na quantidade de debris acumulados nos terços cervical/médio e apical ( $p > 0.05$ ). EC/NaOCl proporcionou maior redução de debris no terço apical que o PUI/NaCl e EC/H<sub>2</sub>O ( $p < 0.05$ ).

A Tabela 4 mostra a comparação entre o PUI com diferentes soluções irrigantes. Foi observado diminuição do percentual e volume de debris acumulados após o uso do PUI independente da solução irrigante utilizada ( $p < 0.05$ ). PUI/CHX 2% promoveu maior percentual de debris acumulados que PUI/NaOCl 1% e PUI/NaOCl 2,5% na extensão cervical/médio ( $p < 0.05$ ) e similaridade entre os grupos ocorreu no terço apical ( $p > 0.05$ ).

Nas reconstruções em 3D (CTVOX-Software Version 3.0, Bruker) das imagens obtidas por micro-CT dos canais radiculares, é possível observar a redução de debris após os protocolos das técnicas de irrigação complementar e após o uso das diferentes soluções irrigantes (Figura 1 e 2).

**Tabela 3** – Média e  $\pm$  desvio padrão de debris acumulados (% e mm<sup>3</sup>) dos canais preparados por ProDesign Logic, antes e após técnicas de irrigação complementar

		Debris acumulados (%)		Debris acumulados (mm <sup>3</sup> )		Redução de debris (%)
		Antes	Após	Antes	Após	
PUI NaOCl 2,5%	Cerv/Med	12.24 $\pm$ 2.350 <sup>aa</sup>	6.628 $\pm$ 1.896 <sup>ba</sup>	0.1914 $\pm$ 0.0553 <sup>aa</sup>	0.1105 $\pm$ 0.0362 <sup>ba</sup>	41.23 $\pm$ 14.29 <sup>A</sup>
	Apical	7.640 $\pm$ 1.468 <sup>aaB</sup>	3.221 $\pm$ 1.655 <sup>ba</sup>	0.04339 0.0164 <sup>aa</sup>	0.0240 $\pm$ 0.0051 <sup>ba</sup>	39.04 $\pm$ 20.21 <sup>B</sup>
EC NaOCl 2,5%	Cerv/Med	13.75 $\pm$ 3.277 <sup>aa</sup>	6.460 $\pm$ 2.205 <sup>ba</sup>	0.2349 $\pm$ 0.0847 <sup>aa</sup>	0.1215 $\pm$ 0.0209 <sup>ba</sup>	43.03 $\pm$ 11.29 <sup>A</sup>
	Apical	9.094 $\pm$ 3.003 <sup>aa</sup>	4.918 $\pm$ 2.678 <sup>ba</sup>	0.0552 $\pm$ 0.0174 <sup>aa</sup>	0.0215 $\pm$ 0.0062 <sup>ba</sup>	62.37 $\pm$ 4.839 <sup>A</sup>
EC H <sub>2</sub> O	Cerv/Med	14.09 $\pm$ 5.320 <sup>aa</sup>	6.527 $\pm$ 1.152 <sup>ba</sup>	0.2153 $\pm$ 0.0718 <sup>aa</sup>	0.1182 $\pm$ 0.0198 <sup>ba</sup>	41.40 $\pm$ 17.78 <sup>A</sup>
	Apical	6.079 $\pm$ 0.5359 <sup>aaB</sup>	3.064 $\pm$ 1.6501 <sup>ba</sup>	0.0464 $\pm$ 0.0208 <sup>aa</sup>	0.0304 $\pm$ 0.0198 <sup>ba</sup>	37.61 $\pm$ 21.72 <sup>B</sup>

Letras minúsculas representam diferenças estatísticas na mesma linha (teste t de Student;  $P < 0.05$ ).

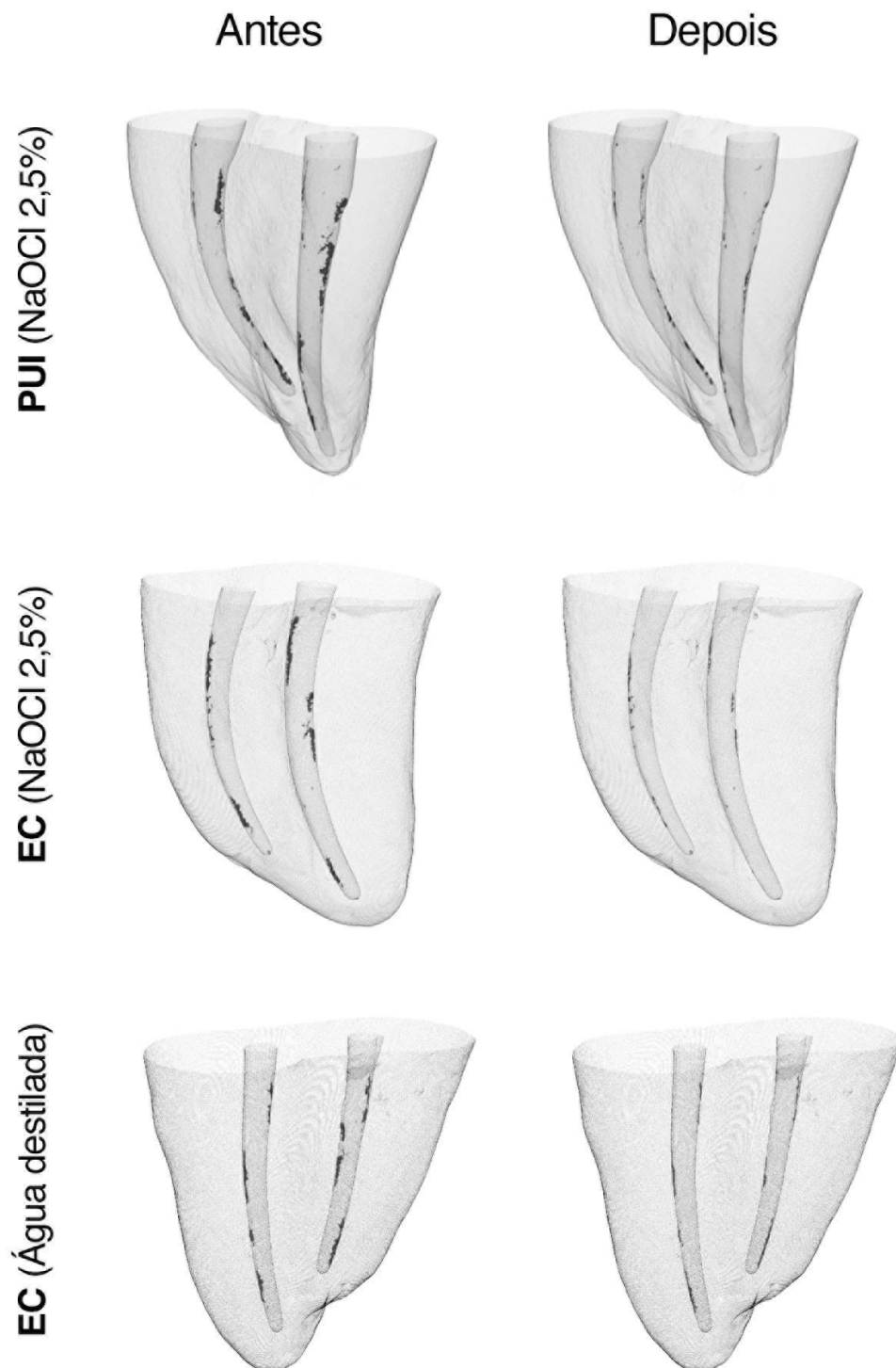
Letras maiúsculas representam diferenças estatísticas na coluna entre os métodos de limpeza complementar (ANOVA e Tukey;  $P < 0.05$ ).

**Tabela 4** – Média e  $\pm$  desvio padrão de debris acumulados (% e mm<sup>3</sup>) dos canais preparados por HyFlex EDM, antes e após diferentes soluções irrigantes

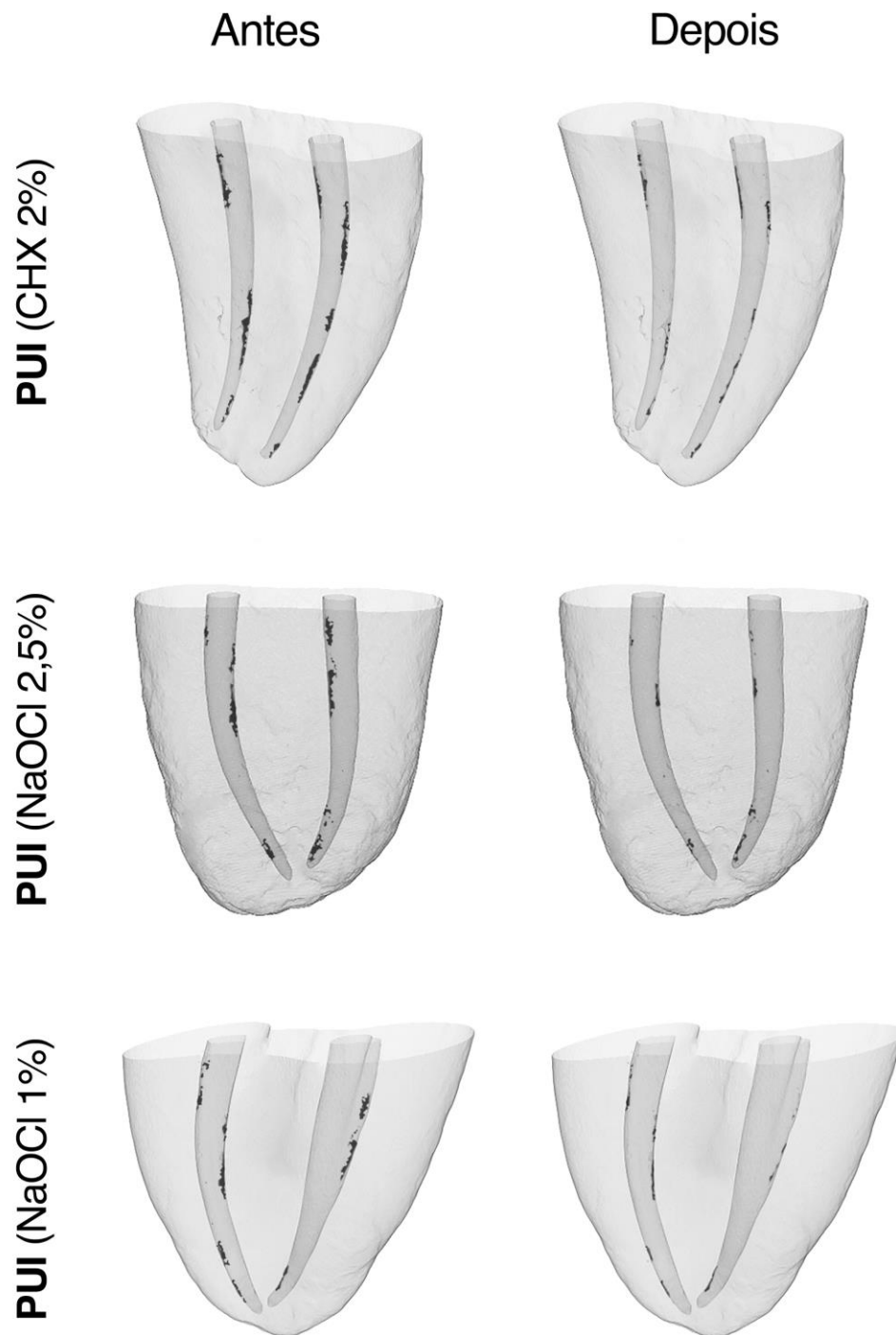
		Debris acumulados (%)		Debris acumulados (mm <sup>3</sup> )		Redução de debris (%)
		Antes	Após	Antes	Após	
PUI CHX 2%	Cerv/Med	10.57 $\pm$ 1.787 <sup>aAB</sup>	7.355 $\pm$ 1.534 <sup>bA</sup>	0.1414 $\pm$ 0.0217 <sup>aB</sup>	0.0966 $\pm$ 0.0199 <sup>bA</sup>	38.67 $\pm$ 8.77 <sup>A</sup>
	Apical	5.948 $\pm$ 2.303 <sup>aA</sup>	3.046 $\pm$ 0.741 <sup>bA</sup>	0.0278 $\pm$ 0.0096 <sup>aB</sup>	0.0205 $\pm$ 0.0052 <sup>bA</sup>	37.66 $\pm$ 6.55 <sup>A</sup>
PUI NaOCl 1%	Cerv/Med	9.611 $\pm$ 2.493 <sup>aB</sup>	5.460 $\pm$ 0.993 <sup>bB</sup>	0.2111 $\pm$ 0.0671 <sup>aA</sup>	0.1149 $\pm$ 0.0214 <sup>bA</sup>	37.07 $\pm$ 6.57 <sup>A</sup>
	Apical	4.837 $\pm$ 1.914 <sup>aA</sup>	3.007 $\pm$ 0.824 <sup>bA</sup>	0.0409 $\pm$ 0.0084 <sup>aA</sup>	0.0258 $\pm$ 0.0060 <sup>bA</sup>	37.07 $\pm$ 6.57 <sup>A</sup>
PUI NaOCL 2,5%	Cerv/Med	13.03 $\pm$ 3.141 <sup>aA</sup>	5.610 $\pm$ 1.120 <sup>bB</sup>	0.2337 $\pm$ 0.0620 <sup>aA</sup>	0.1210 $\pm$ 0.0200 <sup>bA</sup>	36.03 $\pm$ 6.16 <sup>A</sup>
	Apical	4.381 $\pm$ 2.185 <sup>aA</sup>	3.020 $\pm$ 0.860 <sup>bA</sup>	0.0304 $\pm$ 0.0069 <sup>aAB</sup>	0.0230 $\pm$ 0.0043 <sup>bA</sup>	35.18 $\pm$ 2.88 <sup>A</sup>

Letras minúsculas representam diferenças estatísticas na mesma linha (teste t de Student;  $P < 0.05$ ).

Letras maiúsculas representam diferenças estatísticas na coluna entre as soluções irrigantes (ANOVA e Tukey;  $P < 0.05$ ).



**Fig.1:** Modelos tridimensionais representativos dos canais radiculares mesiais dos molares inferiores preparados com o sistema ProDesign Logic até dilatação 40/.05, antes e após os protocolos das técnicas de irrigação complementar com PUI (NaOCl 2,5%), EC (NaOCl 2,5%), EC (Água destilada) demonstrando a redução de debris (preto).



**Fig.2:** Modelos tridimensionais representativos dos canais radiculares mesiais dos molares inferiores preparados com o sistema HFEDM até a dilatação 40/.04, antes e após os protocolos de limpeza final com PUI associado a diferentes soluções irrigantes: PUI / CHX 2%, PUI / NaOCl 2,5%) e PUI / NaOCl 1% demonstrando a redução de debris (preto).

## Discussão

De acordo com os resultados, a primeira hipótese nula foi parcialmente rejeitada, pois EC/NaOCl 2,5% proporcionou maior percentual de redução de debris (62,37%) no terço apical que PUI/NaOCl (39,04%) e EC/H<sub>2</sub>O (37,61%). EC associado ao NaOCl a 2,5% demonstrou maior limpeza no terço apical de canais curvos de molares inferiores quando comparado ao PUI a 2,5%, em análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) (13). Easy Clean é composto por um instrumento plástico 25/04, indicado para ativar o irrigante em movimento reciprocante (13), podendo também ser utilizado com movimento rotatório (1).

EC permite limpeza por agitação da solução e promove remoção de debris das paredes dos canais radiculares sem prejuízo para estrutura dentinária (1). A técnica EC e PUI foram equivalentes em relação ao grau de erosão causado na superfície dentinária (17).

A flexibilidade do instrumento plástico permite a inserção até próximo do CT, favorecendo maior limpeza na região apical. A penetração do irrigante em toda a extensão do canal radicular e em áreas de difícil acesso é um fator importante para escolha da técnica de limpeza (18). A agitação da solução irrigante usando ultrassom é bastante utilizada (12,14). A introdução da agitação mecânica usando motores elétricos demonstra ser opção para remoção de debris, principalmente no terço apical radicular (13). O menor diâmetro do terço apical e presença de curvaturas são fatores que tornam a limpeza mais difícil (19). Preparos com maior ampliação do canal radicular promovem remoção de dentina infectada, favorecendo ação do irrigante no terço apical e consequentemente favorecendo a limpeza complementar dessa região (8).

A avaliação de remoção de debris após técnicas de irrigação complementar em canais de molares inferiores utilizando micro-CT tem sido realizada utilizando tamanho de voxel de 17.42 µm (12), 14.16 µm (14) e 20 µm (20). No presente estudo, as técnicas de irrigação complementar atuaram de forma similar no percentual e volume de debris acumulados entre os terços. Assim, é pertinente destacar que independe da técnica, a ativação da solução irrigante em canais com dilatação #40 promoveu maior limpeza dos canais radiculares em análise de micro-CT com tamanho de voxel de 9 µm.



A associação da ampliação apical e o uso de NaOCl reduz a carga bacteriana no interior dos canais (21). A similaridade na atuação do PUI, EndoVac, SAF, e Easy Clean na remoção de debris acumulados em canais mesiais de molares inferiores foi descrita após dilatação 40, em análise com menor resolução de imagem (14,25  $\mu\text{m}$ ) (22).

A segunda hipótese nula foi rejeitada. Houve diferença estatística entre as soluções irrigantes utilizadas para o PUI, sendo PUI/CHX (2%) promoveu maior acúmulo de debris (7,35%) no terço cervical/médio que PUI/NaOCl 1% (5,46%) e PUI/NaOCl 2,5% (5,61%). A clorexidina é um irrigante frequentemente utilizado devido à sua propriedade antimicrobiana (10), mas não atua como solvente orgânico (11). Esse fato, pode favorecer maior acúmulo de debris em relação ao emprego de NaOCl.

Wagner et al. (11) demonstraram que o uso de EDTA e PUI não reduziu a quantidade de debris e *smear layer*, quando combinados com solução salina e CHX. Mas NaOCl + EDTA, NaOCl + PUI e NaOCl + PUI + EDTA promoveram paredes mais limpas, com menos debris e túbulos dentinários mais abertos. O efeito químico de dissolução de matéria orgânica é destacado por van der Sluis et al. (7).

Em nossos resultados, não houve diferença estatisticamente significativa no terço apical, para o PUI associado com as diferentes soluções irrigantes avaliadas mas apresentou redução de debris após os protocolos utilizados. PUI demonstrou ser uma técnica de irrigação complementar eficaz na remoção de debris acumulados ao longo do canal radicular, promovendo redução de debris independente da solução irrigadora. Melhor capacidade de limpeza foi observada quando a solução irrigante foi ativada com ultrassom em relação ao controle sem agitação da solução (22).

A dilatação do canal mesial curvo tamanho 40., permitiu a inserção do inserto a 1mm aquém do CT. A técnica de irrigação ultrassônica passiva está relacionada com a intensidade da potência do dispositivo, espaço disponível dentro do canal e interferência na ponta do instrumento (23). Em um estudo prévio, a limpeza do terço apical foi menos efetiva na região apical em relação a região cervical após preparo tamanho 30. em molares inferiores (20).

Apesar de nenhuma técnica de irrigação complementar e solução irrigante promoverem remoção total de debris dos canais radiculares, Easy Clean associado ao NaOCl a 2,5 % promoveu maior limpeza do terço apical do que a irrigação

ultrassônica passiva. As diferentes soluções irrigadoras associadas ao uso do PUI promoveram limpeza similar dos canais radiculares.

### Referências

1. Duque JA, Duarte MA, Canali LC, Zancan RF, Vivian RR, Bernardes RA et al. Comparative Effectiveness of New Mechanical Irrigant Agitating Devices for Debris Removal from the Canal and Isthmus of Mesial Roots of Mandibular Molars. *J Endod* 2017;43:326-331.
2. Somma F, Cretella G, Carotenuto M, Pecci R, Bedini R, De Biasi M et al. Quality of thermoplasticized and single point root fillings assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J* 2011;44:362-369.
3. Pérez AR, Alves FRF, Marceliano-Alves MF, Provenzano JC, Gonçalves LS, Neves AA et al. Effects of increased apical enlargement on the amount of unprepared areas and coronal dentine removal: a micro-computed tomography study. *Int Endod J* 2018;51:684-690.
4. Siqueira JF Jr, Pérez AR, Marceliano-Alves MF, Provenzano JC, Silva SG, Pires FR et al. What happens to unprepared root canal walls: a correlative analysis using micro-computed tomography and histology/scanning electron microscopy. *Int Endod J* 2018;51:501-508.
5. Paqué F, Laib A, Gautschi H, Zehnder M. Hard-tissue debris accumulation analysis by high-resolution computed tomography scans. *J Endod* 2009;35:1044-1047.
6. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Br Dent J* 2014;216:299-303.
7. van der Sluis LWM, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J* 2007;40:415-426.
8. Marinho AC, Martinho FC, Zaia AA, Ferraz CC, Gomes BP. Influence of the apical enlargement size on the endotoxin level reduction of dental root canals. *J Appl Oral Sci* 2012;20:661-666.
9. Peters OA, Barbakow F. Effects of irrigation on debris and smear layer on canal walls prepared by two rotary techniques: a scanning electron microscopic study. *J Endod* 2000;26:6-10.

10. Ferraz CCR, Gomes BPFA, Zaia AA, Teixeira FB, Souza-Filho FJ. In vitro assessment of the antimicrobial action and the mechanical ability of chlorhexidine gel as an endodontic irrigant. *J Endod* 2001;27:452-455.
11. Wagner MH, da Rosa RA, de Figueiredo JAP, Duarte MAH, Pereira JR, Só MVR. Final irrigation protocols may affect intraradicular dentin ultrastructure. *Clin Oral Invest* 2017;21:2173-2182.
12. Freire LG, Iglecias EF, Cunha RS, Dos Santos M, Gavini G. Micro-computed tomographic evaluation of hard tissue debris removal after different irrigation methods and its influence on the filling of curved canals. *J Endod* 2015;41:1660-1666.
13. Kato AS, Cunha RS, Bueno C E S, Pelegrine RA, Fontana CE, Martin AS. Investigation of the Efficacy of Passive Ultrasonic Irrigation with Reciprocating Activation: An Environmental Scanning Electron Microscopic Study. *J Endod* 2016;42:659-663.
14. De-Deus G, Marins J, Neves Ade A, Reis C, Fidel S, Versiani MA et al. Assessing accumulated hard-tissue debris using micro-computed tomography and free software for image processing and analysis. *J Endod* 2014;40:271-276.
15. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1984;58:589-599.
16. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971;32:271-275.
17. Simezo AP, da Silveira Bueno CE, Cunha RS, Pelegrine RA, Rocha DG, de Martin AS, Kato AS. Comparative Analysis of Dentinal Erosion after Passive Ultrasonic Irrigation versus Irrigation with Reciprocating Activation: An Environmental Scanning Electron Study. *J Endod* 2017;43:141-146.
18. de Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Paranjpe A, Cohenca N. Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals and up to working length: na in vitro study. *J Endod* 2010;36:1216-122.
19. Naïr PNR, Henry S, Cano V, Vera J. Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical pe-riodontitis after 'one visit' endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2005; 99:231-52.

20. Paque F, Boessler C, Zehnder M. Accumulated hard tissue debris levels in mesial roots of mandibular molars after sequential irrigation steps. *Int Endod J* 2011;44:148-153.
21. Rodrigues RCV, Zandi H, Kristoffersen AK. Influence of the apical preparation size and the irrigant type on bacterial reduction in root canal-treated teeth with apical periodontitis. *J Endod* 2017;43:1058–1063.
22. Vivian RR, Duque JA, Alcalde MP, Só MV, Bramante CM, Duarte MA. Evaluation of Different Passive Ultrasonic Irrigation Protocols on the Removal of Dentinal Debris from Artificial Grooves. *Braz Dent J* 2016;27:568-572.
23. Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA, Walton AJ. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic cavitation and its relevance. *J Endod* 1988;14:486-493.

### 3.3 Publicação 3\*

#### **Micro-CT Analysis of Curved Root Canal Obturation of Mandibular Molars by Continuous Wave of Condensation or Lateral Compaction**

##### **Abstract**

**Objective:** to evaluate filling of curved root canals of mandibular molar by using the Easy Termo Pack II continuous wave of condensation or lateral compaction techniques.

**Materials and methods** Curved (20°- 40°) mesial root canals (n = 12) of mandibular molars were prepared using ProDesign Logic rotary system up to file 40/.05. The root canals were obturated by using a continuous wave of condensation System (Easy Termo Pack II) or lateral compaction and AH Plus sealer. Scanning (9 µm) was performed after preparation and after obturation by using micro-CT SkyScan 1176. The volumetric percentage of filling material and voids throughout the entire extension of the root canal and in each third were calculated. Data were analyzed using ANOVA/Tukey and Student's-*t* tests ( $\alpha = 5\%$ ).

**Results** The root canal volume values after preparation were similar ( $P > 0.05$ ). Root canals filled by the continuous wave of condensation technique presented the lowest percentage of voids, and the highest percentage of filling material throughout their entire extension and in the apical third ( $P < 0.05$ ).

**Conclusions:** The two techniques produced voids in the filled root canals, The Easy Termo Pack II continuous wave of condensation system promoted better filling of curved root canals than the lateral condensation technique.

**Clinical Relevance:** The most effective filling promotes the best endodontic treatment prognosis. The Easy Termo Pack II continuous wave of condensation technique presented better filling ability of the apical third of curved root canals of molars and can be indicated for clinical use.

**Keywords** Endodontics. Root canal preparation. Root canal filling. Micro-computed tomography scanning.

---

\* Artigo nas normas do periódico Clinical Oral Investigation.

## Introduction

Root canal obturation aims to obtain three-dimensional filling of root canal systems after preparation, preventing root canal re-infection [1, 2]. Various techniques have been recommended to complete filling of root canal systems [3]. However, no filling technique is capable of promoting complete filling [4]. The lateral compaction technique has a good cost-benefit [5,6], and promotes lower extrusion of filling material. [7]. However, it has shown failure in adaptation of the filling material to the root canal wall, risk for root fracture, and lack of homogeneity [5,7]. Thermoplastic obturation techniques such as the continuous wave of condensation are used by means of devices that heated and inject gutta percha [3, 4, 6, 8], obtaining better filling of root canal systems [3].

The quality of filling is associated with proper root canal preparation [9]. Root canal enlargement promotes better disinfection and increases the effect of the irrigating solution and apical cleaning [10]. Thermal treatment of the NiTi instruments promoted better flexibility and resistance to cyclic fatigue [11,12], allowing centralized preparation in curved root canals [13]. Apical enlargement of the root canal could influence the filling technique in curved root canals by using thermal compaction [3], because it favors penetration of the plugger up to the apical region [4].

The Termo Pack II (Easy Equipamentos Odontológicos, Brazil) continuous condensation wave technique has a condenser for the Downpack of gutta percha, and the heated gutta percha injector for the Back Fill. This system is similar to other continuous wave of condensation techniques such as BeeFill 2 in 1 (VDW, Munich, Germany) [14, 15]. Computed microtomography (micro-CT) is used for analyzing the quality of root canal fillings [4,8,14-17]. Three-dimensional analysis of the filling material volume and voids in mesial canals of molars by the continuous wave of condensation technique have been conducted with resolutions of 17.42  $\mu\text{m}$  and 14.87  $\mu\text{m}$  and size 25 and 40 preparations, respectively [8, 18]. Ho et al. [19] used a resolution of 7.9  $\mu\text{m}$  for evaluating the lateral compaction technique.

Thus, the aim of this study was to compare the filling ability of the continuous wave condensation and lateral compaction techniques in the curved mesial canals of mandibular molars, prepared up to size 40 and by means of scanning at 9  $\mu\text{m}$ . The null hypothesis proposed was that there would be no difference between the two filling techniques with regard to percentage of filling material volume and failures.

## Materials and Methods

After approval from the Ethics Committee (CAAE: 69756516.0.0000.5416), mesial root canals of mandibular molars were selected. Digital radiography system (Kodak RVG 6100, Kodak Dental Systems, NY, USA) and micro-CT were used to confirm the inclusion criteria. Scanning was performed at 35  $\mu\text{m}$  voxel size, using a computed microtomograph (Skyscan 1176, Bruker-MicroCT, Kontich, Belgium) with the following parameters: copper and aluminum filter, exposure time of 87 ms, frame 3, rotation of 360°, 80 kV, and 300  $\mu\text{A}$ . A total of 12 first and second human mandibular molars with two mesial root canals, presenting type IV configuration according to the classification of Vertucci [20] were selected. Complete apical formation, absence of root fractures, angle of curvature between 20° and 40° and radius of curvature smaller than 10 mm, were observed in accordance with Schneider method [21]. The teeth selected were stored in a 0.1% Thymol solution at 5° C.

After washing in water for 48 hours, access to the canals was obtained using high speed bur (n.2, KG Sorensen, São Paulo, Brazil). A K #10 file (Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland) was used up to the apical foramen. The working length was established 1 mm short of the apex. The roots were embedded in condensation silicone (Oranwash, Zhermack SpA, Badia Polesine, Italy) to simulate the periodontal ligament. After this, a single, experienced operator performed the root canal preparation and obturation.

## Root Canal Preparation

The PDL 25/.01 was used at 350 rpm and 1 N  $\text{cm}^{-1}$  of torque (VDW.SILVER, VDW GmbH, Munich, Germany) to the working length (WL). ProDesign Logic size 25/.06 taper was used at 600 rpm and 3 N  $\text{cm}^{-1}$  of torque (manufacturer's instructions for curved root canals). The root canals were enlarged using ProDesign Logic 40/.05. A total of 12 mL of 2.5% NaOCl was used to irrigate each canal using a 30 G NaviTip needle (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT), 1 mm short of the WL, after preparing each third with in-and-out movements. Final irrigation was performed with 2.5 ml EDTA under agitation for 3 minutes, and afterwards, irrigation with 5 ml of 0.5% sodium hypochlorite. All the root canals were dried with absorbent paper cones (Dentsply Sirona).

### **Obturation by the continuous wave of condensation technique**

Gutta-percha cones 40/.05 (Tanari industry Ltda., São Paulo, Brazil) were used. The gutta-percha cones were selected according to the tip size and taper measured with the profilometer (Profile Projector Nikon Model 6C-2). After radiographic evaluation of adaptation of the gutta-percha cone, the AH Plus sealer (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany) was inserted into the root canal by using a Lentulo size 40 instrument (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland). After this, the gutta-percha cone covered by pre-curved manual K-file size 35 endodontic sealer was placed in the root canal. The thermoplastic plugger from the Easy Termo Pack II System (Easy Equipamentos Odontológicos Brazil) was used for plasticization, cutting and compaction of the gutta percha within the apical root canal (Downpack) up to 3 mm of the working length. After this, the thermal injector of the system was used to inject the warmed gutta-percha that was compacted. Compaction was performed with Nickel and Titanium condensers (Easy Equipamentos Odontológicos, Brazil). A radiograph was taken to verify the quality of the obturation.

### **Obturation by the lateral compaction technique**

Gutta-percha cones 40/.02 (Tanari Indústria Ltda., São Paulo, Brazil), were also selected after being measured using a Profilometer (Profile Projector Nikon Model 6C-2). The filling sealer AH Plus (Dentsply, DeTrey GmbH, Konstanz, Germany) was inserted into the root canal by using a Lentulo size 40 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) instrument and pre-curved manual K-file size 35 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland). After this, the gutta-percha cone covered with endodontic sealer was inserted into the root canal. The finger spreader B (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) was used for inserting the auxiliary XF cones (Tanari industry Ltda., São Paulo, Brazil) into the apical third. Afterwards, the finger spreader C (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) was used for inserting the auxiliary FF gutta-percha cones (Tanari industry Ltda., São Paulo, Brazil) into the middle and coronal thirds. Lateral compaction was performed on a precision balance to control the force applied, which did not exceed 1.5 kg. A radiograph was taken to verify the quality of the obturation.



After filling the root canals, coronal sealing was performed with restorative material Coltosol (Vigodent, Rio de Janeiro, Brazil), and the roots were kept in an oven at a temperature of 37° C, in 95% humidity, for three days, for sealer setting.

### **Micro-CT analysis**

The roots were scanned using micro-CT (SkyScan 1176; Bruker micro-CT, Kontich, Belgium) after preparation, and after the obturation of the root canals. The roots were positioned in a standardization device, allowing the specimens to remain in the same position at all times during scanning procedures. The parameters used were: copper and aluminum filter; 90 kV power; 278 mA energy; evolution cycle 180° and rotation 0.5, with 9 µm voxel size. The post-preparation and post-obturation images obtained were reconstructed using the NRecon software (NRecon v.1.6.10.4, Bruker Micro-CT), Volumetric analysis was performed in all canals after the preparation, by means of the software CTAn (CTAn v.1.14.4, Bruker Micro-CT) with the use of specific task lists.

The reconstructed images, obtained before and after obturation, were superimposed by means of geometric alignment in the Data Viewer software (Data Viewer v.1.5.1, Bruker Micro-CT). Quantitative analyses were then performed with the CTAn software by applying task lists, and arithmetic and logic operations between the superimposed sections. The following volumes were quantified: root canal, filling material (gutta-percha and sealer) and voids. The gray scale range required to recognize each object under study was determined in a density histogram by using a global threshold method. The percentages of filling material were taken as a basis for the post-preparation volume of the canal and for the filling volume: [percentage of filling = (volume of filling x 100) / volume of canal]. The volume of voids was calculated by subtracting the filling material volume from the post-obturation root canal volume: [volume of voids = volume of canal – volume of filling]. The percentage volume of voids was calculated by using the following formula: [Percentage of voids = (volume of voids X 100)/volume of canal]. Qualitative analyses were performed by means of models obtained by using CTVol software (CTVol v. 2.0, Bruker Micro-CT).

Evaluation was performed throughout the entire root canal extension and by thirds (Coronal, Middle and Apical). The value of approximately 9 mm was

determined for the total length analysis and approximately 3 mm for each third. In the software (CTan).

### Statistical Analysis

The Graph Pad Prism 7.00 (GraphPad Software, Inc., California, USA) software was used for data analysis. Data obtained for canal volume values after preparation, percentage of filling material and percentage of voids between the groups were submitted to Student's-*t* test. ANOVA/Tukey tests were used for comparison of filling material and voids between thirds. The significance level was set at 5%.

### Results

There was no statistical difference between the volume of the root canals after preparation with the ProDesign Logic 40/.05 system (Table 1). The highest percentage of voids was observed for the lateral compaction technique in the entire extension and apical third of the root canal, in comparison with the continuous wave of condensation technique (Table 2). The highest percentage of filling material was observed for the continuous wave technique in the extension of the canal and apical third (Table 2). Figure 1 shows the 3D reconstructions of the images obtained by micro-CT of the root canals filled by means of the two filling techniques.

**Table 1** Mean percentage ( $\pm$  standard deviation) of volume ( $\text{mm}^3$ ) - total and by thirds of canals after preparation

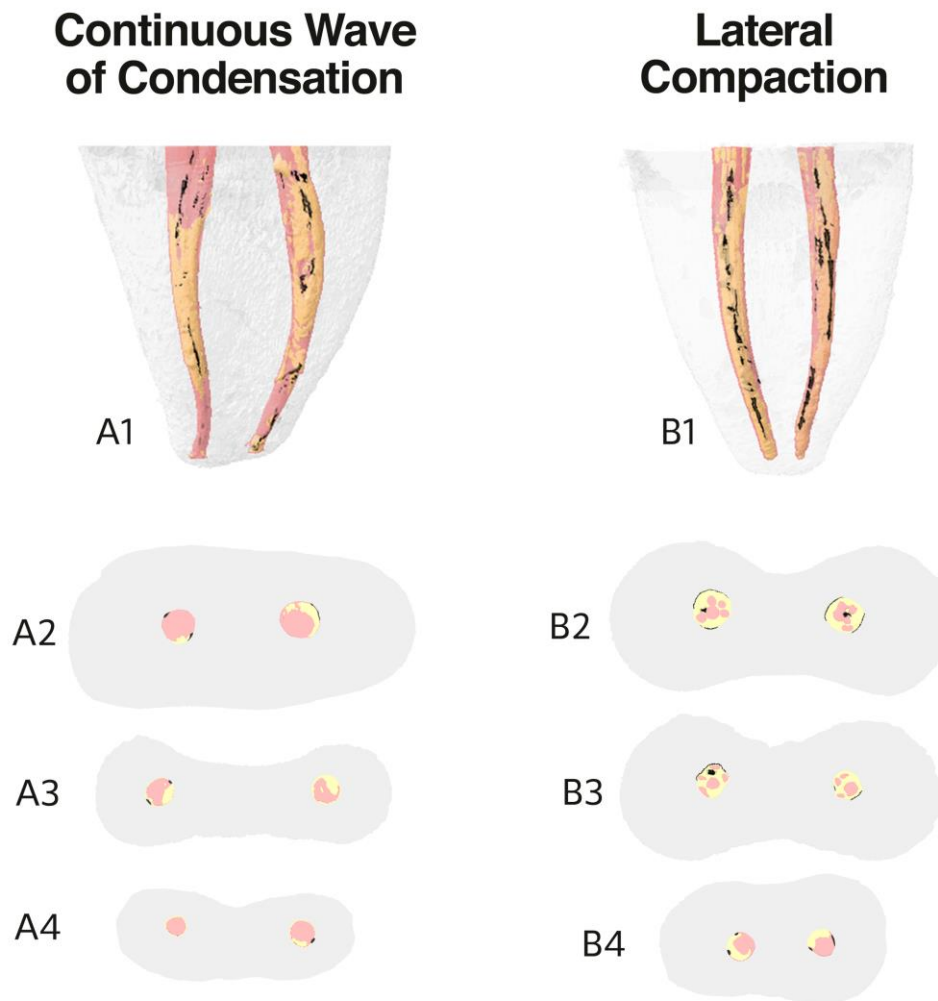
	Continuous Wave of Condensation	Lateral Compaction
Total	4.064 $\pm$ 0.8673	3.950 $\pm$ 1.019
Coronal	2.101 $\pm$ 0.4566	1.980 $\pm$ 0.7128
Middle	1.205 $\pm$ 0.3123	1.157 $\pm$ 0.2519
Apical	0.8133 $\pm$ 0.1812	0.9109 $\pm$ 0.1190

\* There was no statistical difference between the groups (teste t de Student; ANOVA; Tukey;  $P > 0.05$ ).

**Table 2** Mean percentage ( $\pm$  standard deviation) of voids and filling material in the filling after use of lateral compaction and continuous wave of condensation

		Continuous Wave of Condensation	Lateral Compaction
% voids	Total	6.746 $\pm$ 2.768 <sup>b</sup>	9.293 $\pm$ 2.897 <sup>a</sup>
	Coronal	9.722 $\pm$ 4.282 <sup>aA</sup>	10.42 $\pm$ 4.019 <sup>aA</sup>
	Middle	6.365 $\pm$ 3.590 <sup>aAB</sup>	8.649 $\pm$ 3.644 <sup>aA</sup>
	Apical	4.631 $\pm$ 1.817 <sup>bB</sup>	9.513 $\pm$ 4.595 <sup>aA</sup>
% filling material	Total	93.25 $\pm$ 2.678 <sup>a</sup>	90.71 $\pm$ 2.897 <sup>b</sup>
	Coronal	90.28 $\pm$ 4.282 <sup>aB</sup>	89.58 $\pm$ 4.019 <sup>aA</sup>
	Middle	93.63 $\pm$ 3.590 <sup>aB</sup>	91.35 $\pm$ 3.644 <sup>aA</sup>
	Apical	95.37 $\pm$ 1.817 <sup>aA</sup>	90.49 $\pm$ 4.595 <sup>bA</sup>

\*Different superscript lowercase letters in same line indicate statistical difference between the groups (Student's-t test;  $P < 0.05$ ). Superscript capital letters in the same column indicate statistical difference among the thirds (ANOVA e Tukey;  $P < 0.05$ ).



**Figure 1.** Three dimensional reconstruction of mesial root canals of mandibular molars obturated by continuous wave of condensation (A1) and lateral compaction (B1). Axial sections of mesial roots canal filled respectively by continuous wave of condensation and lateral compaction in the thirds: cervical (A2, B2), middle (A3, B3) and apical (A4, B4). Showing the presence of voids (black spots within the filling materials), sealer (in yellow) and gutta-percha (in pink).

## DISCUSSION

The null hypothesis of the study was rejected. The filling techniques used in the present study did not promote complete filling of the root canals, as has previously been observed [4, 8, 16-18]. In present study, the lowest percentage of voids and highest percentage of filling material were observed for the continuous wave of condensation (Termo Pack II) throughout the entire extension of the root canal and apical third, in comparison with the lateral compaction technique (Table 2, Figure 1).

In our study, the mesial canals had a 20°– 40° curvature, and they were prepared up to size 40, providing better filling ability throughout the entire extension of the root canal (93.25%) and in the apical region (95.37%) by the Easy Termo Pack II continuous wave condensation technique in comparison with 90.71% (total) and 90.49% (apical) filling of canals obturated by the lateral compaction technique. The mesial canals of molars with apical enlargement 30/ .06, filled by the continuous wave of condensation filling technique also showed better filling in the apical third (79.57 %) when compared with the lateral compaction technique (69.21%) [19].

The apical third of the root canal is considered the critical region of endodontic treatment, presenting greater difficulty for disinfecting and filling [22]. Endodontic treatment failure is caused by persistent infection [23] and apical third region is essential for cleaning and sealing [24, 25]. Filling by an adequate technique [26] may promote better repair of apical and periapical tissues [27].

The presence of voids in filled root canals may be related to the root canal preparation, filling technique, physical properties of the sealer and morphology of the root canals [28]. The quality of obturation and capacity for filling by continuous wave of condensation demonstrated 88.91% filling material in the curved canals [19] or up to 99.43% of filling in the straight canals of premolars [29]. The effectiveness of apical filling by the continuous wave of condensation technique depends on penetration of the plugger, which is more easily inserted into straight canals [30].

Naseri et al. [16] observed that in the straight canals of mandibular molars prepared with the ProTaper F3 instrument, the lateral compaction and continuous wave of condensation techniques presented the highest and lowest percentages of voids (5.5% and 2.6%), respectively, in the apical region. In the present study, voids were observed in 6.74% throughout the total extension of the root canal, and in 4.63% in the apical third after the Easy Termo Pack II continuous wave of

condensation technique in comparison with 9.29% (total) and 9.51% (apical third) of failures for lateral compaction. The lateral compaction technique produced less homogeneous obturation than the gutta percha thermoplastic techniques [30].

In the present study, the mesial canals were prepared up to enlargement 40/.05. Thermal treatment provides the NiTi instruments with greater flexibility and cyclic fatigue [11, 12], thus producing centralized preparations and less transportation in curved canals [13]. NiTi instruments favor root canal preparation with appropriate taper for an proper obturation [31]. Enlargement of root canal preparation promotes efficient irrigation in the apical region, favoring root canal disinfection [10, 32]. AH Plus has proper physical properties and provides filling when compared with other materials [33]. Combination of the continuous wave of condensation technique with AH Plus allowed better filling of the isthmus in mesial canals when compared with the lateral compaction technique [18]. To perform the continuous wave technique, the plugger must be inserted into the root canal up to 2 to 3 mm from the WL [4]. In our study the plugger was inserted at 16 mm, 2mm short of the WL. This insertion close to the apical third favor filling of this region.

Micro-CT is used for analyzing the filling ability of different techniques in combination with a filling sealer [34]. The volume of failures detected may be related to the voxel size of the micro-CT images, and very small failures are not detected at low resolutions [17]. In the present study, the voxel size of 9  $\mu\text{m}$  was used, which favors the detection of voids. Analyses by micro-CT using scanning resolutions of 17  $\mu\text{m}$  and 14.87  $\mu\text{m}$  allowed observation of 3.91% of voids [8] and 93.94% of filling material [35] in the root canals filled by the continuous wave of condensation technique. Higher resolutions could contribute to enhanced detection of voids in the root canal fillings.

Therefore, the correct filling of root canal obturations promotes better endodontic treatment prognosis [36]. The Easy Termo Pack II system used for continuous wave condensation demonstrated favorable results in the curved canals of molars prepared up to 40/.05.

## **Conclusion**

In conclusion, the Termo Pack II continuous wave of condensation technique presented better filling ability of the apical third of curved root canals of molars and can be indicated for clinical use.

## References

- 1- Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K (2008) Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature-part 2. Influence of clinical factors. *Int Endod J* 41:6–31. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01323.x>
- 2- Hammad M, Qualtrough A, Silikas N (2009) Evaluation of root canal obturation: a three dimensional in vitro study. *J Endod* 35:541–544. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.12.021>
- 3- Atav Ates A, Dumani A, Yoldas O, Unal I (2018) Post-obturation pain following the use of carrier-based system with AHPlus or iRoot SP sealers: a randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Investig* <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2721-6>
- 4- Somma F, Cretella G, Carotenuto M, Pecci R, Bedini R, De Biasi M, Angerame D (2011) Quality of thermoplasticized and single point root fillings assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J* 44:362–369. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01840.x>
- 5- Whitworth J (2005) Methods of filling root canals: principles and practices. *Endodontic Topics* 12:2–24.
- 6- Hale R, Gatti R, Glickman GN, Opperman LA (2012) Comparative analysis of carrier-based obturation and lateral compaction: a retrospective clinical outcomes study. *Int J Dentistry* 2012:954675. <https://doi.org/10.1155/2012/954675>
- 7- Gordon MP, Love RM, Chandler NP (2005) An evaluation of .06 tapered gutta-percha cones for filling of .06 taper prepared curved root canals. *Int Endod J* 38:87–96. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2004.00903.x>
- 8- Iglecias EF, Freire LG, de Miranda Candeiro GT, Dos Santos M, Antoniazzi JH, Gavini G (2017) Presence of Voids after Continuous Wave of Condensation and Single-cone Obturation in Mandibular Molars: A Micro-computed Tomography Analysis. *J Endod* 43:638-642. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.11.027>
- 9- Schäfer E, Köster M, Bürklein S (2013) Percentage of gutta-percha-filled areas in canals instrumented with nickel-titanium systems and obturated with

- matching single cones. *J Endod* 39:924-8.  
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.04.001>
- 10-Marinho AC, Martinho FC, Zaia AA, Ferraz CC, Gomes BP (2012) Influence of the apical enlargement size on the endotoxin level reduction of dental root canals. *J Appl Oral Sci* 20:661–666.
- 11-Zhao D, Shen Y, Peng B, Haapasalo M (2015) Effect of autoclave sterilization on the cyclic fatigue resistance of thermally treated Nickel-Titanium instruments. *Int Endod J* 49:990–995. <https://doi.org/10.1111/iej.12550>
- 12-Alcalde MP, Duarte MAH, Bramante CM, de Vasconcelos BC, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM, Pinto JC, Só MVR, Vivian RR (2018) Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. *Clin Oral investing* 22:1865–1871.  
<https://doi.org/10.1007/s00784-017-2295-8>
- 13-Jatahy Ferreira do Amaral RO, Leonardi DP, Gabardo MC, Coelho BS, Oliveira KV, Baratto Filho F (2016) Influence of Cervical and Apical Enlargement Associated with the WaveOne System on the Transportation and Centralization of Endodontic Preparations. *J Endod* 42:626–631.  
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.12.005>
- 14-Wolf M, Küpper K, Reimann S, Bourauel C, Frentzen M (2014) 3D analyses of interface voids in root canals filled with different sealer materials in combination with warm gutta-percha technique. *Clin Oral Invest* 18:155–161.  
<https://doi.org/10.1007/s00784-013-0970-y>
- 15-Faus-Llácer V, Collado-Castellanos N, Alegre-Domingo T, Dolz-Solsona M, Faus-Matoses V (2015) Measurement of the percentage of root filling in oval-shaped canals obturated with Thermafil Obturators and Beefill 2in1: In vitro study. *J Clin Exp Dent* 7:e299–303. <https://doi.org/10.4317/jced.52177>
- 16-Naseri M, Kangarlou A, Khavid A, Goodini M (2013) Evaluation of the quality of four root canal obturation techniques using micro-computed tomography. *Iran Endod J* 8:89–93.
- 17-Kierklo A, Tabor Z, Pawińska M, Jaworska M (2015) A microcomputed tomography-based comparison of root canal filling quality following different instrumentation and obturation techniques. *Med Princ Pract.* 24:84–91.  
<https://doi.org/10.1159/000368307>



- 18-Oh S, Perinpanayagam H, Kum DJ, Lim SM, Yoo Y, Chang SW, Lee W, Baek SH, Zhu Q, Kum KY (2016) Evaluation of three obturation techniques in the apical third of mandibular first molar mesial root canals using micro-computed tomography. *J Dent Sci* 11:95–102. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2015.11.002>
- 19-Ho ESS, Chang JWW, Cheung GSP (2016) Quality of root canal fillings using three gutta-percha obturation techniques. *Restor Dent Endod* 41:22–28. <https://doi.org/10.5395/rde.2016.41.1.22>
- 20-Vertucci FJ (1984) Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 58:589-599.
- 21-Schneider SW (1971) A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 32:271–275
- 22-Schilder H. (1967) Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am* 723-744. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.02.007>.
- 23-Siqueira JF, Jr, Rôças IN (2008) Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod*. 34:1291–301. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.07.028>.
- 24-Ricucci D, Siqueira JF Jr, Bate AL, Pitt Ford TR (2009) Histologic investigation of root canal treated teeth with apical periodontitis: a retrospective study from twenty-four patients. *J Endod* 35:493–502. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.12.014>.
- 25-Arnold M, Ricucci D, Siqueira JF Jr (2013) Infection in a complex network of apical ramifications as the cause of persistent apical periodontitis: a case report. *J Endod* 39:1179–84. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.04.036>
- 26-Celikten B, Uzuntas CF, Orhan AI, Tufenkci P, Misirli M, Demiralp KO, Orhan K (2015) Micro-CT assessment of the sealing ability of three root canal filling techniques. *J Oral Sci* 57:361–366. <https://doi.org/10.2334/josnusd.57.361>
- 27-Poggio C, Lombardini M, Colombo M, Dagna A, Saino E, Arciola CR, Visai L (2011) Antibacterial effects of six endodontic sealers. *Int J Artif Organs*. 34:908–913.
- 28-Mirfendereski M, Roth K, Fan B, Dubrowski A, Carnahan H, Azarpazhooh A, Basrani B, Torneck CD, Friedman S (2009) Technique acquisition in the use of two thermoplasticized root filling methods by inexperienced dental students: a microcomputed tomography analysis. *J Endod*. 35:1512–1517. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.07.027>

- 29-Keleş A, Alçin H, Kamalak A, Versiani MA (2014) Micro-CT evaluation of root filling quality in oval-shaped canals. *Int Endod J* 47:1177–1184. <https://doi.org/10.1111/iej.12269>
- 30-Marciano MA, Ordinola-Zapata R, Cunha TVRN, Duarte MAH, Cavenago BC, Garcia RB, Bramante CM, Bernardineli N, Moraes IG (2011) Analysis of four gutta-percha techniques used to fill mesial root canals of mandibular molars. *Int Endod J* 44:321–329. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01832.x>
- 31-Peters O, Schonenberger K, Laib A (2011) Effects of four NiTi preparation techniques on root canal geometry assessed by microcomputed tomography. *Int Endod J* 34: 221–230. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2001.00373.x>
- 32-Rodrigues RCV; Zandi H, Kristoffersen AK; Enersen M; Mdala I, Ørstavik D, Rôças IN, Siqueira-Jr JF (2017) Influence of the apical preparation size and the irrigant type on bacterial reduction in root canal-treated teeth with apical periodontitis. *J Endod* 43:1058-1063. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.02.004>
- 33-Viapiana R, Moizadeh AT, Camilleri L, Wesselink PR, Tanomaru Filho M, Camilleri J (2016) Porosity and sealing ability of root fillings with gutta-percha and BioRoot RCS or AH Plus sealers. Evaluation by three ex vivo methods. *Int Endod J* 49:74–82. <https://doi.org/10.1111/iej.12513>
- 34-Jung M, Lommel D, Klimek J (2005) The imaging of root canal obturation using micro-CT. *Int Endod J* 38:617–626. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2005.00990.x>
- 35-Freire LG, Iglecias EF, Cunha RS, Dos Santos M, Gavini G (2015) Micro-Computed Tomographic Evaluation of Hard Tissue Debris Removal after Different Irrigation Methods and Its Influence on the Filling of Curved Canals. *J Endod* 41:1660-1666. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.05.001>
- 36-Al-Jadaa A, Attin T, Peltomäki T, Heumann C, Schmidlin PR, Paquè F (2018) Influence of the internal anatomy on the leakage of root canals filled with thermoplastic technique. *Clin Oral Investig* 22:1385–1393. <https://doi.org/10.1007/s00784-017-2235-7>.

### 3.4 Publicação 4\*

#### **Curved Root Canal Fillings in Mandibular Molars Performed with Bioceramic Sealers using The Single Cone Technique. Analysis by Micro-CT**

##### **Abstract**

**Introduction:** Filling of curved root canals in mandibular molars obturated by single cone technique and bioceramic sealers was evaluated. **Methodology:** 24 mesial root canals in mandibular molars, with a degree of curvature between 20° and 40° were prepared using HyFlex EDM up to instrument 40/.04. The root canals (n = 12) were filled with NeoMTA Plus sealer or TotalFill BC Sealer by using single cone technique. Scanning at 9  $\mu\text{m}$  (SkyScan 1176) was performed after both preparation and filling. The volumetric percentage of filling material and voids throughout the extension of the root canal and in each third were calculated. The data were submitted to ANOVA and Tukey statistical tests ( $P < .05$ ). **Results:** The root canals presented similar volume after root canal preparation ( $P > .05$ ). NeoMTAPlus showed a higher percentage of voids and lower percentage of filling material throughout the extension of the root canal than TotalFill BC Sealer ( $P < .05$ ). The apical third showed similar percentage of voids and filling material ( $P > .05$ ). **Conclusion:** The two sealers were incapable of completely filling the root canals. TotalFill BC Sealer had better filling ability for mesial roots of mandibular molars filled by single cone technique than NeoMTA Plus sealer, except in the apical third.

**Key Word:** endodontics, root canal filling, calcium silicate, X-ray Microtomography.

---

\* Artigo nas normas do periódico Journal of Endodontics.

## Introduction

Single cone technique is simple to be performed (1), but it is influenced by the sealer flow, root canal morphology and root canal preparation (2). Heat treatment provides NiTi instruments with greater flexibility and cyclic fatigue resistance, allowing centralized preparations in curved root canals (3). Root canal preparation up to 40 diameter promotes removal of infected dentin, increasing the effect of irrigating solution and apical cleaning (4). Gutta percha cone with similar size to the root canal preparation provides a larger volume of gutta percha in the single cone technique (5). However, the endodontic sealer must have flow ability into the space between the cone and root canal walls to promote sealing (6).

Bioceramic sealers have the capacity to induce mineralization (7). NeoMTA Plus sealer (nMTAP; Avalon Biomed Inc., Bradenton, FL, USA) is a calcium silicate sealer composed by powder and gel, with the ability of inducing mineralized tissue formation, without promoting tooth discoloration (8, 9). This sealer has sealing capacity and promotes lower amount of extrusion into the periapical region (7). nMTAP shows tubular penetration when used with the single cone filling technique (10).

TotalFill BC sealer (TFBC; FKG, La Chaux-de-Fonds, Switzerland; Brasseler, Savannah, Georgia, USA) is a ready-to-use bioceramic sealer (11). According to the manufacturer, it is composed of calcium silicate, calcium phosphate, calcium hydroxide, zirconium oxide and thickening agents. TFBC promotes higher flow in comparison with AHPlus and GuttaFlow Bioseal (12) and adaptation to dentin (13). Up to now, no study has evaluated the filling ability of NeoMTA Plus and TotalFill BC sealers for filling curved root canals, by using Micro-computed tomography (micro-CT).

Micro-CT is used for evaluating the quality of root canal obturation. Mesial canals of mandibular molars filled by single cone technique or continuous wave of condensation and AH Plus promoted similar percentage of voids in a micro-CT evaluation using voxel size of 17.42  $\mu\text{m}$  (14). Similar filling ability was observed for the EndoSequence BC Sealer and AHPlus sealers after micro-CT analysis with voxel size of 13.47  $\mu\text{m}$  (15). Total BC Sealer and Sure-Seal Root showed a higher percentage of filling and lower incidence of voids when compared with AH Plus by

the single cone technique, when analyzed by nano-CT with a voxel size of 15.8  $\mu\text{m}$  (16). Higher scanning resolution could enable better detection of voids (17).

The aim of the present study was to compare the filling ability of NeoMTA Plus and TotalFill BC Sealer sealers in mesial canals of mandibular molars filled by the single cone technique, using a voxel size of 9  $\mu\text{m}$  in micro-CT. The null hypothesis was that there would be no significant difference for filling ability between AH Plus and NeoMTA Plus sealers, for root canal filling by the single cone technique.

## **Materials and Methods**

Human mandibular molars with two separated mesial root canals ( $n = 24$ ) were used after approval by the Research Ethics Committee, (CAAE No: #69756516.0.0000.5416 (Attachment A). Digital radiography (Kodak RVG 6100) and Micro-CT (Skyscan 1176, Bruker-Micro-CT, Kontich, Belgium) at 35  $\mu\text{m}$  were used to sample selection.

First and second mandibular molars ( $n = 12$ ) with two mesial root canals, type IV configuration of Vertucci (18) were selected. Complete apical formation and absence of root fractures were observed. The angle of curvature ( $20^\circ$ -  $40^\circ$ ) (19) and radius of curvature ( $< 10$  mm) (20), were confirmed. The teeth were standardized with  $18 \pm 2$  mm and stored in a 0.1% thymol solution at  $5^\circ\text{C}$ .

After washing in water for 48 h, access to the root canals was performed by suing high- speed bur (No.2 KG Sorensen, São Paulo, Brazil). Patency was confirmed with K #10 files (Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland). The working length was established 1 mm short of the apex. The roots were covered with condensation silicone (Oranwash, Zhermack SpA, Badia Polesine, Italy) to simulate the periodontal ligament. An experienced operator performed the root canal preparation and filling.

## **Root canal preparation**

The root canal preparation was performed using HyFlex EDM (HEDM; Coltene-Whaledent, Altstätten, Switzerland) size 10/.05, at 300 rpm and torque of 1,8 Ncm-1 (VDW.SILVER, VDW GmbH, Munich, Germany) until the WL. In sequence,

the HyFlex CM 20/.04 and HyFlex EDM size 25/.08 were used at 500 rpm and torque of  $2.5 \text{ Ncm}^{-1}$  up to the WL. At final, brushing motion were performed to mesial, buccal and lingual directions.

At each stage of preparation all the instruments were cleaned with gauze moistened with distilled water. A total of 12 mL of 2.5% NaOCl was used to irrigate each canal using a 30 G NaviTip needle (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT) in a 5 mL syringe (Ultradent Products, South Jordan, UT, USA) at 1mm from the WL. Final irrigation was performed with 2.5 mL of 17% EDTA for 3 minutes and afterwards with 5 mL of 0.5% sodium hypochlorite. All the root canals were dried with absorbent paper cones (Dentsply Sirona).

### Filling

The root canal were divided into two Groups (n = 12), filled with NeoMTA Plus sealer (nMTAP; Avalon Biomed Inc, New York, USA) or TotalFill BC sealer sealer (TFBC; FKG, La Chaux-de-Fonds, Switzerland; Brasseler, Savannah, Georgia, USA) (Table 1), by the single cone technique.

Table 1 - Endodontic cements used in root canal fillings

Endodontic Cement	Manufacturer	Lot number and expiration date	Composition	Proportion
NeoMTA Plus (nMTAP)	Avalon Biomed Inc, Bradenton, FL, USA.	LOT: 2015040101 EXP: 02-18	Powder: tricalcium silicate, dicalcium silicate, tantalum oxide, tricalcium aluminate and calcium sulphate. Liquid: water-based gel with thickening agents and water soluble polymers.	1 dose powder: 1 drop gel (0.33g: 150uL)
TotalFill BC Sealer (TFBC)	TotalFill BC sealer (FKG, La Chaux-de-Fonds, Switzerland).	LOT: 15002SP EXP: 06-17	Pre-manipulated and ready-for-use, in a syringe containing zirconium oxide, calcium silicates, monobasic calcium phosphate, calcium hydroxide and thickening agents.	-----

### **Filling by the single cone technique**

The gutta percha cone size 40/.04 (Indústria Tanari Ltda., São Paulo, Brazil) were selected after measurement of size and conicity using profilometer (Profile Projector Nikon Model 6C-2). After radiographic analysis of the gutta percha cone in the WL, the nMTAP or TFBC cement was inserted into root canal by using a size 40 Lentulo spiral, (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Switzerland) and pre-curved K-file size 35 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland). After this, the gutta percha cone covered with the sealer was inserted into the root canal. The gutta percha and sealer were removed from pulp chamber by using a heated instrument, and vertical compaction was performed with NiTi condensers (Easy Equipamentos Odontológicos, Brazil). Radiographic analysis of the filling quality was performed.

Coronal cavity was sealed with restorative material Coltosol (Vigodent, Rio de Janeiro, Brazil) and were kept in an oven at a temperature of 37° C and 95% humidity for three days to complete setting of the filling sealers.

### **Micro-CT Analysis**

After preparation and filling of root canals, they were scanned (micro-CT; (SkyScan 1176; Bruker micro-CT, Kontich, Belgium). The parameters used were: copper and aluminum filter; 90 kV power; 278 mA energy; evolution cycle 180° and rotation 0.5, with 9 µm voxel size. The images obtained after preparation and filling were reconstructed using the Nrecon (NRecon v.1.6.10.4, Bruker Micro-CT) software. They were superimposed by means of geometric alignment in the Data Viewer (Data Viewer v.1.5.1, Bruker Micro-CT) software. The post-preparation volume (PV); filling material volume (FMV) and failure volume (FV) values were quantified applied specific task lists in the CTAn software (CTAn v.1.14.4, Bruker Micro-CT). The specific interval of the gray scale for identifying each object of study was determined in a density histogram of the software. This analysis was made at the length of 9 mm of the (total) extension of the root canal and at 3 mm of the cervical, middle and apical thirds. Calculation of the percentage of Filling Material Volume (%FMV), voids volume (FV) and percentage of voids (%F) values were calculated: [%FMV = (FMV x 100) / PV]; [FV = PV- FMV], [% F = (FV X 100) / PV]. The qualitative models in 3 D were obtained by means of the CTVol software (CTVol v. 2.0, Bruker Micro-CT).

## Statistical Analysis

The data obtained were submitted to the Shapiro-Wilk normality test using the Graph Pad Prism 7.00 software (GraphPad Software, Inc., California, USA). The root canal volume after preparation, percentage of filling material and percentage of voids were submitted to the Student's-*t* test. The ANOVA and Tukey tests were used for the comparisons using a 5% level of significance.

## Results

The root canal volumes after preparation were similar for the two experimental groups (Table 2,  $P > 0.5$ ). The root canals filled with nMTAP sealer showed a higher percentage of voids in all extension, and in the cervical and middle thirds, than root canals filled with TFBC sealer (Table 3,  $P < 0.5$ ). The apical third showed similar percentage of voids ( $P > 0.05$ ). The highest percentage of filling material was observed in the root canals filled with the TotalFill BC Sealer (Table 3,  $P < 0.5$ ) (Fig.1).

Table 2 - Total volume (mm<sup>3</sup>) and volume per root canal thirds after preparation  
Mean and Standard Deviation

		EXPERIMENTAL GROUPS	
		NeoMTA Plus	TotalFill BC Sealer
Volume after preparation (mm <sup>3</sup> )	Total	4.011 ± 0.7933	4.172 ± 0.6568
	Cervical	2.029 ± 0.4154	2.292 ± 0.2360
	Middle	1.301 ± 0.3418	1.445 ± 0.2426
	Apical	0.7424 ± 0.0467	0.607 ± 0.073

There was no statistical difference between the Groups (Student's-*t*; ANOVA; Tukey tests;  $P > .05$ ).

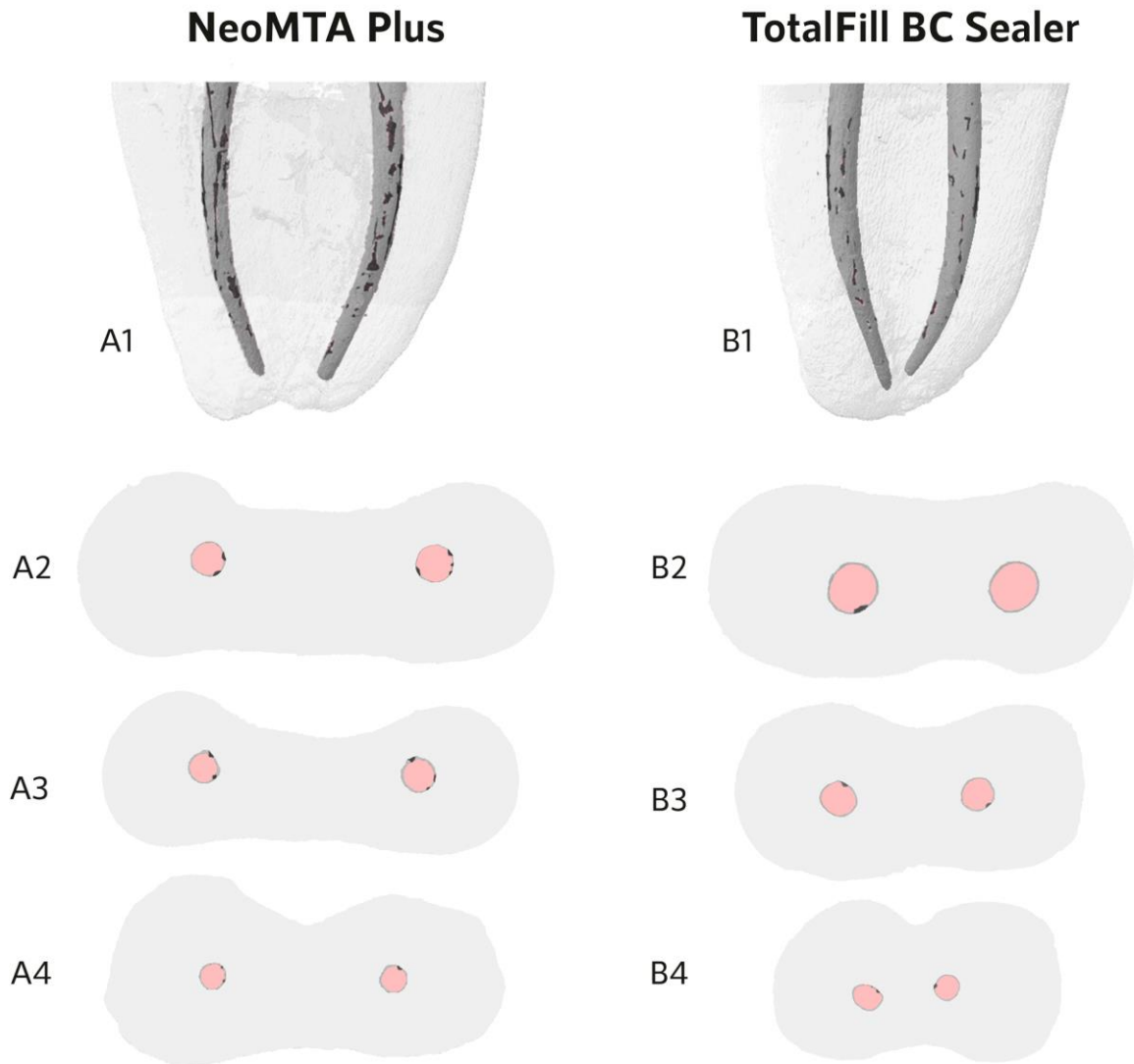


Table 3 - Percentage of voids and filling material in filling after using the single cone technique

		NeoMTA Plus Cement	Total Fill BC Sealer Cement
% failures	Total	15.99±5,576 <sup>a</sup>	8.700±6.048 <sup>b</sup>
	Cervical	17.49±5.528 <sup>aA</sup>	7.951±5.121 <sup>bA</sup>
	Middle	18.21±6.430 <sup>aA</sup>	11.16±7.379 <sup>bA</sup>
	Apical	10.70 ± 4.628 <sup>aB</sup>	7,814±4.835 <sup>aA</sup>
% filling material	Total	84.01±5,576 <sup>b</sup>	91.30±6,048 <sup>a</sup>
	Cervical	82.51±5.528 <sup>bB</sup>	92.05±5.121 <sup>aA</sup>
	Middle	81.79 (±6,430) <sup>bB</sup>	88.84±7.379 <sup>aA</sup>
	Apical	89.30±4.628 <sup>aA</sup>	92.19±4.835 <sup>aA</sup>

<sup>a,b</sup> Lower case letters represent in the same line represent statistical differences ( Student's-*t* test;  $P < .05$ ).

<sup>A, B</sup> Capital letters in the columns represent statistical differences between the thirds (cervical, middle, apical) (ANOVA and Tukey;  $P < .05$ ).



**Figure 1** - Three dimensional reconstructions of images obtained by Micro-CT, of mesial canals of mandibular molars filled by the single cone technique with NeoMTA Plus (A1) or TotalFill BC Sealer (B1). Axial sections of the mesial roots of mandibular molars by single cone associated with the NeoMTA Plus and TotalFill BC Sealer, respectively, in the following thirds: cervical (A2, B2), middle (A3, B3) and apical (A4, B4). Gutta percha (pink), cement (gray) and voids (black).

## Discussion

In the present study, the nMTAP sealer presented higher percentage of voids in the total extension of root canal and in the cervical and middle thirds, in comparison with the TFBC sealer. The apical third showed similar filling ability for both materials. Therefore, the null hypothesis was partly rejected. The single cone technique using TFBC sealer promoted better filling in the cervical and middle thirds. The greater flow of the TFBC sealer may have favored filling in these areas. Tanomaru et al (12) observed that TFBC had a higher flow rate in comparison with AHPlus and GuttaFlow Bioseal.

Filling with a single cone provided better filling in the apical portion of the root (21). However, this technique depends on correct adjustment of the gutta percha cone, diminishing the voids at the interface with the root canal wall (2). In the apical region, adaptation of the gutta percha cone to the apical preparation could diminish the influence of sealer flow, justifying the similar filling ability for the evaluated sealers in this third. In the present study, the gutta percha cones were selected after evaluation using a profilometer. Therefore, TFBC provided filling similar to nMTAP sealer in the apical third. A lower number of voids in the apical third was observed for the TFBC and AH Plus sealers (22).

Romania et al. (5) observed that the single cone technique promoted sealing of the apical third using gutta percha and AH Plus sealer. A Micro-CT study with voxel size of 17.42  $\mu\text{m}$  in curved root canals of mandibular molars showed similar filling for AH Plus using single cone or continuous wave of condensation (14).

nMTAP sealer showed deeper penetration into dentin at 5 mm from the apex when the single cone technique was used (10), and a lower amount of extrusion (6). Endosequence BC Sealer has composition similar to TFBC and higher flow rate in comparison to AHPlus (23). The flow may result in greater adhesion to dentin (24).

In the present study, the voxel size of 9  $\mu\text{m}$  was used for micro-CT, providing greater capacity for evaluating filling and voids (17). nMTA and TFBC provided similar filling ability in the apical third (Fig. 1), showing 10.70% and 7.81% of voids, respectively. There are no studies evaluating the percentage of voids and filling for nMTAP and TFBC sealers, by using micro-CT.

In micro-CT, resolutions of images with a voxel size of 11.2  $\mu\text{m}$  contributed to better detection of voids in fillings, however, 16.73  $\mu\text{m}$  may not be proper to correct evaluation (25).

Kim et al (26) observed that the micro-CT analysis, with 30  $\mu\text{m}$  resolution, that small voids were not detected because they could be smaller than the scan voxel size.

The root canal preparations were performed using NiTi HFEDM up to size 40/.04. Enlargement allows infected dentin removal, favoring the irrigation and apical root cleaning (4). HFEDM has greater flexibility and cyclic fatigue resistance (27) and maintain centralization in curved canals (3).

Calcium trisilicate-based sealers are biocompatible and show antimicrobial properties (28), provide proper flow (6, 12) and dentin penetrability (10,13). However, neither of the two sealers were capable of completely filling the root canals.

## **Conclusion**

The TotalFill BC Sealer showed better filling of mesial root canals of mandibular molars obturated by single cone technique, in comparison with the NeoMTAPlus sealer. In the apical thirds, the sealers provided similar filling of the root canals.

## **References**

1. Cavenago BC, Duarte MA, Ordinola-Zapata R, et al. Interfacial adaptation of an epoxy-resin sealer and a self-etch sealer to root canal dentin using the System B or the single cone technique. *Braz Dent J* 2012;23:205–11.
2. Chesler MB, TordiK PA, Imamura GM, Goodell GG. Intramanufacturer diameter and taper variability of rotary instruments and their corresponding Gutta-Percha cones. *J Endod* 2013;39:538–41.
3. Jatahy Ferreira do Amaral RO, Leonardi DP, Gabardo MC, et al. Influence of Cervical and Apical Enlargement Associated with the WaveOne System on the Transportation and Centralization of Endodontic Preparations. *J Endod* 2018;42: 626–31.

4. Marinho AC, Martinho FC, Zaia AA, Ferraz CC, Gomes BP. Influence of the apical enlargement size on the endotoxin level reduction of dental root canals. *J Appl Oral Sci* 2012;20:661–6.
5. Romania C, Beltes P, Boutsoukis C, Dandakia C. Ex-vivo area-metric analysis of root canal obturation using gutta-percha cones of different taper. *Int Endod J* 2009;42:491–8.
6. Tran D, He J, Glickman GN, Woodmansey KF. Comparative Analysis of Calcium Silicate-based Root Filling Materials Using an Open Apex Model. *J Endod* 2016;42:654–8.
7. Peng W, Liu W, Zhai W, et al. Effect of tricalcium silicate on the proliferation and odontogenic differentiation of human dental pulp cells. *J Endod* 2011;37:1240–6.
8. Camilleri J. Staining Potential of Neo MTA Plus, MTA Plus, an Biodentine Used for Pulpotomy Procedures. *J Endod* 2015;41:1139–45.
9. Tanomaru-Filho M, Andrade AS, Rodrigues EM, et al. Biocompatibility and mineralized nodule formation of Neo MTA Plus and an experimental tricalcium silicate cement containing tantalum oxide. *Int Endod J* 2017;50:31-9.
10. McMichael GE, Primus CM, Opperman LA. Dentinal tubule penetration of tricalcium silicate sealers. *J Endod* 2016;42:632–6.
11. Hess D, Solomon E, Spears R, He J. Retreatability of a bioceramic root canal sealing material. *J Endod* 2011;37:1547–9.
12. Tanomaru-Filho M, Torres FFE, Chávez-Andrade GM, et al. Physicochemical Properties and Volumetric Change of Silicone/Bioactive Glass and Calcium Silicate-based Endodontic Sealers. *J Endod* 2017;43:2097-2101.
13. Agrafioti A, Koursoumis AD, Kontakiotis EG. Re-establishing apical patency after obturation with gutta-percha and two novel calcium silicate-based sealers. *Eur J Dent* 2015;9:457– 61.
14. Iglecias EF, Freire LG, de Miranda Candeiro GT, et al. Presence of Voids after Continuous Wave of Condensation and Single-cone Obturation in Mandibular Molars: A Micro-computed Tomography Analysis. *J Endod* 2017;43:638– 42.
15. Celikten B, Uzuntas CF, Orhan AI, et al. Evaluation of Root Canal Sealer Filling Quality Using a Single-Cone Technique in Oval Shaped Canals: An In Vitro Micro-CT Study. *Scanning* 2016;38:133– 40.

16. Huang Y, Celikten B, de Faria Vasconcelos K, et al. Micro-CT and nano-CT analysis of filling quality of three different endodontic sealers. *Dentomaxillofac Radiol.* 2017;46:20170223.
17. Kierklo A, Tabor Z, Pawińska M, et al. Microcomputed tomography-based comparison of root canal filling quality following different instrumentation and obturation techniques. *Med Princ Pract* 2015;24:84–91.
18. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1984;58:589–99.
19. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971;32:271–75.
20. Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 1997;23:77–85.
21. Wu MK, Bud MG, Wesselink PR. The quality of single cone and laterally compacted gutta-percha fillings in small and curved root canals as evidenced by bidirectional radiographs and fluid transport measurements. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009;108:946–51.
22. Germain S, Meetu K, Issam K, Alfred N, Carla Z. Impact of the Root Canal Taper on the Apical Adaptability of Sealers used in a Single-cone Technique: A Micro-computed Tomography Study. *J Contemp Dent Pract.* 2018;19:808–15.
23. Candeiro GT, Correia FC, Duarte MA, Ribeiro-Siqueira DC, Gavini G. Evaluation of radiopacity, pH, release of calcium ions, and flow of a bioceramic root canal sealer. *J Endod.* 2012;38:842–5.
24. Yap WY, Che Ab Aziz ZA, Azami NH, Al-Haddad AY, Khan AA. An in vitro Comparison of Bond Strength of Different Sealers/Obturation Systems to Root Dentin Using the Push-Out Test at 2 Weeks and 3 Months after Obturation. *Med Princ Pract* 2017;26:464–9.
25. Orhan K, Jacobs R, Celikten B, et al. Evaluation of Threshold Values for Root Canal Filling Voids in Micro-CT and Nano-CT Images. *Scanning.* 2018;2018:943756.
26. Kim JA, Hwang YC, Rosa V, et al. Root canal filling quality of a premixed calcium silicate endodontic sealer applied using gutta-percha cone-mediated ultrasonic activation. *J Endod* 2018;44:133–38.

27. Gündogar M, Özyürek T. Cyclic Fatigue Resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue Nickel-titanium Instruments. *J Endod* 2017;43:1192–6.
28. Alsubait S, Albader S, Alajlan N, et al. Comparison of the antibacterial activity of calcium silicate- and epoxy resin-based endodontic sealers against *Enterococcus faecalis* biofilms: a confocal laser-scanning microscopy analysis. *Odontology*. 2019;107:513–20.

### 3.5 Publicação 5\*

#### Efetividade na desinfecção do sistema de canais radiculares por instrumentos rotatórios de NiTi com tratamento térmico: estudo ex-vivo

##### Resumo

**Objetivo** Avaliar a efetividade do preparo com instrumentos rotatórios de NiTi com tratamento térmico e irrigação com hipoclorito de sódio (NaOCl) ou solução salina (SS) na desinfecção do sistema de canais radiculares (SCR) em canais distais ovais de molares inferiores.

**Metodologia** Canais distais ovais (n = 50) de molares inferiores, com canal único e reto foram instrumentados com lima ProDesign Logic (PDL) tamanho 25, .04 taper para padronização da contaminação com *Enterococcus faecalis* (ATCC 29121) por 21 dias. Os canais (n = 10) foram preparados com: ProDesign Logic 25, .06 + 40, .05 (PDL) ou HyFlex EDM 25, .08 + 40, .04 (HFEDM) determinando 4 grupos experimentais: PDL/SS; PDL/NaOCl; HFEDM/SS; HFEDM/NaOCl e 2 grupos controles (n = 5): C+ (inóculo bacteriano) e C- (meio de cultura estéril). Após coletas microbiológicas: (C1-inicial; C2-pós-instrumentação e C3-final, após 7 dias do preparo), foi determinado o número de UFC mL<sup>-1</sup> log<sub>10</sub>. Slices dos terços cervical, médio e apical foram corados com *Dead/Live* para análise em microscopia confocal de varredura a laser (MCVL).

**Resultados** Na C1, a contaminação foi similar para os grupos (P > 0,05). Na C2, PDL/NaOCl e HFEDM/NaOCl promoveram eliminação microbiana; PDL/SS e HFEDM/SS mostraram remanescente bacteriano similar (P > 0,05) e menor que C+ que mostrou maior contagem bacteriana (P < 0,05). Na C3, os grupos experimentais foram similares ao C+ (P > 0,05). Em MCVL, PDL/NaOCl e HFEDM/NaOCl mostraram poucas células bacterianas viáveis nas paredes dos canais radiculares (fluorescência verde) e mortas (fluorescência vermelha) e maior quantidade de células mortas nos túbulos dentinários. PDL/SS, HFEDM/SS e no C- foi observado maior proporção de células viáveis nas paredes e túbulos dentinários.

**Conclusão** Instrumentos ProDesign Logic ou HyFlex EDM associados com NaOCl promovem completa desinfecção do canal radicular imediatamente após preparo. Porém não são efetivos atuação sobre *E. faecalis* no sistema de canais radiculares.

**Palavras-Chave:** desinfecção, *Enterococcus faecalis*, instrumentos rotatórios, preparo do canal radicular, irrigantes do canal radicular.

---

\* Artigo nas normas do periódico International Endodontic Journal.



## Introdução

Instrumentos de níquel e titânio (NiTi) com tratamento térmico apresentam flexibilidade e resistência à fadiga cíclica (Gündogar & Özyürek 2017), permitindo maior dilatação para remoção de dentina infectada e favorecendo ação do irrigante e limpeza apical radicular (Marinho *et al.* 2012). No entanto, áreas não instrumentadas são observadas em canais ovais após preparo com instrumentos rotatórios (Paqué *et al.* 2010, Espir *et al.* 2018). Micro-organismos e tecido necrótico permanecem em áreas não tocadas durante o preparo (Ricucci *et al.* 2009), dificultando a desinfecção dos canais radiculares (Alves *et al.* 2011).

Instrumentos HyFlex EDM (HFEDM; Coltene-Whaledent, Altstätten, Suíça) apresentam tratamento térmico e tratamento de superfície EDM (Pedullà *et al.* 2016). Esse processo proporciona ao instrumento uma superfície resistente com melhor propriedade mecânica (Pedullà *et al.* 2016, Iacono *et al.* 2017), flexibilidade e resistência à fadiga cíclica (Gündogar & Özyürek 2017). HyFlex EDM proporciona preparos centralizados em canais curvos (Jatahy *et al.* 2016), menor percentual de áreas não instrumentadas no terço apical (Rubio *et al.* 2017) e não induz formação de microtrincas dentinárias (Brayam *et al.* 2017). HyFlex EDM promove menor extrusão de detritos para o periápice em relação ao Reciproc Blue (Uslu *et al.* 2018).

Instrumentos ProDesign Logic (PDL; Easy Equipamentos Odontológicos, Belo Horizonte, MG, Brasil) apresentam tratamento térmico CM, proporcionando maior resistência à fadiga cíclica (de Menezes *et al.* 2017) e preparos centrados (Pinheiro *et al.* 2018). PDL demonstrou similar porcentagem de debris, aumento volumétrico e área não instrumentada em relação ao Reciproc, ProTaper Next e WaveOne Gold (Stringheta *et al.* 2019).

O preparo com instrumentos de NiTi em associação com soluções antimicrobianas, reduz ou elimina bactérias dos canais radiculares (Siqueira *et al.* 2002). Redução do número de *Streptococcus* e *E. faecalis* foi observada logo após preparo com instrumentos tamanho #40 associado ao NaOCl a 1% (Zandi *et al.* 2016). Alves *et al.* (2012) demonstraram 99,9% de redução bacteriana realizando análise imediatamente após preparo Reciproc/NaOCl a 2,5% e BioRace/NaOCl a 2,5%. Porém, a coleta bacteriana com cones de papel, permite a recuperação de bactérias presentes apenas na luz do canal radicular (Alves *et al.* 2009, Aranda-Garcia *et al.* 2012, Guerreiro-Tanomaru *et al.* 2015, Chávez-Andrade *et al.* 2017)

sendo importante a avaliação da infecção residual no sistema de canais radiculares após preparo (Tenert *et al.* 2014).

A desinfecção do sistema de canais radiculares pode ser avaliada por método de coleta por contagem de UFC mL<sup>-1</sup> log 10, logo após o preparo com instrumentos rotatórios de NiTi (Alves *et al.* 2012, Marinho *et al.* 2015) e após 7 dias do preparo sendo possível observar a desinfecção no sistema de canais radiculares (Aranda-Garcia *et al.* 2012, Machado *et al.* 2013). Não existem estudos que avaliem a efetividade de preparos com instrumentos de NiTi ProDesign Logic e HyFlex EDM associados com solução irrigadora na desinfecção do canal e no sistema de canais radiculares.

O objetivo deste estudo foi avaliar a efetividade dos instrumentos de NiTi associados ao hipoclorito de sódio (NaOCl a 2,5%) na desinfecção de canais radiculares distais de molares inferiores extraídos contaminados com *E. faecalis*. A primeira hipótese nula é a que não há diferença entre os instrumentos avaliados. A segunda hipótese nula é que não há diferença entre os protocolos dos instrumentos associados com soluções irrigantes na desinfecção do SCR.

## **Materiais e Métodos**

Após aprovação do Comitê de Ética da Faculdade de Odontologia, UNESP, Brasil (CAAE: 02733718.0.0000.5416) (Anexo A), cinquenta raízes distais de primeiros e segundos molares inferiores extraídos com canal único, oval e reto foram selecionados. Foi realizada radiografia digital (Kodak RVG 6100, Kodak Dental Systems, NY, USA) pré-operatória no sentido vestibulo-lingual e mesio-distal a fim de se comprovar a inexistência de duplicidade de canais, ausência de curvatura ou outras condições que não permitam relativa uniformidade da amostra. A relação de distância (RD) foi obtida medindo o comprimento mesio-distal e vestibulo-lingual do canal radicular. O canal distal oval foi selecionado quando a distância vestibulo-lingual foi 2 a 4 vezes maior que a distância mesiodistal ( $2 \leq RD \leq 4$ ).

As raízes distais foram seccionadas longitudinalmente e as coroas cortadas na junção cimento-esmalte em máquina de precisão Isomet 1000 (Buehler, Lake Bluff, IL, EUA), padronizando o comprimento radicular em 11 mm. O comprimento de trabalho (CT) foi determinado em 10 mm utilizando uma lima K #15 (Dentsply, Maillefer, Suíça) a 1 mm aquém do forame apical e o batente apical foi padronizado

inicialmente com instrumentos rotatórios ProDesign Logic (PDL) (Easy Equipamentos Odontológicos, Brasil) tamanho 25, .04 *taper*. A irrigação manual foi realizada com 2,5 mL de água destilada, utilizando uma seringa de 5 mL (Ultradent Products, EUA) e agulhas de irrigação NaviTip 29G (Ultradent Products, Inc, South Jordan, Utah, USA).

A região apical das raízes distais foi selada com resina composta fotopolimerizável (3M ESPE, St. Paul, EUA) e a superfície radicular externa impermeabilizada com duas camadas de adesivo epóxi Araldite (Brascola, Joinville, SC, Brasil), exceto o acesso ao canal radicular (Guerreiro-Tanomaru *et al.* 2015). Os espécimes foram fixados em blocos de resina acrílica autopolimerizável JET (Artigos Odontológicos Clássico LTDA, São Paulo, SP, Brasil), confeccionados a partir de moldes à base de silicone por condensação (Zetaplus, Oranwash, Zhermack SpA, Badia Polesine, Itália) no comprimento de 12 mm, afim de obter melhor manejo e evitar contaminação das raízes por contato. Estes blocos contendo as raízes foram adaptadas em tubos de polietileno para posterior armazenagem, em seguida os espécimes foram dispostos em um becker com água destilada e esterilizados em autoclave a 121°C por 20 minutos.

### **Contaminação das raízes com *Enterococcus faecalis***

Os procedimentos microbiológicos foram realizados em câmara de fluxo laminar (Telstar Technologies, S.L.–BV 100, Terrassa, Espanha), sob condições assépticas, e as cepas padrão de *E. faecalis* (ATCC 29212) foram reativadas por 6 horas. Após esse período, os espécimes foram depositados em tubos falcon de 50 mL e adicionado 25 mL de meio *Tryptic Soy Broth* - TSB (Disco, Detroit, MI, EUA). Uma suspensão bacteriana foi preparada em solução salina estéril, com densidade óptica ajustada em espectrofotômetro (modelo 600 Plus; Femto, São Paulo, SP, Brasil) a uma concentração equivalente a  $6 \times 10^7$  UFC mL<sup>-1</sup> e adicionada ao tubo Falcon contendo os espécimes, com exceção do tubo controle negativo, que permaneceram com solução esterilizada. Após o período de incubação de 24 h a 37 °C, os tubos de falcon foram centrifugados duas vezes em cada rpm, por 5 min (1.400; 2.000; 3.600; 5.600 rpm), em seguida foi realizada troca de metade do meio de cultura, utilizando a técnica de Ma *et al.* (2011) modificada. Este protocolo de centrifugação foi repetido no quarto e sexto dias e trocas de metade do volume do meio de cultura foram realizadas a cada 2 dia. O período de contaminação foi realizado por 21 dias

(Guerreiro-Tanomaru *et al.* 2015). O grupo controle negativo, onde os espécimes ficaram em meio de cultura estéril foi mantido durante todo experimento e nos mostrou a efetividade da esterilização utilizada.

Após o período de contaminação, a coleta inicial (C1) de todos os canais radiculares foi realizada, introduzindo sequencialmente dois cones de papel absorventes estéreis de tamanho 25. (Tanari Industrial Ltda., SP, Brasil) por espécime no CT durante 1 minuto e posteriormente, foram transferidos para microtubos (Eppendorf) contendo 1 mL de solução salina estéril.

Os microtubos foram agitados por 1 minuto em vortex (AP56, Phoenix, Araraquara, SP, Brasil). Em seguida, diluições decimais seriadas e alíquotas de 20 µL foram semeadas em triplicata em placas de Petri contendo meio Tryptic Soy Agar-TSa. As placas foram incubadas em microaerofilia a 37 °C por 48 h. O crescimento bacteriano foi determinado pela contagem de UFC mL<sup>-1</sup>.

### **Instrumentação dos canais radiculares**

O preparo químico-mecânico dos canais foi realizado conforme o instrumento rotatório de NiTi a ser utilizado (PDL ou HEDM) e a substância química auxiliar a ser empregada: NaOCl a 2,5% ou solução salina (cloreto de sódio a 0,85%). Esses sistemas foram acionados por um contra-ângulo redutor e motor elétrico VDW *Silver* (VDW, Munich, Germany). Torque e velocidade foi empregado conforme preconizado por cada fabricante: PDL 25, .06 e 40, .05 - torque 4 e velocidade de 950 rpm; e HFEDM 25, .08 e 40, .04 - torque 2,5 e velocidade de 500 rpm. Cada canal foi preparado com um instrumento novo, em movimentos de entrada e saída até o comprimento de trabalho (CT). Um movimento de pincelamento foi realizado na zona de segurança (parede mesial) com amplitude média de 3 mm, totalizando três movimentos: mesial, mesio-vestibular e mesio-lingual.

Os protocolos de irrigação foram realizados com seringa de 5 mL (Ultradent Products, South Jordan, UT, EUA) e agulha de irrigação 29-G (NaviTip - Ponta Dupla Irrigador Sideport, Ultradent Products, EUA), a 1 mm aquém do CT. Os espécimes foram distribuídos aleatoriamente em 4 grupos segundo protocolos de instrumentação realizados: (n = 10): PDL/SS- PDL 25, .06 + 3 mL solução salina (SS) + PDL 40, .05 + 3 mL SS; PDL/NaOCl- PDL 25, .06 + 5 mL de NaOCl 2,5% + PDL 40, .05 + 5 mL de NaOCl 2,5% + 1 mL de EDTA a 17% (agitado com LK #40 por 3 min); HEDM/SS- HEDM 25, .08 + 3 mL SS + HEDM 40, .04 + 3

mL SS; HEDM/NaOCl- HEDM 25, .08 + 5 mL de NaOCl 2,5% + HEDM 40, .04 + 5 mL NaOCl 2,5% + 1 mL de EDTA a 17% (agitado com LK #40 por 3 min); e 2 grupos controles (n = 5): C+ (inóculo bacteriano); C- (meio de cultura estéril).

Após instrumentação, os espécimes que foram irrigados com NaOCl a 2,5%, receberam 1 mL de solução de tiosulfato de sódio a 1% por 1 minuto, utilizado como agente neutralizante e os instrumentados com salina, 1mL de salina. Em seguida, foi realizada a coleta pós-instrumentação (C2) da mesma forma que a coleta inicial porém, utilizando cones de papel absorvente tamanho 40. Os canais radiculares dos espécimes foram preenchidos com solução salina estéril e armazenados em microtubo de polietileno com 200µL com salina no fundo do tubo sem tocar o espécime para proporcionar umidade e incubados em ambiente microaerófilo a 37 °C por 7 dias. Após este período, foi realizada a coleta final (C3 seguindo o mesmo protocolo da coleta C2. Após plaqueamento e incubação por 48h, a contagem de UFC mL<sup>-1</sup> log<sub>10</sub> foi realizada.

### **Microscopia confocal de varredura a laser (MCVL)**

No dia da coleta C3, dois espécimes de cada grupo foram seccionados em cortes transversais em máquina de precisão Isomet 1000 (Buehler, Lake Bluff, IL. EUA), obtendo dois slices de cada terço (cervical, médio e apical). Os slices foram lavados com EDTA a 17% por 3 min e foram coradas com corante *LIVE/DEAD BacLight Bacterial Viability stain* (Molecular Probes, Eugene, OR) para serem visualizadas no aparelho Microscópio de Fluorescência Confocal (Carl Zeiss LSM 800 com Airyscan) (MCVL), Oberkochen, Alemanha. Foi utilizada objetiva de 10x em imersão à óleo e foram geradas imagens em fomato *Tiff*, do biofilme na parede dos canais radiculares e dos túbulos dentinários para exibir a fluorêscencia verde (células vivas) e flurescência vermelha (células mortas), com a finalidade de observar as bactérias não viáveis nos túbulos dentinários.

A quantidade de células bacterianas mortas (fluorescência vermelha) nos túbulos dentinários foi analisada por escores, como segue: Escore 0: 0% de células bacterianas mortas; escore 1: 25% de células bacterianas mortas; Escore 3: 75% de células bacterianas mortas; e escore 4: túbulos dentinários completamente cobertos por células bacterianas mortas.

**Tabela 1-** Grupos experimentais

Instrumento	Solução Irrigadora	Volume Total	n
PDL 25, .06+ 40, .05	Solução Salina (SS)	6 mL	10
PDL 25, .06+ 40, .05	NaOCl 2,5% (NaOCl)	6 mL	10
HFEDM 25, .08 + 40, .04	Solução Salina (SS)	6 mL	10
HFEDM 25, .08 + 40, .04	NaOCl 2,5% (NaOCl)	6 mL	10
Controle negativo	-	-	5
Controle positivo	-	-	5

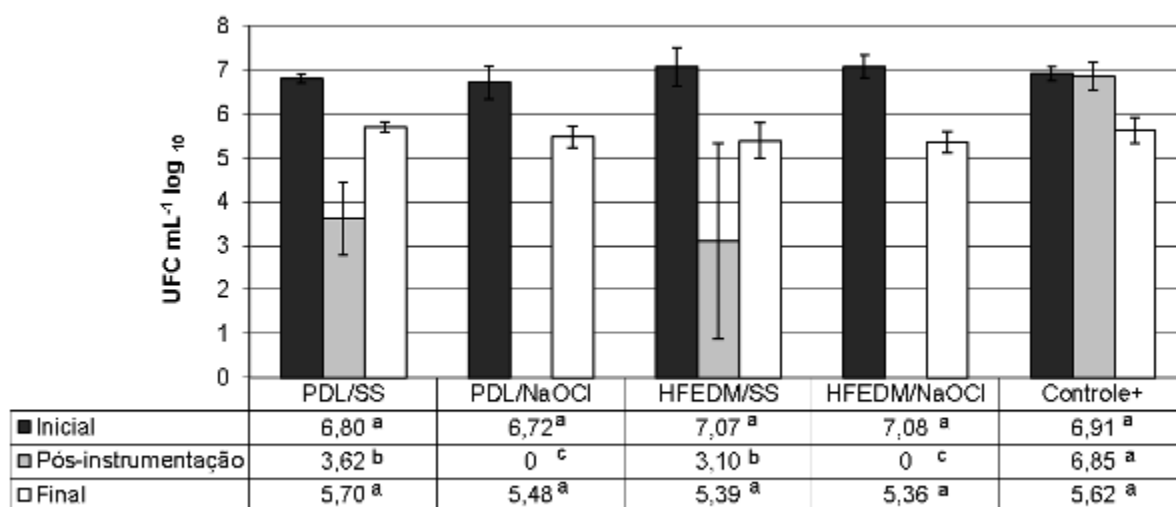
PDL, ProDesign Logic; HFEDM, HyFlex EDM; SS, solução salina; NaOCl, solução de hipoclorito de sódio; volume total, volume de solução irrigadora (6 mL); n = número de espécimes.

### Análise estatística

Para a comparar os grupos de sistemas de instrumentação associados as soluções irrigantes por análise em UFC mL<sup>-1</sup>, os dados obtidos foram submetidos à transformação logarítmica de base-10 e analisados usando os testes ANOVA e Tukey e para a análise em MCVL, os dados foram submetidos aos testes Kruskal-Wallis e Dunn ( $p < 0,05$ ).

### Resultados

A contaminação dos espécimes com a cepa de *E. faecalis* foi confirmada na coleta inicial após 21 dias de incubação, em que todos os grupos tiveram uma UFC mL<sup>-1</sup> log<sub>10</sub> similar ( $P > 0,05$ ), de acordo com a figura 1. A viabilidade bacteriana no controle positivo (C+) foi confirmada em todo o período experimental, como foi mostrado na coleta inicial, pós-instrumentação e coleta final ( $P > 0,05$ , Figura 1). Na coleta pós-instrumentação, houve diferença significativa entre C + e os outros grupos, o qual mostrou maior contagem bacteriana ( $P < 0,05$ , Figura 1). Os grupos PDL/NaOCl e HFEDM/NaOCl proporcionaram inibição do crescimento bacteriano, sem diferença estatística entre eles ( $P > 0,05$ , Figura 1) e PDL/SS e HFEDM/SS mostraram crescimento bacteriano similar ( $P > 0,05$ , Figura 1). Na coleta final, os grupos experimentais foram similares ao C+ ( $p > 0,05$ , Figura 1). O controle negativo (C-) não mostrou crescimento bacteriano durante todo o experimento.



**Figura 1** Comparação entre os grupos nas coletas inicial, pós-instrumentação e final (média de UFC por mL<sup>-1</sup> em log<sub>10</sub>). Letras minúsculas iguais na mesma linha indicam valores médios estatisticamente semelhantes ( $P > 0,05$ ). PDL/SS- ProDesign Logic/Solução Salina, PDL/NaOCI- ProDesign Logic/ Hipoclorito de Sódio, HFEDM/SS- HyFlex EDM/ Solução Salina, HFEDM/NaOCI- HyFlex EDM/ Hipoclorito de Sódio, Controle + (Controle Positivo).

Os resultados da análise em escores estão representados na Tabela 2. Nos terços apical, médio e cervical dos grupos HFEDM/NaOCI e PDL/NaOCI foi observado maior quantidade de células bacterianas mortas (fluorescência vermelha) no interior dos túbulos dentinários (escore 2) (figura 2-a) quando comparado aos terços dos grupos HFEDM/SS, PDL/SS e controle, com diferença estatística entre os terços de cada grupo ( $p > 0,05$ ).

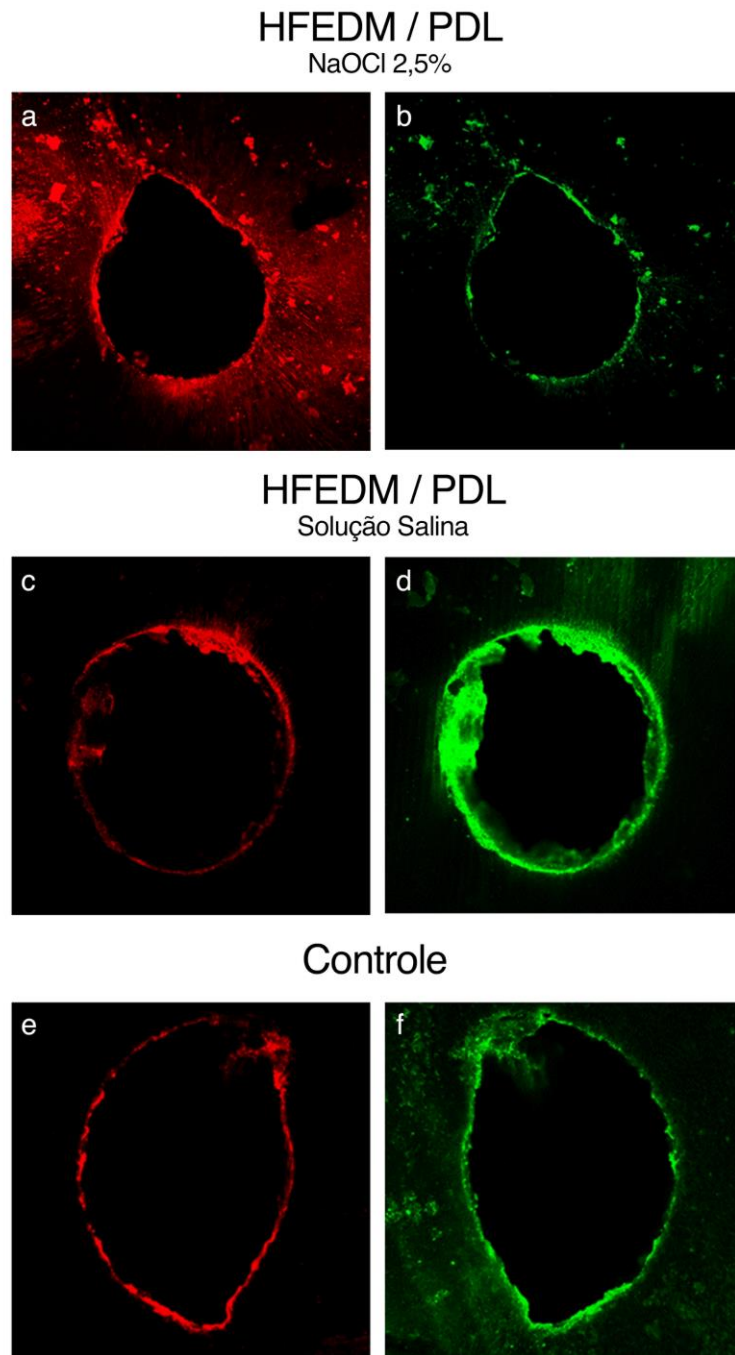
Ao comparar os grupos de instrumentação associados com solução salina entre si e com o grupo controle, não houve diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ), porém HFEDM/SS e PDL/SS (figura 2-c), apresentaram escore 0 (terço apical e médio) e escore 1 (terço apical), e no grupo controle (figura 2-e) foi observado predominância de escore 0 (em todos os terços) ( $p < 0,05$ ).

Tabela 2. Valores de mediana, primeiro e terceiro quartil, e valores de mínimo e máximo do grupo controle / grupos experimentais dos scores atribuídos, após o uso de diferentes protocolos de instrumentação associados a soluções irrigantes

Grupos	Terços	Mediana	Q1 - Q3	Min - Max
HFEDM/NaOCl	Apical	2,0 <sup>aA</sup>	2,0 – 2,25	2,0 – 3,0
	Médio	2,0 <sup>aA</sup>	2,0 – 2,25	2,0 – 3,0
	Cervical	2,0 <sup>aA</sup>	2,0 – 3,0	2,0 – 3,0
HFEDM/Soro	Apical	0,0 <sup>bA</sup>	0,0 – 0,25	0,0 – 1,0
	Médio	0,0 <sup>bA</sup>	0,0 – 1,0	0,0 – 1,0
	Cervical	1,0 <sup>bA</sup>	0,0 – 1,0	0,0 – 1,0
PDL/NaOCl	Apical	2,0 <sup>aA</sup>	2,0 – 2,25	2,0 – 3,0
	Médio	2,0 <sup>aA</sup>	2,0 – 3,0	2,0 – 3,0
	Cervical	2,0 <sup>aA</sup>	2,0 – 3,0	2,0 – 3,0
PDL/Soro	Apical	0,0 <sup>bA</sup>	0,0 – 0,25	0,0 – 1,0
	Médio	0,0 <sup>bA</sup>	0,0 – 1,0	0,0 – 1,0
	Cervical	1,0 <sup>bA</sup>	0,0 – 1,0	0,0 – 1,0
Controle	Apical	0,0 <sup>bA</sup>	0,0 – 0,0	0,0 – 0,0
	Médio	0,0 <sup>bA</sup>	0,0 – 0,0	0,0 – 0,0
	Cervical	0,0 <sup>bA</sup>	0,0 – 0,0	0,0 – 0,0

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significantes entre os terços (apical, médio, cervical) de cada grupo (Kruskal-Wallis e Dunn;  $P < 0.05$ ). Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significantes entre os terços (apical, médio e cervical) do mesmo grupo (Kruskal-Wallis e Dunn;  $P < 0.05$ ).





**Figura 2.** Imagens representativas de microscopia confocal de varredura a laser (MCVL) das células bacterianas mortas (fluorescência vermelha) e das células bacterianas vivas (fluorescência verde) nos túbulos dentinários dos grupos experimentais: HFEDM/NaOCI e PDL/NaOCI (figura 2- a;b), HFEDM/Solução salina e PDL/Solução Salina (figura 2- c;d), e o grupo controle (figura 2- e;f) (aumento 10x).

## Discussão

Os resultados indicaram, que na coleta pós-instrumentação, PDL/SS e HFEDM/SS mostraram crescimento bacteriano similar e PDL/NaOCl e HFEDM/NaOCl promoveram desinfecção completa nos canais radiculares. O controle positivo mostrou maior contagem bacteriana. Na coleta final, os grupos experimentais foram similares ao grupo controle positivo. A primeira hipótese nula ( $H_0$ ) proposta foi aceita, PDL/SS e HFEDM/SS mostraram que não há diferença entre os instrumentos testados em relação a efetividade na desinfecção dos canais radiculares. A segunda hipótese nula foi rejeitada, PDL/NaOCl e HFEDM/NaOCl promoveram completa desinfecção do canal radicular, enquanto PDL/SS e HFEDM/SS não eliminaram os micro-organismos dos canais radiculares.

A metodologia utilizada neste estudo simula a infecção clínica no SCR, utilizando *E. faecalis* no período de incubação de 21 dias, conforme descrito em estudo (Guerreiro-Tanomaru *et al.* 2015). O conteúdo bacteriano do canal radicular foi coletado introduzindo sequencialmente dois cones de papel absorventes estéreis, de acordo com Guerreiro-Tanomaru *et al.* (2015), Martinho *et al.* (2015) e Üreyen Kaya *et al.* (2019). Após coleta pós-instrumentação, HyFlex EDM proporcionou maior redução bacteriana que WaveOne Gold na desinfecção de *E. faecalis* presentes na luz do canal radicular (Üreyen Kaya *et al.* 2019). Alves *et al.* (2012), mostrou após coleta, diminuição imediata significativa de 99,9% da carga bacteriana dos canais radiculares após protocolo com Reciproc/NaOCl 2,5% e BioRace/NaOCl a 2,5%.

Coleta com cones de papel permite a recuperação de bactérias presentes apenas na luz do canal radicular (Alves *et al.* 2009). Na coleta final, realizada 7 dias após o protocolo de instrumentação, mostrou permanência de bactérias viáveis dentro do SCR (Figura 1 e 2). Os grupos PDL/NaOCl e HFEDM/NaOCl foram efetivos na desinfecção completa dos canais radiculares (imediatamente após preparo), mas não atuaram completamente sobre *E. faecalis* do SCR. Outros estudos também observaram resistência deste micro-organismo após 7 dias do protocolo de irrigação com NaOCl no SCR (Aranda-Garcia *et al.* 2012, Guerreiro-Tanomaru *et al.* 2015). Esses micro-organismos penetram nos túbulos dentinários e podem sobreviver no SCR após tratamento endodôntico (Tenert *et al.* 2014).

É possível observar na imagem de fluorescência vermelha (figura 2- a), maior quantidade de células bacterianas mortas presentes no interior dos túbulos

dentinários após o protocolo de instrumentação (PDL e HFEDM) associado ao NaOCl a 2,5%. Na figura 2-c;d, relacionada aos grupos PDL e HFEDM com solução salina, mostra menor proporção de bactérias mortas no interior túbulos dentinários (figura 2-c), assim, prevalecendo as células viáveis (figura 2- d). O grupo controle (figura 2e), não há frequência de células bacterianas mortas nos túbulos dentinários. Concordando com nosso estudo, Wu *et al.* (2014) observaram em MCVL que após preparo com NaOCl a 2%, os biofilmes de *E. faecalis* foram eliminados, porém com alguma proporção de bactérias viáveis na parede radicular e biofilmes de *E. faecalis* permaneceram intactos na superfície dentinária após uso de solução salina (fluorescência verde) (Wu *et al.* 2014).

A metodologia desse estudo permitiu padronização de espécimes. Isto foi confirmado pois a contagem bacteriana na coleta inicial foi homogênea. A efetividade da desinfecção dos instrumentos rotatórios de NiTi associada com soluções irrigantes foi avaliada em canais com ampliação apical tamanho 40. Preparos maiores diminuem áreas não instrumentadas (Peters *et al.* 2015), permitem a penetração mais profunda da agulha para o terço apical (Marinho *et al.* 2012). A associação da ampliação apical e o uso de NaOCl reduziu a carga bacteriana no interior dos canais (Rodrigues *et al.* 2017).

PDL/SS e HFEDM/SS forma similares em relação ao crescimento bacteriano (Figura 1). Os instrumentos PDL e HFEDM atuaram de forma similar na desinfecção dos canais distais ovais. Os instrumentos NiTi tratados termicamente (ProDesign Logic) apresentam maior flexibilidade e resistência à fadiga cíclica (Alcalde *et al.* 2018) e promovem preparos mais centrados em canais curvos (Pinheiro *et al.* 2018). HyFlex EDM apresenta superfície rugosa e melhores propriedades mecânicas (Iacono *et al.* 2017). Esse é o primeiro estudo que avalia o sistema PDL e HyFlex EDM em canais distais ovais com uma dilatação até o instrumento 40 em associação a soluções irrigadoras.

Porém, preparo apenas com instrumentos de NiTi não é suficiente para eliminação bacteriana (Marinho *et al.* 2015, Üreyen Kaya *et al.* 2018). Áreas não instrumentadas em canais ovais após preparo com instrumentos rotatórios são observadas (Paqué *et al.* 2010, Espir *et al.* 2018) e pode favorecer a retenção de bactérias remanescentes e tecido pulpar (Siqueira *et al.* 2013, Zhao *et al.* 2014). NaOCl é bastante efetivo na redução da carga bacteriana (Janani *et al.* 2017), atua como solvente de tecidos orgânicos e neutraliza produtos tóxicos (Del Carpio-

Perochena *et al.* 2011). A eficácia antibacteriana do NaOCl frente ao *E. faecalis* é também demonstrada (Guerreiro-Tanomaru *et al.* 2014, Zandi *et al.* 2016, Janani *et al.* 2017).

Para complementar a desinfecção do sistema de canais radiculares, medicamentos intracanaís são efetivos (Tanomaru-Filho *et al.* 2002). O hidróxido de cálcio é frequentemente utilizado por dissolver tecido orgânico, induz a formação de tecido mineralizado, estimula a proliferação de osteoblastos, além de inativar o lipopolissacarédeo bacteriano (LPS) (Tanomaru *et al.* 2003, Mizuno *et al.* 2008). Para potencializar seu efeito sobre *Enterococcus faecalis*, foi proposto a associação com outros agentes antimicrobianos, como o paramonoclorofenol ou a clorexidina, com cânfora para aumentar o efeito antimicrobiano dessa medicação (Lima *et al.* 2012, Tennert *et al.* 2014).

A eliminação de microrganismos do sistema de canais radiculares continua sendo um desafio no tratamento endodôntico. Por isso, ainda se faz necessário estudos para melhorar os protocolos de desinfecção, principalmente *E. faecalis*, utilizando instrumentos com tratamento térmico associados a soluções irrigadoras antimicrobianas.

## **Conclusão**

Conclui-se que instrumentos ProDesign Logic ou HyFlex EDM associados com NaOCl a 2,5% promovem completa desinfecção do canal radicular imediatamente após preparo. Porém, não foi efetivo na eliminação de *E. faecalis* do sistema de canais radiculares em canais distais ovais de molares inferiores, sendo importante a utilização de uma medicação intracanal com efeito antimicrobiano.

## **Referências**

- Alcalde MP, Duarte MAH, Bramante CM *et al.* (2018) Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. *Clinical oral investigations* **22**, 1865–71.
- Alves FR, Almeida BM, Neves MA, Moreno JO, Rôças IN, Siqueira JF Jr (2011) Disinfecting oval-shaped root canals: effectiveness of different supplementary approaches. *Journal of Endodontics* **37**, 496–501.

- Alves FRF, Rôças IN, Almeida BM, Neves MAS, Zoffoli J, Siqueira JF Jr. (2012). Quantitative molecular and culture analyses of bacterial elimination in oval-shaped root canals by a single-file instrumentation technique. *International Endodontic Journal* **45**, 871–7.
- Alves FR, Siqueira JF Jr, Carmo FL *et al.* (2009) Bacterial community profiling of cryogenically ground samples from the apical and coronal root segments of teeth with apical periodontitis. *Journal of Endodontics* **35**, 486–92.
- Aranda-Garcia AR, Guerreiro-Tanomaru JM, Faria-Júnior NB *et al.* (2012) Antibacterial effectiveness of several irrigating solutions and the Endox Plus system – an ex vivo study. *International Endodontic Journal* **45**, 1091– 6.
- Bayram HM, Bayram E, Ocak M, Uzuner MB, Geneci F, Celik HH (2017) Micro-computed Tomographic Evaluation of Dentinal Microcrack Formation after Using New Heat-treated Nickel-titanium Systems. *Journal of Endodontics* **43**,1736–39.
- Del Carpio-Perochena AE, Bramante CM, Duarte MA *et al.* (2011) Biofilm dissolution and cleaning ability of different irrigant solutions on intraorally infected dentin. *Journal of Endodontics* **37**,1134–38.
- De Menezes SEAC, Batista SM, Lira JOP, Monteiro GQM (2017) Cyclic Fatigue Resistance of WaveOne Gold, ProDesign R and ProDesign Logic Files in Curved Canals In Vitro. *Iranian Endodontic Journal* **12**, 468–73.
- Espir CG, Nascimento-Mendes CA, Guerreiro-Tanomaru JM, Freire LG, Gavini G, Tanomaru-Filho M (2018) Counterclockwise or clockwise reciprocating motion for oval root canal preparation: a micro-CT analysis. *International Endodontic Journal*. **51**, 541– 48.
- Guerreiro-Tanomaru JM, Chavez-Andrade, GM, de Faria-Junior NB, Watanabe E, Tanomaru-Filho M (2015) Effect of passive ultrasonic irrigation on enterococcus faecalis from root canals: An ex vivo study. *Brazilian Dental Journal* **26**, 342– 6.
- Guerreiro-Tanomaru JM, Nascimento CA, Faria-Júnior NB, Graeff MSZ, Watanabe E, Tanomaru-FilhoM (2014) Antibiofilm activity of irrigating solutions associated withcetrimide. Confocal laser scanning microscopy. *International Endodontic Journal* **47**, 1058– 63.
- Gündogar M, Özyürek T (2017) Cyclic Fatigue Resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue Nickel-titanium Instruments. *Journal of Endodontic* **43**, 1192–6.

- Iacono F, Pirani C, Generali L *et al.* (2017) Structural analysis of HyFlex EDM instruments. *International Endodontic Journal* **50**, 303–313.
- Janani M, Jafari F, Samiei M *et al.* (2017) Evaluation of Antibacterial Efficacy of Photodynamic Therapy vs. 2.5% NaOCl against *E. faecalis*-infected Root Canals Using Real-time PCR Technique. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry* **9**:e539-e544.
- Jatahy Ferreira do Amaral RO, Leonardi DP, Gabardo MC, Coelho BS, Oliveira KV, Baratto Filho F (2016) Influence of Cervical and Apical Enlargement Associated with the WaveOne System on the Transportation and Centralization of Endodontic Preparations. *Journal of Endodontics* **42**, 626–31.
- Lima RKP, Guerreiro-Tanomaru JM, Faria-Júnior NB, Tanomaru-Filho M (2012) Effectiveness of calcium hydroxide-based intracanal medicaments against *Enterococcus faecalis*. *International Endodontic Journal* **45**, 311–6.
- Ma J, Wang Z, Shen Y, Haapasalo M. (2011) A new non invasive model to study the effectiveness of dentin disinfection by using confocal laser scanning microscopy. *Journal of Endodontics*. **37**, 1380–85.
- Machado ME, Nabeshima CK, Leonardo MF, Reis FA, Britto ML, Cai S (2013) Influence of reciprocating single file and rotary instrumentation on bacterial reduction on infected root canals. *International Endodontic Journal* **46**, 1083–7.
- Marinho ACS, Martinho FC, Gonçalves LM, Rabang HRC, Gomes BPFA (2015) Does the Reciproc file remove root canal bacteria and endotoxins as effectively as multife rotary systems? *International Endodontic Journal* **48**, 542–8.
- Marinho AC, Martinho FC, Zaia AA, Ferraz CC, Gomes BP (2012) Influence of the apical enlargement size on the endotoxin level reduction of dental root canals. *Journal of Applied Oral Science* **20**, 661–6.
- Martinho FC, Gomes CC, Nascimento GG, Gomes APM, Leite FRM (2018) Clinical comparison of the effectiveness of 7- and 14-day intracanal medications in root canal disinfection and inflammatory cytokines. *Clinical Oral Investigation* **22**, 523-30
- Martinho FC, Freitas LF, Nascimento GG *et al.* (2015) Endodontic retreatment: clinical comparison of reciprocating systems versus rotary system in disinfecting root canals. *Clinical Oral Investigation* **19**, 1411–7.
- Mizuno M, Banzai Y (2008) Calcium ion release from calcium hydroxide stimulated fibronectin gene expression in dental pulp cells and the differentiation of dental

- pulp cells to mineralized tissue forming cells by fibronectin. *International Endodontic Journal* **41**,933–8.
- Paqué F, Balmer M, Attin T, Peters AO (2010) Preparation of ovalshaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study. *Journal of Endodontics*. **36**, 703-7.
- Pedullà E, Plotino G, Grande NM *et al.* (2016) Shaping ability of two nickel titanium instruments activated by continuous rotation or adaptive motion: a micro-computed tomography study. *Clinical Oral Investigation* **20**, 2227–33.
- Peters OA, Arias A, Paqué F (2015) A micro-computed tomographic assessment of root canal preparation with a novel instrument, TRUShape, in mesial roots of mandibular molars. *Journal of Endodontics* **41**, 1545–50.
- Pinheiro SR, Alcalde MP, Vivacqua-Gomes N *et al.* (2018) Evaluation of apical transportation and centring ability of five thermally treated NiTi rotary systems. *International Endodontic Journal* **51**, 705–713.
- Ricucci D, Siqueira JF Jr, Bate AL, Pitt Ford TR (2009) Histologic investigation of root canal-treated teeth with apical periodontitis: a retrospective study from twenty-four patients. *Journal of Endodontics* **35**, 493–502.
- Rodrigues RCV, Zandi H, Kristoffersen AK (2017) Influence of the apical preparation size and the irrigant type on bacterial reduction in root canal-treated teeth with apical periodontitis. *Journal of Endodontics* **43**,1058–63.
- Rubio J, Zarzosa JI, Pallarés A (2017) Comparison of Shaping Ability of 10 Rotary and Reciprocating Systems: an In Vitro Study with AutoCad. *Acta stomatologica Croatica* **51**, 207–16
- Siqueira JF Jr, Alves FR, Versiani MA *et al.* (2013) Correlative bacteriologic and micro-computed tomographic analysis of mandibular molar mesial canals prepared by selfadjusting file, Reciproc, and Twisted File systems. *Journal of Endodontics* **39**, 1044–50.
- Siqueira JF Jr, Roças IN, Santos SR, Lima KC, Magalhães FA, De Uzeda M (2002) Efficacy of instrumentations techniques and irrigation regimens in reducing the bacterial population within root canals. *Journal of Endodontics* **28**,181–4.
- Stringheta CP, Pelegrine RA, Kato AS *et al.* (2019) Micro-computed Tomography versus the Cross-sectioning Method to Evaluate Dentin Defects Induced by

- Different Mechanized Instrumentation Techniques. *Journal of Endodontics* **43**,2102–07.
- Tanomaru-Filho M, Leonardo MR, Silva LAB (2002) Effect of irrigating solution and calcium hydroxide root canal dressing on the repair of apical and periapical tissues of teeth with periapical lesion. *Journal of Endodontics* **28**, 295–9.
- Tanamoru JMG, Leonardo MR, Tanamoru Filho M, Bonetti Filho I, Silva LA (2003) Effect of different irrigation solutions and calcium hydroxide on bacterial LPS. *International Endodontic Journal* **36**,733–9.
- Tennert C, Fuhrmann M, Wittmer A, *et al.* (2014) New bacterial composition in primary and persistent/ secondary endodontic infections with respect to clinical and radiographic findings. *Journal of Endodontics* **40**, 670–77.
- Üreyen Kaya B, Erik CE, Sesli Çetin E, Köle M, Maden M (2019) Mechanical reduction in intracanal *Enterococcus faecalis* when using three different single-file systems: an ex vivo comparative study. *International Endodontic Journal* **52**, 77–85.
- Uslu G, Özyürek T, Yılmaz K (2018) Comparison of Alterations in the Surface Topographies of HyFlex CM and HyFlex EDM Nickel-titanium Files after Root Canal Preparation: A Three-dimensional Optical Profilometry Study. *Journal of Endodontics* **44**,115–19.
- Wu D, Fan W, Kishen A, Gutmann JL, Fan B (2014) Evaluation of the antibacterial efficacy of silver nanoparticles against *Enterococcus faecalis* biofilm. *Journal of Endodontics* **40**, 285–90.
- Zandi H, Rodrigues RC, Kristoffersen AK, *et al.* (2016) Antibacterial effectiveness of 2 root canal irrigants in root-filled teeth with infection: a randomized clinical trial. *Journal of Endodontics* **42**,1307–13.
- Zhao D, Shen Y, Peng B, Haapasalo M (2014) Root canal preparation of mandibular molars with 3 nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomographic study. *Journal of Endodontics* **40**, 1860–4.



## 4 DISCUSSÃO

O presente estudo foi realizado para avaliação de diferentes técnicas de preparo, limpeza, desinfecção e obturação com canais de molares inferiores. A limpeza promovida pelo preparo com dilatação apical contribui para o controle da infecção<sup>76</sup> e remoção de dentina infectada<sup>6</sup>, promovendo menor porcentagem de superfícies não instrumentadas no canal radicular<sup>7</sup>. Os tratamentos térmicos fornecem aos instrumentos NiTi mais flexibilidade e resistência à fadiga cíclica<sup>9,10</sup>. E em canais curvos, esses instrumentos proporcionam centralização<sup>11,12</sup>. Os instrumentos PDL apresentam tratamento térmico CM e o instrumento HFEDM recebe adicionalmente o tratamento EDM. Após a dilatação do canal radicular até tamanho 40, não houve diferença na porcentagem de aumento volumétrico, e o volume final (tamanho 40.) foi maior para o sistema HFEDM (Publicação 1). O processo EDM fornece aos instrumentos uma superfície dura e melhores propriedades mecânicas<sup>14,16</sup>. Com a ampliação (tamanho 40.) do canal radicular, houve diminuição das superfícies intocadas e redução de debris para ambos instrumentos (Publicação 1). A ocorrência de áreas não instrumentadas e acúmulo de debris após o preparo pode favorecer a retenção de bactérias remanescentes e tecido pulpar<sup>77,78</sup>, dificultando o preenchimento completo do canal radicular<sup>46</sup>. Mesmo com a redução na quantidade de debris após o aumento apical, nenhum dos sistemas promoveu um canal radicular livre de debris (Publicação 1), concordando com outros estudos<sup>3,66</sup>. Apesar das diferentes conicidades entre os instrumentos, ambos mantiveram os canais radiculares centralizados após os preparos (Publicação 1). Os instrumentos de NiTi tratados termicamente proporcionaram preparos com baixo transporte apical e canais mais centralizados<sup>20</sup>.

Durante o preparo, a irrigação tem efeito importante na desinfecção e dissolução de tecido orgânico e biofilme<sup>24</sup>, principalmente no terço apical e áreas de difícil acesso<sup>40</sup>. Micro-organismos e tecido necrótico permanecem em áreas não tocadas pelo preparo<sup>22</sup>, dificultando a desinfecção dos canais radiculares<sup>23</sup>. Em nosso estudo a associação de soluções irrigantes com instrumentos de NiTi com tratamento térmico, PDL/NaOCl 2,5% e HFEDM/NaOCl 2,5%, promoveram completa desinfecção do canal radicular logo após preparo. Porém, PDL/SS e HFEDM/SS não eliminaram os micro-organismos dos canais radiculares destacando a importância da associação do efeito mecânico com a ação química da solução irrigadora

(Publicação 5). Alves *et al.* (2012)<sup>31</sup>, demonstraram após coleta, diminuição imediata significativa de 99% da carga bacteriana dos canais radiculares após protocolo com Reciproc/NaOCl 2,5% e BioRace/NaOCl a 2,5%. O preparo com instrumentos de NiTi em associação com soluções antimicrobianas, reduz ou elimina bactérias dos canais radiculares<sup>79</sup>.

Após 7 dias do protocolo de instrumentação (coleta final), foi observado permanência de bactérias viáveis provenientes do SCR. PDL/NaOCl 2,5% e HFEDM/NaOCl 2,5% proporcionaram desinfecção completa dos canais radiculares (imediatamente após preparo), mas não foram efetivos sobre *E. faecalis* do SCR. É possível observar na imagem de fluorescência vermelha maior quantidade de células bacterianas mortas presentes no interior dos túbulos dentinários após o protocolo de instrumentação (PDL e HFEDM) associado ao NaOCl a 2,5%. Os grupos PDL e HFEDM com solução salina, mostram menor proporção de bactérias mortas no interior túbulos dentinários, assim, prevalecendo as células viáveis. O grupo controle não há frequência de células bacterianas mortas nos túbulos dentinários. (Publicação 5). Concordando com nosso estudo, Wu *et al.* (2014)<sup>73</sup> observaram em MCVL que após preparo com NaOCl a 2%, os biofilmes de *E. faecalis* foram eliminados, porém com alguma proporção de bactérias viáveis e biofilmes de *E. faecalis* permaneceram intactos na superfície dentinária após uso de solução salina (fluorescência verde).

A técnica de irrigação convencional apresenta limitações para a remoção de debris acumulados do SCR<sup>80</sup>. Métodos de agitação da solução irrigante podem potencializar a limpeza após preparo dos canais radiculares<sup>38</sup>. No presente estudo, EC/NaOCl 2,5% obteve maior percentual de redução de debris (62,37%) no terço apical que PUI/NaOCl 2,5% (39,04%) e EC/H<sub>2</sub>O (37,61%) (Publicação 2). Em um estudo prévio, EC associado ao NaOCl a 2,5% demonstrou maior limpeza no terço apical de canais curvos de molares inferiores quando comparado ao PUI em análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV)<sup>38</sup>. A penetração do irrigante em toda a extensão do canal radicular e em áreas de difícil acesso é um fator importante para escolha da técnica de limpeza<sup>81</sup>. O sistema Easy Clean permite limpeza por agitação da solução em toda extensão do instrumento promovendo remoção de debris das paredes dos canais radiculares sem prejuízo para estrutura dentinária<sup>80</sup>. O uso do ultrassom na agitação da solução irrigante é bastante utilizada<sup>3,82</sup>, assim como a agitação mecânica usando motores elétricos para remoção de debris, principalmente

no terço apical radicular<sup>80</sup>. O menor diâmetro do terço apical e presença de curvaturas são fatores que tornam a limpeza mais difícil<sup>78</sup>. Maior dilatação durante o preparo favorece a penetração da agulha de irrigação, potencializando a ação de limpeza do irrigante<sup>6</sup>. A associação da ampliação apical e o uso de NaOCl reduziu a carga bacteriana no interior dos canais<sup>83</sup>.

Nossos resultados mostram, que a associação do PUI com CHX (2%) promoveu maior acúmulo de debris (7,35%) no terço cervical/médio que PUI/NaOCl 1% (5,46%) e PUI/NaOCl 2,5%(5,61%) (Publicação 2). Já é discutido que a clorexidina é um irrigante frequentemente utilizado devido à sua propriedade antimicrobiana<sup>84</sup>, mas não atua como solvente orgânico<sup>85</sup>. Esse fato, pode favorecer maior acúmulo de debris em relação ao emprego de NaOCl. No presente estudo, não houve diferença estatisticamente significativa no terço apical, entre o PUI associado com as diferentes soluções irrigantes avaliadas (Publicação 2). PUI demonstrou ser uma técnica de irrigação complementar eficaz na remoção de debris acumulados ao longo do canal radicular, promovendo redução de debris independente da solução irrigadora. A maior capacidade de limpeza quando a solução irrigante é ativada com ultrassom em relação ao grupo controle é demonstrada<sup>86</sup>.

A obturação do canal radicular visa obter o preenchimento tridimensional dos sistemas de canais radiculares após o preparo, evitando a reinfecção do canal radicular<sup>87,88</sup>. Várias técnicas são recomendadas para preencher o sistema de canais radiculares<sup>45</sup>. No entanto, nenhuma técnica foi capaz de promover o preenchimento completo<sup>3</sup>, assim como nos resultados do presente estudo. Foi observado menor porcentagem de falhas e maior porcentagem de material obturador para a técnica de onda contínua de condensação (Termo Pack II) em toda a extensão do canal radicular e terço apical, em comparação com a técnica de compactação lateral (Publicação 3). Os canais mesiais dos molares com aumento apical 30/.06, preenchidos pela técnica de onda de condensação, também apresentaram melhor preenchimento no terço apical (79,57%) quando comparados com a técnica de compactação lateral (69,21%)<sup>89</sup>. Os canais mesiais do presente estudo, apresentavam curvatura de 20 a 40° e foram preparados até a dilatação tamanho 40., proporcionando melhor capacidade de preenchimento em toda a extensão do canal radicular (93,25%) e na região apical (95,37%) pela Técnica Easy Termo Pack

II em comparação com 90,71% (total) e 90,49% (apical) de preenchimento em canais obturados pela técnica de compactação lateral (Publicação 3).

O terço apical do canal radicular é considerado a região crítica do tratamento endodôntico, apresentando maior dificuldade para desinfecção e preenchimento<sup>90</sup>. Para executar a técnica de onda contínua, o plugger deve ser inserido no canal radicular até 2 a 3 mm da WL<sup>46</sup>. Em nosso estudo, o plugger foi inserido a 2 mm do WL. Essa inserção próxima ao terceiro apical favorece o preenchimento dessa região.

A técnica de cone único é simples de ser realizada<sup>91</sup>, mas é influenciada pelo escoamento do cimento, morfologia e preparo do canal radicular<sup>92</sup>. O cimento endodôntico deve ter capacidade de escoamento no espaço entre o cone e as paredes do canal radicular para promover o selamento<sup>54</sup>. No presente estudo, o cimento nMTAP proporcionou maior porcentagem de falhas na extensão total do canal radicular e nos terços cervical e médio, em comparação com o TFBC. O terço apical mostrou capacidade de preenchimento semelhante para ambos os materiais. A técnica de cone único com o TFBC, promoveu melhor preenchimento nos terços cervical e médio (Publicação 4). O maior escoamento do cimento TFBC pode ter favorecido o preenchimento nessas áreas. Em um estudo anterior, TFBC apresentou maior escoamento em comparação com o AHPlus e o GuttaFlow Bioseal<sup>64</sup>.

Na região apical, a adaptação do cone de guta-percha ao preparo apical poderia diminuir a influência do escoamento do cimento, justificando a capacidade de preenchimento semelhante para os cimentos avaliados neste terço. No presente estudo, os cones de guta-percha foram selecionados após avaliação utilizando um perfilômetro. Portanto, o TFBC forneceu preenchimento semelhante ao nMTAP no terço apical (Publicação 4).

Micro-CT é utilizado para estudar a qualidade de preparo dos instrumentos<sup>11,66</sup>, permite a análise volumétrica<sup>67</sup> e de superfície não tocada<sup>68,69</sup>, além de avaliar o preenchimento por diferentes técnicas e cimento obturador<sup>70</sup>.

Em análise por micro-CT, com resolução de 30 µm, pequenos vazios não foram detectados, pois poderiam ser menores que o tamanho de voxel do escaneamento<sup>71</sup>.

Apesar do micro-CT proporcionar resultados relevantes, necessita de testes preliminares e padronização dos parâmetros de escaneamento para obtenção de resultados adequados. Os instrumentos com diferentes conicidades e tratamentos

avaliados em nosso estudo podem ser utilizados para o preparo dos canais radiculares curvos. Destacamos a maior eficácia do PUI quando associado a substâncias antibacterianas e que promovem dissolução de matéria orgânica. Apesar de nenhuma técnica de limpeza complementar e solução irrigante promover remoção total de debris dos canais radiculares, o sistema Easy Clean associado ao NaOCl promoveu maior limpeza do terço apical do que a irrigação ultrassônica passiva.

A técnica de onda contínua de condensação Termo Pack II apresentou melhor capacidade de preenchimento do terço apical dos canais radiculares curvos dos molares e pode ser indicada para uso clínico, assim como o cimento TotalFill BC Sealer, que proporciona um melhor preenchimento para canais mesiais de molares inferiores quando a técnica de cone único for preconizada.

A associação dos instrumentos de NiTi tratados termicamente com NaOCl a 2,5% demonstra importância para desinfecção do canal radicular contaminados com *Enterococcus faecalis* mas não elimina esses micro-organismos do sistema de canais radiculares, enfatizando a importância do uso da medicação intracanal entre as sessões do tratamento endodôntico.

## 5 CONCLUSÃO

De acordo com os capítulos do presente estudo, pode-se concluir que:

1. Dilatação apical produziu menos debris e superfícies não tocadas, e manteve a centralização para ambos os instrumentos avaliados. Os sistemas rotatórios com tratamento térmico CM testados, permitem dilatação do preparo apical em canais curvos, promovendo menor quantidade de debris e menor área de superfície não tocada, o que pode favorecer o prognóstico do tratamento endodôntico.
2. Nenhuma técnica de irrigação complementar e solução irrigante foi capaz de eliminar totalmente os debris dos canais radiculares. Easy Clean associado ao NaOCl a 2,5% promoveu maior limpeza do terço apical do que a irrigação ultrassônica passiva. As diferentes soluções irrigadoras associadas ao uso do PUI promoveram percentual de redução de debris similar dos canais radiculares.
3. A técnica de onda contínua de condensação (Termo Pack II) e compactação lateral produziram falhas nos canais radiculares obturados. O sistema de onda contínua de condensação Termo Pack II promove maior preenchimento de canais radiculares curvos que a compactação lateral.
4. O cimento TotalFill BC Sealer apresentou melhor capacidade de preenchimento dos canais mesiais de molares inferiores obturados pela técnica de cone único em relação ao cimento NeoMTA Plus. No terço apical, os cimentos proporcionaram preenchimento similar dos canais radiculares.
5. Os instrumentos ProDesign Logic ou HyFlex EDM associados com NaOCl promovem completa desinfecção do canal radicular imediatamente após preparo. Porém, não foi efetivo na eliminação de *E. faecalis* do sistema de canais radiculares em canais distais ovais de molares inferiores, sendo importante a utilização de uma medicação intracanal com efeito antimicrobiano.

## REFERÊNCIAS\*

1. Burklein S, Hinschitzka 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. *Int End J.* 2012; 45(5): 449- 61.
2. Paqué F, Laib A, Gautschi H, Zehnder M. Hard-tissue debris accumulation analysis by high-resolution computed tomography scans. *J Endod.* 2009; 35(7): 1044–7.
3. De-Deus G, Marins J, Silva EJ, Souza E, Belladonna FG, Reis C et al. Accumulated hard-tissue debris produced during reciprocating and rotary nickel-titanium canal preparation. *J Endod.* 2015; 4(5): 676-81.
4. Cruz Filho AM, Alencar CSM, Carvalho Júnior JR, Borges AH, Baratto Filho F. Análise ex vivo do desvio apical em canais radiculares curvos por meio de tomografia computadorizada cone beam 3D. *Rev Sul-Bras Odontol.* 2009; 6(4): 353- 9.
5. Lopes HP, Elias CN, Vieira MV, Siqueira JF Jr, Mangelli M, Lopes WS et al. Fatigue life of Reciproc and Mtwo instruments subjected to static and dynamic tests. *J Endod.* 2013; 39(5): 693-6.
6. Marinho AC, Martinho FC, Zaia AA, Ferraz CC, Gomes BP. Influence of the apical enlargement size on the endotoxin level reduction of dental root canals. *J Appl Oral Sci.* 2012; 20(6) 661- 6.
7. Pérez AR, Alves FRF, Marceliano-Alves MF, Provenzano JC, Gonçalves LS, Neves AA et al. Effects of increased apical enlargement on the amount of unprepared areas and coronal dentine removal: a micro-computed tomography study. *Int Endod J.* 2018; 51(6): 684-90.
8. Johnson E, Lloyd A, Kuttler S, Namerow K. Comparison between a novel nickel-titanium alloy and 508 nitinol on the cyclic fatigue life of ProFile 25/.04 rotary instruments. *J Endod.* 2008; 34(11): 1406-9.
9. Zhao D, Shen Y, Peng B, Haapasalo M. Effect of autoclave sterilization on the cyclic fatigue resistance of thermally treated Nickel-Titanium instruments. *Int Endod J.* 2015; 49(10): 990-5.
10. Alcalde MP, Duarte MAH, Bramante CM, de Vasconcelos BC, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM et al. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. *Clin Oral Investig.* 2018; 22(4): 1865-71.

---

\* De acordo com o Guia de Trabalhos Acadêmicos da FOAr, adaptado das Normas Vancouver. Disponível no site da Biblioteca: <http://www.foar.unesp.br/Home/Biblioteca/guia-de-normalizacao-atualizado.pdf>

11. Marceliano-Alves MF, Sousa-Neto MD, Fidel SR, Steier L, Robinson JP, Pécora JD et al. Shaping ability of single-file reciprocating and heat-treated multifile rotary systems: a micro-CT study. *Int Endod J*. 2015; 48(12): 1129-36.
12. Jatahy Ferreira do Amaral RO, Leonardi DP, Gabardo MC, Coelho BS, Oliveira KV, Baratto Filho F. Influence of cervical and apical enlargement associated with the WaveOne System on the transportation and centralization of endodontic preparations. *J Endod*. 2016; 42(4): 626-31.
13. Sant'Anna Júnior A, Cavenago BC, Ordinola-Zapata R, De-Deus G, Bramante CM, Duarte MA. The effect of larger apical preparations in the danger zone of lower molars prepared using the Mtwo and Reciproc systems. *J Endod*. 2014; 40(11): 1855–9.
14. Pedullà E, Plotino G, Grande NM, Avarotti G, Gambarini G, Rapisarda E et al. Shaping ability of two nickel titanium instruments activated by continuous rotation or adaptive motion: a micro-computed tomography study. *Clin Oral Investig*. 2016; 20(8): 2227-33.
15. Iacono F, Pirani C, Generali L, Bolelli G, Sassatelli P, Lusvarghi L et al. Structural analysis of HyFlex EDM instruments. *Inter Endod J*. 2017; 50(3): 303-13.
16. Pirani C, Iacono F, Generali L, Sassatelli, Nucci C, Lusvarghi L et al. HyFlex EDM: superficial features, metallurgical analysis and fatigue resistance of innovative electro discharge machined NiTi rotary instruments. *Int Endod J*. 2016; 49(5): 483-93.
17. Venino PM, Citterio CL, Pellegatta A, Marta Ciccarelli, Marcello Maddalone M. A Micro-computed Tomography evaluation of the shaping ability of two nickel-titanium instruments, HyFlex EDM and ProTaper Next. *J Endod*. 2017; 43(4): 628-32.
18. Mandava J, Yelisela RK, Arikatla SK, Ravi RC. Micro-computed tomographic evaluation of dentinal defects after root canal preparation with HyFlex EDM and Vortex Blue rotary systems. *J Clin Exp Dent*. 2018; 10(9): e844-51.
19. Gündogar M, Özyürek T. Cyclic Fatigue Resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue Nickel-titanium instruments. *J Endod*. 2017; 43(7): 1192-96.
20. Pinheiro SR, Alcalde MP, Vivacqua-Gomes N, Bramante CM, Vivian RR, Duarte MAH et al. Evaluation of apical transportation and centring ability of five thermally treated NiTi rotary systems. *Inter Endod J*. 2018; 51(6): 705-13.
21. de Menezes SEAC, Batista SM, Lira JOP, Monteiro GQM. Cyclic Fatigue resistance of Waveone Gold, Prodesign R and Prodesign logic files in curved canals in vitro. *Iran Endod J*. 2017; 12(4): 468-73.
22. Ricucci D, Siqueira JF Jr, Bate AL, Pitt Ford TR. Histologic investigation of root canal-treated teeth with apical periodontitis: a retrospective study from twenty-four patients. *J Endod*. 2009; 35(4): 493-502.



23. Alves FR, Almeida BM, Neves MA, Moreno JO, Rôças IN, Siqueira JF Jr. Disinfecting oval-shaped root canals: effectiveness of different supplementary approaches. *J Endod.* 2011; 37(4): 496-501.
24. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Br dent J.* 2014; 216(6): 299-303.
25. Del Carpio-Perochena A, Bramante CM, de Andrade FB, Maliza AGA, Cavenago BC, Marciano MA et al. Antibacterial and dissolution ability of sodium hypochlorite in different pHs on multi-species biofilms. *Clin Oral Invest.* 2015; 19(8): 2067-73.
26. Peters OA, Barbakow F. Effects of irrigation on debris and smear layer on canal walls prepared by two rotary techniques: a scanning electron microscopic study. *J Endod.* 2000; 26(1): 6-10.
27. Di Hipólito V, Rodrigues FP, Piveta FB, Azevedo LC, Bruschi Alonso RC, Silikas N et al. Effectiveness of self-adhesive luting cements in bonding to chlorhexidine-treated dentin. *Dent Mater.* 2012; 28(5): 495-501.
28. Wagner MH, da Rosa RA, de Figueiredo JAP, Duarte MAH, Pereira JR, Só MVR. Final irrigation protocols may affect intraradicular dentin ultrastructure. *Clin Oral Invest.* 2017; 21(7): 2173-82.
29. Siqueira JF Jr, Rôças IN, Santos SR, Lima KC, Magalhães FA, De Uzeda M. Efficacy of instrumentations techniques and irrigation regimens in reducing the bacterial population within root canals. *J Endod.* 2012; 28(3): 181-4.
30. Zandi H, Rodrigues RC, Kristoffersen AK, Enersen M, Mdala I, Ørstavik D, Rôças IN et al. Antibacterial effectiveness of 2 root canal irrigants in root-filled teeth with infection: a randomized clinical trial. *J Endod.* 2016; 42(9): 1307-13.
31. Alves FRF, Rôças IN, Almeida BM, Neves MAS, Zoffoli J, Siqueira Jr JF. Quantitative molecular and culture analyses of bacterial elimination in oval-shaped root canals by a single-file instrumentation technique. *Int Endod J.* 2012; 45(9): 871-7.
32. Alves FR, Siqueira JF Jr, Carmo FL, Santos AL, Peixoto RS, Rôças IN et al. Bacterial community profiling of cryogenically ground samples from the apical and coronal root segments of teeth with apical periodontitis. *J Endod.* 2009; 35(4): 486-92.
33. Aranda-Garcia AR, Guerreiro-Tanomaru JM, Faria-Júnior NB, Chavez-Andrade GM, Leonardo RT, Tanomaru-Filho M et al. Antibacterial effectiveness of several irrigating solutions and the Endox Plus system: an ex vivo study. *Int Endod J.* 2012; 45(12): 1091-6.
34. Guerreiro-Tanomaru JM, Chavez-Andrade, GM, de Faria-Junior NB, Watanabe E, Tanomaru-Filho M. Effect of passive ultrasonic irrigation on enterococcus faecalis from root canals: an ex vivo study. *Braz Dent J.* 2015; 26(4): 342- 6.

35. Chávez-Andrade GM, Tanomaru-Filho M, Rodrigues EM, Gomes-Cornélio AL, Faria G, Bernardi MIB et al. Cytotoxicity, genotoxicity and antibacterial activity of poly(vinyl alcohol)-coated silver nanoparticles and farnesol as irrigating solutions. *Arch Oral Biol.* 2017; 84: 89-93.
36. Tennert C, Fuhrmann M, Wittmer A, Karygianni L, Altenburger MJ, Pelz K et al. New bacterial composition in primary and persistent/secondary endodontic infections with respect to clinical and radiographic findings. *J Endod.* 2014; 40(5): 670-7.
37. Vera J, Siqueira JF, Jr, Ricucci D, Loghin S, Fernández N, Flores B et al. One-versus two-visit endodontic treatment of teeth with apical periodontitis: a histobacteriologic study. *J Endod.* 2012; 38(8): 1040-52.
38. Kato AS; Cunha RS, Bueno C E S, Pelegrine RA, Fontana CE, Martin AS. Investigation of the efficacy of passive ultrasonic irrigation with reciprocating activation: an environmental scanning electron microscopic study. *J Endod.* 2016; 42(4): 659-63.
39. Jiang, LM, Verhaagen B, Versluis M, Langedijk J, Wesselink P, Van der Sluis, LWM. The influence of the ultrasonic intensity on the cleaning efficacy of passive ultrasonic irrigation. *J Endod.* 2011; 37(5): 688-92.
40. Van der Sluis LWM, Verluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J.* 2007; 40(6): 415-26.
41. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am.* 1974; 18(2): 269-96.
42. Keleş A, Alçın H, Kamalak A, Versiani MA. Micro-CT evaluation of root filling quality in oval-shaped canals. *Int Endod J.* 2014; 47(12): 1177-84.
43. Keçeci AD, Celik Unal G, Sen BH. Comparison of cold lateral compaction and continuous wave of obturation techniques following manual or rotary instrumentation. *Int Endod J.* 2005; 38(6): 381-8.
44. Alshehri M, Alamri HM, Alshwaimi E, Kujan O. Micro-computed tomographic assessment of quality of obturation in the apical third with continuous wave vertical compaction and single match taper sized cone obturation techniques. *Scanning.* 2016; 38(4): 352-6.
45. Atav Ates A, Dumani A, Yoldas O, Unal I. Post-obturation pain following the use of carrier-based system with AHPlus or iRoot SP sealers: a randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Investig.* 2018; 5. doi: 10.1007/s00784-018-2721-6. Epub ahead of print.
46. Somma F, Cretella G, Carotenuto M, Pecci R, Bedini R, De Biasi M et al. Quality of thermoplasticized and single point root fillings assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J.* 2011; 44(4): 362-9.

47. Hale R, Gatti R, Glickman GN, Opperman LA. Comparative analysis of carrier-based obturation and lateral compaction: a retrospective clinical outcomes study. *Int J Dent.* 2012; 2012: 954675. doi: 10.1155/2012/954675.
48. Gordon MP, Love RM, Chandler NP. An evaluation of .06 tapered gutta-percha cones for filling of .06 taper prepared curved root canals. *Int Endod J.* 2005; 38(2): 87-96.
49. Whitworth J. Methods of filling root canals: principles and practices. *Endodontic Topics.* 2005; 12(1): 2-24.
50. Iglecias EF, Freire LG, de Miranda Candeiro GT, Dos Santos M, Antoniazzi JH, Gavini G. Presence of voids after continuous wave of condensation and single-cone obturation in mandibular molars: a micro-computed tomography analysis. *J Endod.* 2017; 43(4): 638-42.
51. Wolf M, Küpper K, Reimann S, Bourauel C, Frentzen M. 3D analyses of interface voids in root canals filled with different sealer materials in combination with warm gutta-percha technique. *Clin Oral Invest.* 2014; 18(1): 155-61.
52. Faus-Llácer V, Collado-Castellanos N, Alegre-Domingo T, Dolz-Solsona M, Faus-Matoses V. Measurement of the percentage of root filling in oval-shaped canals obturated with Thermafil Obturators and Beefill 2in1: in vitro study. *J Clin Exp Dent.* 2015; 7(2): e299-303.
53. Romania C, Beltes P, Boutsoukis C, Dandakia C. Ex-vivo area-metric analysis of root canal obturation using gutta-percha cones of different taper. *Int Endod J* 2009; 42(6): 491-8.
54. Tran D, He J, Glickman GN, Woodmansey KF. Comparative analysis of calcium silicate-based root filling materials using an open apex model. *J Endod.* 2016; 42(4): 654-8.
55. Schäfer E, Köster M, Bürklein S. Percentage of gutta-percha-filled areas in canals instrumented with nickel-titanium systems and obturated with matching single cones. *J Endod* 2013; 39(7): 924-8.
56. Qu W, Bai W, Liang YH, Gao XJ. Influence of warm vertical compaction technique on physical properties of root canal sealers. *Endod J.* 2016; 42(12): 1829-33.
57. Carvalho Junior JR, Correr Sobrinho L, Correr AB, Sinhoreti MAC, Consani S, Sousa Neto M. Solubility and dimensional change after setting of root canal sealers: a proposal for smaller dimensions of test samples. *J Endod.* 2007; 33(9): 1110-6.
58. Silva RV, Silveira FF, Horta MC, Duarte MA, Cavenago BC, Morais IG, Nunes E. Filling effectiveness and dentinal penetration of endodontic sealers: a stereo and confocal laser scanning microscopy study. *Braz Dent J.* 2015; 26(5): 541-6.

59. Peng W, Liu W, Zhai W, Jiang L, Li L, Chang J et al. Effect of tricalcium silicate on the proliferation and odontogenic differentiation of human dental pulp cells. *J Endod.* 2011; 37(9): 1240-6.
60. Camilleri J. Staining potential of Neo MTA Plus, MTA Plus, an Biodentine used for pulpotomy procedures. *J Endod.* 2015; 41(7): 1139-45.
61. Tanomaru-Filho M, Andrade AS, Rodrigues EM, Viola KS, Faria G, Camilleri J et al. Biocompatibility and mineralized nodule formation of Neo MTA Plus and an experimental tricalcium silicate cement containing tantalum oxide. *Int Endod J.* 2017; 50(2): 31-9.
62. McMichael GE, Primus CM, Opperman LA. Dentinal tubule penetration of tricalcium silicate sealers. *J Endod.* 2016; 42(4): 632-6.
63. Hess D, Solomon E, Spears R, He J. Retreatability of a bioceramic root canal sealing material. *J Endod.* 2011; 37(11): 1547-9.
64. Tanomaru-Filho M, Torres FFE, Chávez-Andrade GM, de Almeida M, Navarro LG2, Steier L et al. Physicochemical properties and volumetric change of silicone/bioactive glass and calcium silicate-based endodontic sealers. *J Endod.* 2017; 43(12): 2097-2101.
65. Agrafioti A, Koursoumis AD, Kontakiotis EG. Re-establishing apical patency after obturation with gutta-percha and two novel calcium silicate-based sealers. *Eur J Dent.* 2015; 9(4): 457-61.
66. Espir CG, Nascimento-Mendes CA, Guerreiro-Tanomaru JM, Cavenago BC, Duarte MAH, Tanomaru-Filho M. Shaping ability of rotary or reciprocating systems for oval root canal preparation: a micro-computed tomography study. *Clin Oral Investig.* 2018; 22(9): 3189-94
67. Espir CG, Nascimento-Mendes CA, Guerreiro-Tanomaru JM, Freire LG, Gavini G, Tanomaru-Filho M. Counterclockwise or clockwise reciprocating motion for oval root canal preparation: a micro-CT analysis. *Int Endod J.* 2018; 51(5): 541-8.
68. Kierklo A, Tabor Z, Pawińska M, Jaworska M. A microcomputed tomography-based comparison of root canal filling quality following different instrumentation and obturation techniques. *Med Princ Pract.* 2015; 24(1): 84-91.
69. Siqueira JF Jr, Pérez AR, Marceliano-Alves MF. What happens to unprepared root canal walls: a correlative analysis using micro-computed tomography and histology/scanning electron microscopy. *Int Endod J.* 2018; 51(5): 501-8.
70. Jung M, Lommel D, Klimek J. The imaging of root canal obturation using micro-CT. *Int Endod J.* 2005; 38(9): 617-26.
71. Kim JA, Hwang YC, Rosa V, Yu MK, Lee KW, Min KS. Root canal filling quality of a premixed calcium silicate endodontic sealer applied using gutta-percha cone-mediated ultrasonic activation. *J Endod.* 2018; 44(1): 133-8.

72. Konish N, Torii Y, Kurasaki A, Takatsuka T, Itota T, Yashima. Confocal laser scanning microscopic analysis of early plaque formed on resin composite and human enamel. *J Oral Rehabil.* 2003; 30(8): 790-5.
73. Wu D, Fan W, Kishen A, Gutmann JL, Fan B. Evaluation of the antibacterial efficacy of silver nanoparticles against *Enterococcus faecalis* biofilm. *J Endod.* 2014; 40(2): 285-90.
74. Marinho ACS, Martinho FC, Gonçalves LM, Rabang HRC, Gomes BPFA. Does the Reciproc file remove root canal bacteria and endotoxins as effectively as multifile rotary systems? *Int Endod J.* 2015; 48(6): 542-8.
75. Machado ME, Nabeshima CK, Leonardo MF, Reis FA, Britto ML, Cai S. Influence of reciprocating single file and rotary instrumentation on bacterial reduction on infected root canals. *Int Endod J.* 2013; 46(11): 1083-7.
76. Siqueira JF Jr, Lopes HP. Chemomechanical preparation. In: Siqueira Jr JF, ed. *Treatment of endodontic infections.* London: Quintessence Publishing; 2011. p. 236–84.
77. Siqueira JF Jr, Alves FR, Versiani MA, Rôças IN, Almeida BM, Neves MA, Sousa-Neto MD. Correlative bacteriologic and micro-computed tomographic analysis of mandibular molar mesial canals prepared by selfadjusting file, Reciproc, and Twisted File systems. *J Endod.* 2013; 39(8): 1044–50.
78. Nair PN, Henry S, Cano V, Vera J. Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after “one-visit” endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol and Endod.* 2005; 99(2): 231–52.
79. Siqueira JF Jr, Rôças IN, Santos SR, Lima KC, Magalhães FA, De Uzeda M. Efficacy of instrumentation techniques and irrigation regimens in reducing the bacterial population within root canals. *J Endod* 2002; 28(3):181–4.
80. Duque JA, Duarte MA, Canali LC, Zancan RF, Vivan RR, Bernardes RA et al. Comparative effectiveness of new mechanical irrigant agitating devices for debris removal from the canal and isthmus of mesial roots of mandibular molars. *J Endod.* 2017; 43(2): 326-31.
81. de Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Paranjpe A, Cohenca N. Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals and up to working length: an in vitro study. *J Endod.* 2010; 36(7): 1216-21.
82. Freire LG, Iglecias EF, Cunha RS, Dos Santos M, Gavini G. Micro-computed tomographic evaluation of hard tissue debris removal after different irrigation methods and its influence on the filling of curved canals. *J Endod.* 2015; 41(10): 1660-6.
83. Rodrigues RCV, Zandi H, Kristoffersen AK. Influence of the apical preparation size and the irrigant type on bacterial reduction in root canal–treated teeth with apical periodontitis. *J Endod.* 2017; 43(7): 1058–63.

84. Ferraz CCR, Gomes BPFA, Zaia AA, Teixeira FB, Souza-Filho FJ. In vitro assessment of the antimicrobial action and the mechanical ability of chlorhexidine gel as an endodontic irrigant. *J Endod.* 2001; 27(7): 452-5.
85. Wagner MH, da Rosa RA, de Figueiredo JAP, Duarte MAH, Pereira JR, Só MVR. Final irrigation protocols may affect intraradicular dentin ultrastructure. *Clin Oral Invest.* 2017; 21(7): 2173-82.
86. Vivian RR, Duque JA, Alcalde MP, Só MV, Bramante CM, Duarte MA. Evaluation of different passive ultrasonic irrigation protocols on the removal of dentinal debris from artificial grooves. *Braz Dent J.* 2016; 27(5): 568-72.
87. Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K. Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature-part 2: influence of clinical factors. *Int Endod J.* 2008; 41(1): 6-31.
88. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N. Evaluation of root canal obturation: a three dimensional in vitro study. *J Endod.* 2009; 35(4): 541-4.
89. Ho ESS, Chang JWW, Cheung GSP. Quality of root canal fillings using three gutta-percha obturation techniques. *Restor Dent Endod.* 2016; 41(1): 22-8.
90. Schilder H. Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am.* 1967: 723-44.
91. Cavenago BC, Duarte MA, Ordinola-Zapata R, Marciano MA, Carpio-Perochena AE, Bramante C. Interfacial adaptation of an epoxy-resin sealer and a self-etch sealer to root canal dentin using the System B or the single cone technique. *Braz Dent J.* 2012; 23(3): 205-11.
92. Chesler MB, TordiK PA, Imamura GM, Goodell GG. Intramanufacturer diameter and taper variability of rotary instruments and their corresponding Gutta-Percha cones. *J Endod.* 2013; 39(4): 538-41.

## APÊNDICE A – Metodologia Detalhada

Metodologia detalhada das diferentes etapas da pesquisa.

(Publicação 1, 2, 3 e 4).

### Seleção dos dentes

Raízes mesiais de molares inferiores foram selecionadas, sendo analisados os canais mesio-vestibular (MV) e mesio-lingual (ML). Para a seleção das amostras, além da utilização do sistema de radiografia digital, elas foram submetidas a um escaneamento de seleção a 35  $\mu\text{m}$  utilizando o microtomógrafo SkyScan 1176 (Skyscan 1176, Bruker-microCT, Konttich, Bélgica). Nesta etapa, por meio de estudos pilotos, além da resolução de 35 $\mu\text{m}$ , foram definidos parâmetros de escaneamento: filtro Cu + Al, 80 Kv de potência, energia 300  $\mu\text{A}$ , frame 3, ciclo de evolução de 360 °, rotação de 0,5. Após reconstrução e análise inicial das imagens obtidas, foram obtidas 24 raízes mesiais de molares inferiores com raízes MV e ML distintas, além da polpa radicular intacta, completa formação apical, ausência de fraturas radiculares, reabsorções, restaurações extensas ou tratamento endodôntico previamente realizado.

A padronização das curvaturas foi definida levando em consideração o ângulo e o raio de curvatura. Foram selecionadas as raízes que apresentarem ângulo de curvatura entre 20° e 40° e raio de curvatura menor que 10mm. O comprimento das raízes foi padronizado em 16 mm, com uma tolerância de  $\pm 2\text{mm}$  de discrepância. As raízes que se apresentarem com curvatura excessiva, com comprimento maior ou menor que as medidas estabelecidas, tratamentos endodônticos anteriores, reabsorções e fraturas radiculares serão descartados, totalizando n = 48 canais.

### *Avaliação por Micro-CT*

Para a avaliação de todas as etapas do estudo, os canais radiculares selecionados foram escaneados utilizando o Microtomógrafo Skyscan 1176 (Skyscan 1176, Bruker-microCT, Konttich, Bélgica). Este aparelho é constituído por um tubo de raios-X de microfoco, com fonte de alta tensão, um detector baseado em uma única câmera-CCD especial de raio-X de 10 Megapixel, ligados a um sensor CCD,

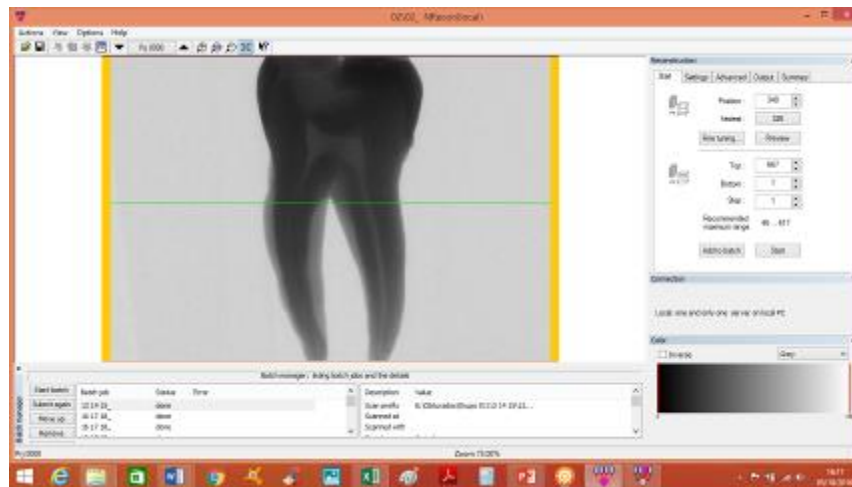
conectados a um computador, para a aquisição de dados, cuja a função é a reconstrução das imagens tomográficas.

As imagens foram captadas após a seleção das amostras e após cada etapa experimental executada, as amostras foram posicionadas na horizontal, com as coroas dos dentes voltadas para o mesmo lado. Previamente ao início da pesquisa, foi realizado um estudo piloto padronizando alguns parâmetros na aquisição das imagens. Com isso, foi padronizado a posição das amostras durante todos os escaneamentos para a obtenção de imagens no micro-CT. Baseado em estudos pilotos e estudos prévios, os parâmetros para escaneamento foram definidos, sendo: filtro de Cu + Al, 90 kV de potência, energia de 278  $\mu$ A, frame 3, ciclo de evolução 180°, rotação de 0.5, e tamanho de voxel de 9  $\mu$ m.

Após o escaneamento, foi realizado a reconstrução das imagens no *software* NRecon (V1.6.4,7; SkyScan, Bélgica). Para cada amostra, foram definidos valores de correção de artefatos, como regularização de radiação, nitidez e histograma. Logo após, o *software* Data Viewer (V1.5.1.2; Sky Scan, Bélgica) foi utilizado, a fim de se obter a sobreposição das imagens, bem como cortes sagitais de cada amostra. Para análise e obtenção dos dados, utilizamos o *software* CTan (V1.11.8; SkyScan, Bélgica). A ferramenta “custom processing” foi utilizada, permitindo que “tasks lists” elaborados através de cálculos matemáticos fossem empregados para os diferentes resultados a serem obtidos (volume inicial, volume pós preparo, quantificação de debris, redução de debris, superfície não tocada e capacidade de preenchimento e falhas dos canais radiculares). Além disso, modelos 3D foram obtidos pelo uso do *software* CTVol, representando cada etapa experimental.

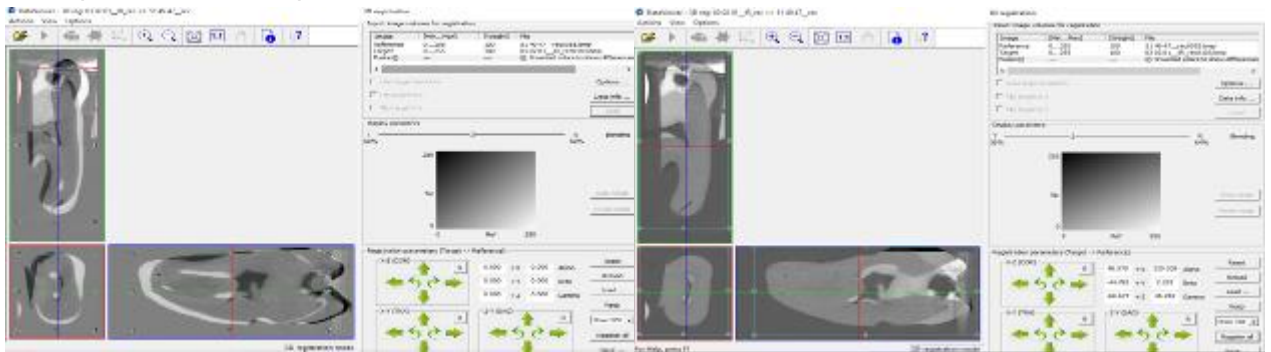


**Figura 1** - Imagem representativas das imagens obtidas pelo micro-CT no software *NRecon* para serem reconstruídas



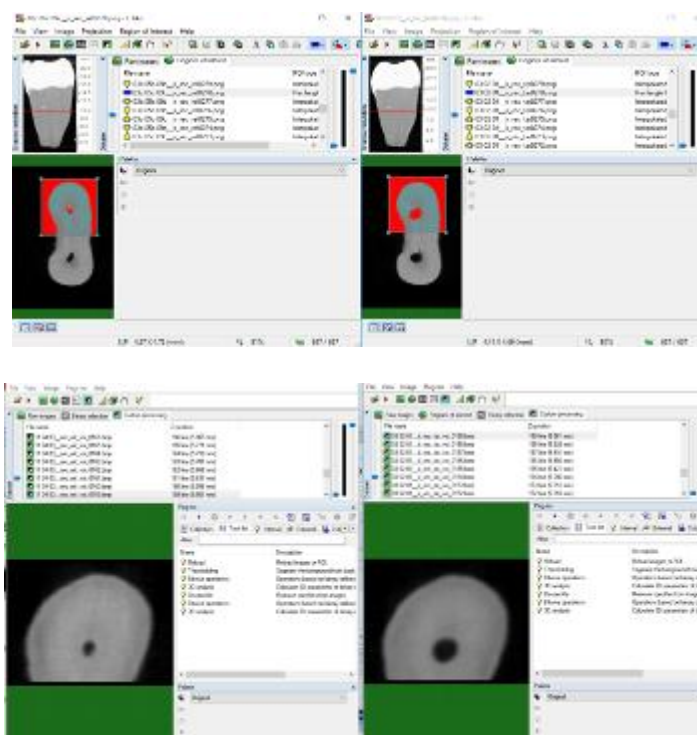
Fonte: Arquivo pessoal do autor.

**Figura 2** - Imagens representativas da sobreposição das imagens obtidas antes e após cada procedimento experimental no software *DataViewer*



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

**Figura 3-** Imagem representativa das análises volumétricas das imagens, antes e após cada fase experimental, *no software CTAn*



Fonte: Arquivo pessoal do autor

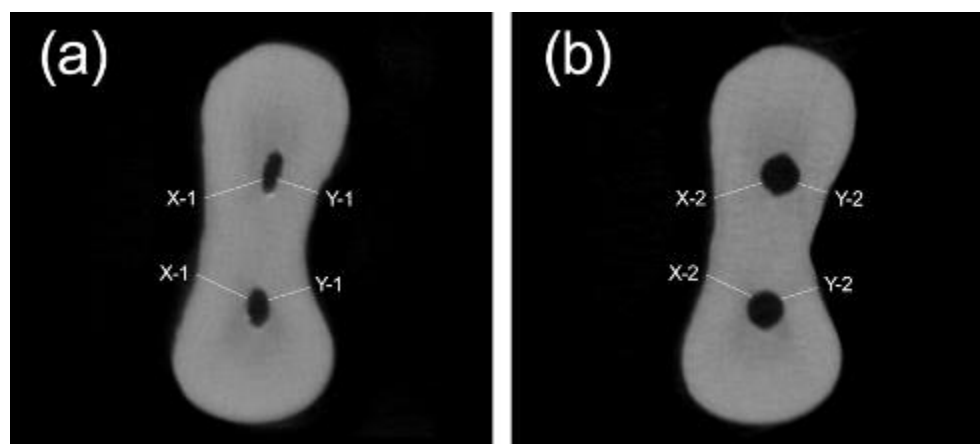
Assim, foram obtidos os valores do volume inicial (VI) e o volume final (VF) após preparo. De acordo com esses valores, foi calculada a porcentagem de aumento de volume, usando a fórmula  $[(VF \cdot 100 / VI) - 100]$ . Para a porcentagem de debris e a porcentagem de superfície não instrumentada foi utilizada as seguintes fórmulas: % Debris = Volume de debris final x 100 / Volume final; % superfície não instrumentada = Área não instrumentada x 100 / Área final. A redução do percentual de debris (%RD) foi calculada considerando o volume de debris obtido antes (A) e depois (B) da irrigação final de acordo com a seguinte fórmula:  $[\% RD = (B \cdot 100 / A) - 100]$ .

As porcentagens de material de enchimento foram tomadas como base no volume pós-preparo do canal e no volume de obturação: [porcentagem de material obturador = (volume de material obturador x 100) / volume de canal]. O volume de falhas foi calculado subtraindo o volume do material obturador, do volume do canal radicular pós-obturação: [volume de falhas = volume do canal - volume de material obturador]. O volume percentual de falhas foi calculado usando a seguinte fórmula: [Porcentagem de falhas = (volume de falhas X 100) / volume do canal]. As análises

qualitativas foram realizadas por meio de modelos obtidos pelo *software CTVol* (CTVol v. 2.0, Bruker Micro-CT) ou *CTVOX* (CTVOX 3.0, Bruker Micro-CT).

As análises de transporte e centralização do canal radicular foram realizadas a partir das imagens sobrepostas, utilizando o *software CTAn*, como descrito anteriormente. A menor distância entre a borda mesial da raiz e o canal antes da instrumentação (X1), a menor distância entre a borda mesial da raiz e o canal instrumentado (X2), a menor distância entre a borda distal da raiz e o canal antes da instrumentação (Y1) e a menor distância entre a borda distal da raiz e o canal instrumentado (Y2), conforme proposto por Gambill et al. (1996) (Figura 4). Cinco cortes transversais foram medidos para cada terço (coronal, médio e apical) e determinados pelo valor médio aritmético. Os terços correspondiam a 3, 6 e 9 mm do ápice anatômico, com cada terço cobrindo 3 mm da extensão do canal. O grau de centralização do canal foi obtido por meio da seguinte equação:  $(X1-X2) / (Y1-Y2)$ , e o transporte do canal radicular foi obtido por meio da seguinte equação:  $(X1-X2) - (Y1-Y2)$  (Gambill et al. 1996). Os dados de centralização foram designados de 0 a 1, com os valores mais próximos de 1 sendo completamente centralizados e os mais próximos de zero completamente fora da centralização. Na pontuação dos dados para o desvio, quanto mais próximos os valores de zero, menor o desvio. Os números negativos representaram desvio na direção mesial e números positivos na direção distal.

**Figura 4-** Secções transversais representativas da micro-CT do terço médio do grupo PDL



Obtidas dos canais radiculares mesiais dos molares inferiores, mostrando a menor distância entre a borda da raiz e o canal, determinada para realizar as análises de transporte e centralização capacidade de centralização em cada grupo. (a) canal radicular pré-operatório; e (b) após a preparação. Fonte: Arquivo pessoal do autor.

### *Preparo das amostras*

Para a exploração inicial dos canais, foram utilizadas limas tipo K #10 (Dentsply, Maillefer, Suíça), introduzida no canal radicular até que a sua extremidade seja vista através do forame apical e subtraído 1mm, determinando assim o seu comprimento de trabalho (CT).

O cateterismo e a patência foram realizados utilizando as limas Glide Path #25.01 para o sistema Easy ProDesign Easy em 300 rpm e 1Ncm e #10.05 para o sistema HyFlex utilizando em 300 rpm e 1.8 Ncm, com o movimento de entrada e saída em direção apical. As amostras selecionadas e distribuídas foram preparadas de acordo com o grupo experimental a que pertencerem. Os instrumentos rotatórios de NiTi dos sistemas foram acionados por um contra-ângulo redutor e motores elétricos VDW Silver (VDW, Munich, Germany) para o sistema Sistema HyFlex CM/EDM e Sistema Easy ProDesign Logic. Torque e velocidade foram preconizados de acordo com os fabricantes.

**Grupo 1** – Sistema Easy ProDesign Logic (Easy Equipamentos Odontológicos, Brasil)

Os canais (n=24) foram instrumentados com uma velocidade de rotação de 600 rpm e 4 Ncm.

#### Preparo dos terços cervical e médio:

Foi realizado com o instrumento #25.06 para modelagem dos terços cervical e médio dos canais radiculares com movimento de avanço e recuo e pincelamento.

#### Ampliação:

Foi utilizado o instrumento #40.05 até o comprimento de trabalho para acabamento final do sistema de canais radiculares com movimento de avanço e recuo e pincelamento.

**Grupo 2** – Sistema HyFlex CM/EDM (OneFile Coltene/Whaledent AG, Altstatten, Switzerland)

Os canais (n=24) foram instrumentados com as limas HyFlex NiTi utilizando 500 rpm e torque de 2.5 Ncm, sendo a técnica a ser seguida a recomendada pelo fabricante:

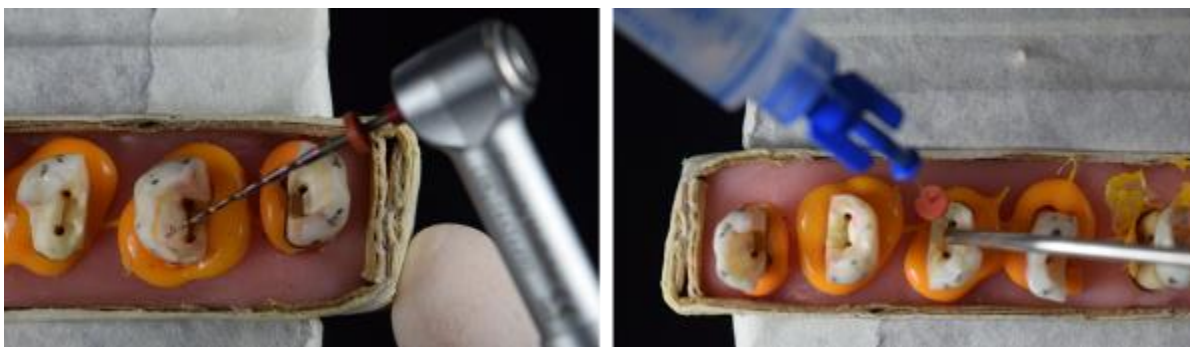
Preparo dos terços cervical e médio:

Foi realizado com o instrumento HyFlex CM #20.04, no terço cervical e HyFlex EDM 25~ para modelagem dos terços cervical e médio dos canais radiculares com movimento de avanço e recuo.

Ampliação:

Será utilizado o instrumento HyFlex EDM #40/04 até o comprimento de trabalho para acabamento final do sistema de canais radiculares com movimento de avanço e recuo.

**Figura 5** - Raízes mesiais de molares inferiores incluídas em silicone de condensação, na fase experimental do preparo



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Após o preparo e ampliação dos canais radiculares, os espécimes escaneados em micro-CT, com resolução de 9  $\mu\text{m}$ , seguindo os parâmetros descritos anteriormente.

*Irrigação Final*

Os sistemas de irrigação final foi empregados de acordo com as instruções do fabricante e dos protocolos dos autores Duque et al., 2016; Kato et al.,

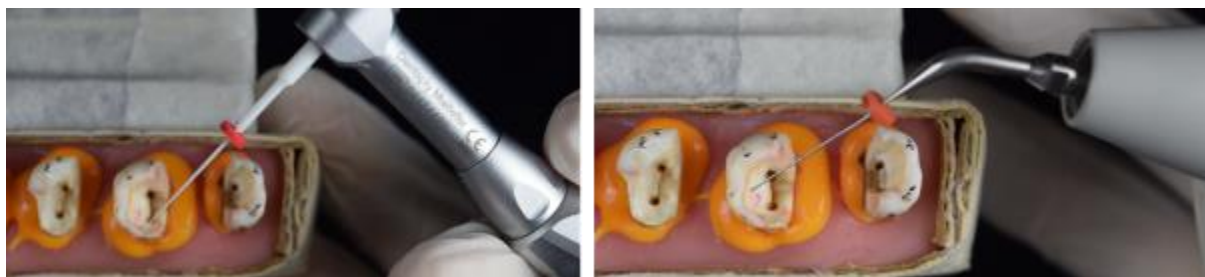
2016. Após realizar os escaneamentos em micro CT de acordo com os parâmetros já definidos, os espécimes que foram preparados com instrumentos PDL até a dilatação 40/.04 (n = 24 canais) foi empregado diferentes técnicas de irrigação complementar utilizando o sistema de irrigação ultrassônica passiva (PUI) hipoclorito de sódio 2,5% (n = 8 canais), sistema Easy Clean em movimento recíprocante com hipoclorito de sódio 2,5% (n = 8 canais) e sistema Easy Clean em movimento recíprocante com água destilada (n = 8 canais). Os espécimes com preparo HyFlex EDM até o instrumento 40/.04 (n = 24 canais), foi empregado o sistema de irrigação ultrassônica passiva (PUI) utilizando clorexidina 2% (n = 8 canais), irrigação ultrassônica passiva com hipoclorito de sódio 1% (n = 8 canais) e irrigação ultrassônica passiva com hipoclorito de sódio 2,5% (n = 8 canais).

O sistema Easy Clean foi utilizado com uma lima plástica por canal, posicionado a 1 mm aquém do CT, na programação *RECIPROC ALL* no motor VDW *Silver* (VDW, Munich, Germany). O protocolo de 3 ciclos de 20 segundos em cada etapa foi preconizado: 5 mL de NaOCl a 2,5% ou 5 mL de água destilada + 2,5 mL de EDTA 17% + 5 mL de NaOCl a 2,5% ou 5 mL de água destilada + lavagem final com 10 mL de água destilada.

Na técnica de irrigação ultrassônica passiva foi utilizado o aparelho de ultrassom piezoelétrico *led Ultrawave XS* (Ultradente products, INC), frequência de 50/60 Hz, potência 4, com a ponta ultrassônica Irrisonic E1 (#20.01) a cada 5 canais, 1 mm aquém do CT. A sequência de protocolo empregada foi de 3 ciclos de 20 segundos de acordo com a solução irrigadora de escolha: 5 mL de clorexidina a 2% ou 5 mL de NaOCl a 1% ou 5 mL de NaOCl a 2,5% + 2,5 mL de EDTA 17% + 5 mL de clorexidina a 2% ou 5 mL de hipoclorito de sódio a 1% ou 5 mL de NaOCl a 2,5% + lavagem final com 10 mL de água destilada.

Após protocolo de irrigação final, os canais radiculares foram secos com cone de papel estéreis de tamanho #40 (Tanari Industrial Ltda., SP, Brasil) e passaram por um novo escaneamento utilizando os parâmetros previamente definidos.

**Figura 6** - Raízes mesiais de molares inferiores incluídas em silicone de condensação, nas fases de limpeza final



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

### *Obturação dos canais radiculares*

Nesta etapa, foram utilizadas as amostras após escaneamento da etapa limpeza final como descrito acima. Os grupos foram subdivididos, visando avaliar a qualidade da obturação dos canais radiculares, utilizando diferentes técnicas e materiais obturadores. Foram divididos de acordo com o quadro abaixo:

**Quadro 1** - Técnicas de obturação e materiais utilizados

<b>PDL 40/04 (n=12 canais)</b>	<b>Técnica de Obturação</b>	<b>Cimento</b>
	Termo Pack II	AH Plus
	C.L.A	AH Plus
<b>HyFlex EDM (n=12 canais)</b>	<b>Técnica de Obturação</b>	<b>Cimento</b>
	Cone único	Neo MTA Plus
	Cone único	TFBCS

### *Obturação pela técnica de onda contínua de condensação*

Cones de guta percha tamanho 40.,05 taper (indústria Tanari Ltda., São Paulo, Brasil) foram selecionados a partir de medição do tamanho de ponta e conicidade no aparelho perfilômetro (Projetor de Perfil Nikon Modelo 6C-2). Após radiografia comprobatória da adaptação do cone de guta-percha selecionado, o cimento obturador utilizado foi levado ao canal radicular com auxílio do instrumento lentulo #40 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) e o instrumento manual pé-

curvado tipo kerr #40. ((Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) Em seguida, o cone foi envolto por cimento, levando-o em posição. A caneta termo plastificadora do sistema Termo Pack II (Easy, Equipamentos Odontológicos Brasil), foi selecionada para a fase inicial de corte plastificação e condensação inicial da guta-percha no interior dos canais radiculares (fase Downpacck). Em seguida o Injetor Térmico do mesmo sistema preencheu o espaço criado dentro dos canais radiculares pela primeira fase da técnica de obturação através da injeção automática de guta-percha aquecida. Esta segunda fase é chamada de Repacking ou Back Fill. Em seguida, foi removido o excesso de material obturador e realizou-se leve compactação com condensadores de NiTi easy de NiTi (Easy Equipamentos Odontológicos, Brasil). Uma radiografia comprobatória foi realizada para averiguar a qualidade radiográfica da obturação.

#### *Obturação pela técnica de compactação lateral*

Foi realizada a obturação pela técnica de compactação lateral, nos grupos destinados para esta etapa da pesquisa. Foi realizada a conferência do tamanho da ponta de todos os cones utilizando o aparelho perfilômetro (Profile Projector Nikon modelo 6C-2) que apresenta grau de precisão na escala de milésimo de milímetro. A Radiografia digital foi realizada para cada amostra como comprovação do travamento do cone no CT estabelecido. O cimento AH Plus foi levado ao canal radicular, utilizando limas tipo Kerr #40 pré-curvada (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) e instrumento Lentulo #40 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça), introduzida a 3mm aquém do CT. Após esse procedimento, o cone principal #40, conicidade 0.2 envolto com cimento em toda sua extensão foi levado ao canal no CT. Espaçador B (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) foi utilizado, lateralmente ao cone principal, utilizando movimentos de penetração no sentido apical, sendo a força controlada por balança de precisão, não ultrapassando 1,5 Kg. Após sua remoção, um cone acessório tamanho XF (Tanari Indústria Ltda., São Paulo, Brasil) foi inserido no espaço criado, também envolto por cimento obturador. Estes procedimentos foram repetidos até que o espaçador não penetre mais do que o terço cervical (4 cones acessórios por canal). Após radiografia comprobatória, foi realizada a compactação



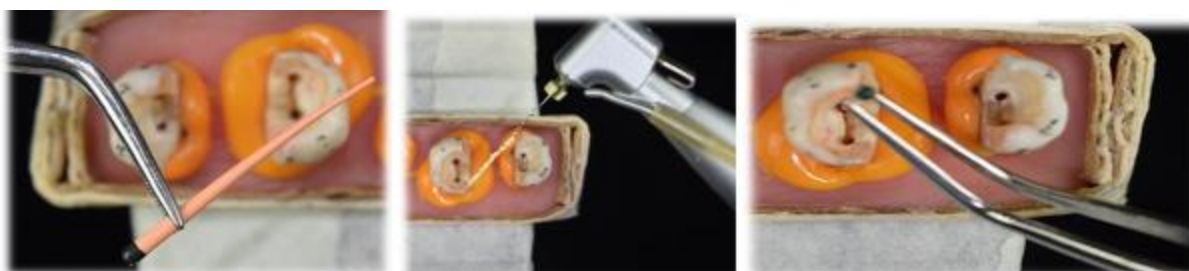
vertical com instrumento aquecido. Após a finalização desta etapa experimental, as amostras passaram por novo escaneamento.

#### *Obturação pela técnica do cone único:*

Para realizamos essa técnica, utilizamos a ponta Endo Tanari taper 40.04 (Tanari Indústria Ltda., São Paulo, Brasil) para obturar os canais instrumentados com a Sistema HyFlex EDM, sendo seu travamento no CT confirmado por exame radiográfico. Foi realizado a conferência do tamanho da ponta e da conicidade de todos os cones utilizando o aparelho perfilômetro (Profile Projector Nikon modelo 6C-2). O cimento a ser empregado foi levado ao canal radicular utilizando o instrumento lentulo #40 a 3mm aquém do CT e uma lima tipo kerr #40. pré-curvada. Em seguida, o cone selecionado foi envolto de cimento e levado ao canal radicular. Logo após, foi realizado corte cervical do cone com instrumento aquecido e em seguida leve compactação com condensadores easy de NiTi ( Easy Equipamentos Odontológicos, Brasil). Para finalizar, foi realizada uma radiografia comprobatória para certificar a qualidade radiográfica da obturação.

Após a obturação dos canais radiculares com suas respectivas técnicas e cimentos endodônticos, cada amostra foi selada com material restaurador provisório Cotosol (Vigodent, Rio de Janeiro, Brasil) e mantidos em estufa a temperatura de 37° C em umidade a 95% por 3 dias. As amostras foram novamente escaneadas em micro-CT de acordo com os parâmetros já definidos e padronizados. Nesta etapa, as análises através de sobreposição visaram avaliar a qualidade de obturação, bem como a presença de possíveis falhas apresentadas.

**Figura 7-** Raízes mesiais de molares inferiores incluídas em silicone de condensação, na fase de obturação



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

## Publicação 5

### *Avaliação da desinfecção de canais ovais de molares inferiores*

Este estudo tem como objetivo avaliar a efetividade dos instrumentos rotatórios de NiTi ProDesign Logic (PDL) e HyFlex EDM (HF) na desinfecção do sistema de canais radiculares contaminados com *E. faecalis*.

#### **Preparo dos espécimes**

Foram utilizadas 50 raízes distais de molares inferiores provenientes do Banco de Dentes Humanos da FOAr-UNESP, apresentando canal único, configuração oval e reto. As raízes foram radiografadas nos sentidos vestibulo-lingual e méso-distal a fim de se comprovar a inexistência de duplicidade de canais, ausência de curvatura ou outras condições que não permitissem relativa uniformidade da amostra. Para utilização apenas das raízes distais, estas foram seccionadas longitudinalmente e as coroas cortadas na junção cimento-esmalte em máquina de precisão Isomet 1000 (Buehler, Lake Bluff, IL. EUA), padronizando o comprimento radicular em 11 mm.

Para a exploração inicial dos canais, foram utilizadas limas tipo K #15 (Dentsply, Maillefer, Suíça), e o comprimento real de trabalho (CRT) sendo determinado a 1 mm aquém do forame apical, determinando assim CT em 10mm.

Os canais radiculares foram instrumentados inicialmente com instrumentos rotatórios ProDesign Logic (PDL) (Easy Equipamentos Odontológicos, Brasil) #25/.04, de forma que os canais já estejam inicialmente com o batente padronizado. A irrigação foi realizada com 2,5 mL de água destilada a cada troca de lima, utilizando uma seringa de 5 mL (Ultradent Products, EUA) e agulhas de irrigação NaviTip 29G (Ultradent Products, Inc, South Jordan, Utah, USA).

A região apical das raízes distais foram seladas com resina composta fotopolimerizável (3M ESPE, St. Paul, EUA) e a superfície radicular externa

impermeabilizada com duas camadas de adesivo epóxi Araldite (Brascola, Joinville, SC, Brasil), exceto na região cervical.

Para a confecção dos blocos de resina que fixaram os espécimes, foram confeccionados moldes à base de silicone por condensação (Zetaplus, Oranwash, Zhermack SpA, Badia Polesine, Itália), utilizando a tampa de uma agulha gengival descartável Unoject (Misawa, Medical Industry, Japão) marcada em 12 mm. Após a total presa do molde, será inserida a resina acrílica autopolimerizável JET (Artigos Odontológicos Clássico LTDA, São Paulo, SP, Brasil) e logo em seguida, a raiz distal foi incluída na resina, exceto a região cervical. Sendo assim, as 50 raízes distais estarão fixadas em blocos de resina acrílica para melhor manejo dos espécimes e evitar contaminação das raízes por contato.

Os espécimes foram esterilizados em autoclave a 121°C por 20 minutos e em seguida armazenados em geladeira.

**Figura 8-** Impermeabilização das raízes distais e confecção de blocos de resina acrílica



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

### **Contaminação dos espécimes e Coleta Inicial**

Os procedimentos microbiológicos foram realizados em câmara de fluxo laminar (Telstar Technologies, S.L.–BV 100, Terrassa, Espanha), sob condições assépticas, e as cepas padrão de *Enterococcus faecalis* (ATCC 29212) foram

ativadas por 6 horas. Após esse período, os espécimes de cada grupo foram depositados em tubos falcon de 50 mL e adicionado 25 mL de meio Tryptic Soy Broth - TSB (Disco, Detroit, MI, EUA), Uma suspensão bacteriana foi preparada em solução salina estéril, com densidade óptica ajustada em espectrofotômetro (modelo 600 Plus; Femto, São Paulo, SP, Brasil) a uma concentração equivalente a  $6 \times 10^7$  UFC mL<sup>-1</sup> e adicionada ao tubo Falcon contendo os espécimes, com exceção do tubo controle negativo, que permaneceram com solução esterilizada. Após o período de incubação de 24 h a 37 °C, os tubos de falcon foram centrifugados duas vezes em cada rpm, por 5 min (1.400; 2.000; 3.600; 5.600 rpm), em seguida foi realizada troca de metade do meio de cultura, utilizando a técnica de Ma et al. (2011) modificada. Este protocolo de centrifugação foi repetido no quarto e sexto dia e trocas de metade do volume do meio de cultura foram realizadas a cada 2 dia. O período de contaminação foi realizado por 21 dias (Guerreiro-Tanomaru et al. 2015). O grupo controle negativo, onde os espécimes ficaram em meio de cultura estéril foi mantido durante todo experimento e nos mostrou a efetividade da esterilização utilizada.

Após o período de contaminação, a coleta inicial (C1) de todos os canais radiculares foi realizada, introduzindo sequencialmente dois cones de papel absorventes estéreis de tamanho 25. (Tanari Industrial Ltda., SP, Brasil) por espécime no CT durante 1 minuto e posteriormente, foram transferidos para microtubos (Eppendorf) contendo 1 mL de solução salina estéril.

Os microtubos foram agitados por 1 minuto em vortex (AP56, Phoenix, Araraquara, SP, Brasil). Em seguida, diluições decimais seriadas e alíquotas de 20 µL foram semeadas em triplicata em placas de Petri contendo meio Tryptic Soy Agar-TSa. As placas foram incubadas em microaerofilia a 37 °C por 48 h. O crescimento bacteriano será determinado pela contagem de UFC mL<sup>-1</sup>.

**Figura 9-** Metodologia demonstrando a realização da coleta inicial, pós instrumentação e final, alterando os cones de acordo com o batente apical de cada coleta



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

#### *Devisão dos grupos experimentais e protocolo de instrumentação*

Os espécimes foram aleatoriamente distribuídos em 4 grupos experimentais conforme o instrumento rotatório a ser utilizado (PDL ou HF) e a substância química auxiliar empregada: NaOCl a 2,5% ou solução salina (Cloreto de sódio a 0,85%); e 2 grupos controles (Quadro 2).

**Quadro 2 -** Divisão dos grupos

Instrumento	Solução Irrigadora		Volume Total	n
PDL 25, .06+ 40, .05	Solução (SS)	Salina	6 mL	10
PDL 25, .06+ 40, .05	NaOCl (NaOCl)	2,5%	6 mL	10
HFEDM 25, .08 + 40, .04	Solução (SS)	Salina	6 mL	10
HFEDM 25, .08 + 40, .04	NaOCl (NaOCl)	2,5%	6 mL	10
Controle negativo	-	-	-	5
Controle positivo	-	-	-	5

G: grupo; PDL: ProDesign Logic; HF: HyFlex EDM; NaOCl: hipoclorito de sódio.

Os espécimes dos grupos experimentais foram preparados com os instrumentos PDL 25/.06 + 40/.05 ou HFEDM 25/.08 + 40/.04. Esses sistemas foram acionados por um contra-ângulo redutor e motores elétricos VDW Silver (VDW, Munich, Germany). Torque e velocidade foi de acordo com o preconizado por cada fabricante: PDL 25/.06 e 40/.05 - Torque 4 e Velocidade de 950 rpm e HFEDM 25/.08 e 40/.04 – Torque 2,5 e velocidade de 500 rpm.

Os espécimes foram irrigados com 2,5 mL de NaOCl a 2,5% ou 3 mL de solução salina (cloreto de sódio a 0,85%) a cada troca de instrumento, utilizando seringa de irrigação (Ultradent Products, EUA) e agulhas NaviTip 29G (Ultradent Products, Inc, South Jordan, Utah, USA) com o tope de borracha em 10 mm da ponta.

Os protocolos de instrumentação serão realizados dessa forma:

\*(n=10): PDL 25/.06 + PDL 40/.05 - (volume total: 6 mL solução salina);

\*(n=10): PDL 25/.06 + PDL 40/.05 (5 mL de NaOCl 2,5% + 1 mL de EDTA a 17%, agitado com LK #40 por 3 min) – (volume total: 6 mL);

\*(n=10): HF 25/.08 + HF 40/.04 - (volume total: 6 mL solução salina);

\*(n=10): HF 25/.08 + HF 40/.04 com NaOCl 2,5% + 1 mL de EDTA a 17% (agitado com LK #40 por 3 min) – (volume total: 6 mL);

\*(n=5): Controle positivo (dentes contaminados, sem instrumentação);

\* (n=5): Controle negativo (meio de cultura estéril).

Os espécimes que foram irrigados com NaOCl a 2,5%, receberam 1 mL de solução de tiosulfato de sódio a 1% por 1 minuto, utilizado como agente neutralizante. A coleta pós-instrumentação (C2) foi conduzida da mesma forma que a coleta inicial porém, utilizando cones de papel absorvente #40 e os canais radiculares foram preenchidos com solução salina estéril e novamente incubados a 37°C por 7 dias. Após este período, a coleta final (C3) foi realizada com o mesmo protocolo da coleta C2.

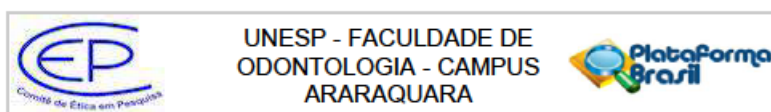
Após plaqueamento e incubação por 48 h, foi realizada a contagem de UFC mL<sup>-1</sup>. Após essa etapa, 2 amostras de cada grupo foram preparadas para análise em MCVL. Desta maneira, foi avaliado o remanescente bacteriano após protocolos de instrumentação realizados.

### **Microscopia confocal de varredura a laser (MCVL)**

No dia da coleta C3, dois espécimes de cada grupo foram seccionados em cortes transversais em máquina de precisão Isomet 1000 (Buehler, Lake Bluff, IL, EUA), obtendo dois slices de cada terço (cervical, médio e apical). Os slices foram lavados com EDTA a 17% por 3 min e foram coradas com corante *LIVE/DEAD BacLight Bacterial Viability stain* (Molecular Probes, Eugene, OR) para serem visualizadas no aparelho Microscópio de Fluorescência Confocal (Carl Zeiss LSM 800 com Airyscan) (MCVL), Oberkochen, Alemanha. Foi utilizada objetiva em cristal de fluorida de 10x em imersão à óleo e foram geradas imagens em fomato *Tiff*, do biofilme na parede dos canais radiculares e dos túbulos dentinários para exibir a fluorêscencia verde (células vivas) e flurescência vermelha (células mortas), com a finalidade de observar as bactérias não viáveis nos túbulos dentinários.

A quantidade de células bacterianas não viáveis (fluorescência vermelha) nos túbulos dentinários foi analisada por escores, como segue: Escore 0: 0% de células bacterianas não viáveis; Escore 1: 25% de células bacterianas não viáveis; Escore 3: 75% de células bacterianas não viáveis; e escore 4: túbulos dentinários completamente cobertos por células bacterianas não viáveis.

## ANEXO A – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Efetividade na desinfecção do sistema de canais radiculares por instrumentos rotatórios de NiTi: estudo ex-vivo

**Pesquisador:** Juliane Maria Guerreiro Tanomaru

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 02733718.0.0000.5416

**Instituição Proponente:** Faculdade de Odontologia de Araraquara - UNESP

**Patrocinador Principal:** FUND COORD DE APERFEICOAMENTO DE PESSOAL DE NIVEL SUP

#### DADOS DO PARECER

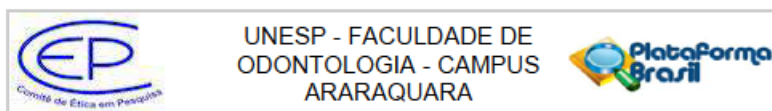
**Número do Parecer:** 3.099.852

#### Apresentação do Projeto:

Este estudo visa a efetividade dos instrumentos de NiTi: ProDesign Logic (PDL) e HyFlex EDM (HF), na desinfecção do SCR em raízes distais de molares inferiores contaminadas com cepa padrão de *Enterococcus faecalis*. Serão selecionadas 50 raízes distais de molares inferiores com canal único e reto, as coroas serão removidas e as raízes padronizadas em 11 mm de comprimento. Os canais radiculares serão instrumentados inicialmente com instrumento PDL 25/.04 para padronizar o batente foraminal e a superfície externa das raízes serão impermeabilizadas. Após esterilização, os espécimes serão contaminados por 21 dias com *E. faecalis*. A coleta inicial (C1) será realizada após período de contaminação. Os espécimes serão divididos em 4 grupos experimentais (n=10): G1: PDL 25/.06 + PDL 40/.05 com solução salina; G2: PDL 25/.06 + PDL 40/.05 com NaOCl 2,5% + EDTA 17%; G3: HF 25/.08 + HF 40/.04 com solução salina; G4: HF 25/.08 + HF 40/.04 com NaOCl 2,5% + EDTA 17%; e 2 grupos controles (n=5): G5: Controle positivo (sem preparo); G6: Controle negativo (meio de cultura estéril). Imediatamente, será realizada a coleta pós instrumentação (C2). Após 7 dias de incubação dos espécimes com salina, será realizada a coleta final (C3). Após plaqueamento será realizada contagem de UFC mL<sup>-1</sup>. Posteriormente, dois espécimes de cada grupo serão preparados para análise em microscopia de varredura (MEV) e Microscopia confocal de varredura a laser (MCVL). Os dados serão analisados estatisticamente por meio dos testes apropriados.

Endereço: HUMAITA 1680  
 Bairro: CENTRO CEP: 14.801-903  
 UF: SP Município: ARARAQUARA  
 Telefone: (16)3301-5459 E-mail: cep@foar.unesp.br





Continuação do Parecer: 3.099.652

**Situação do Parecer:**

Aprovado

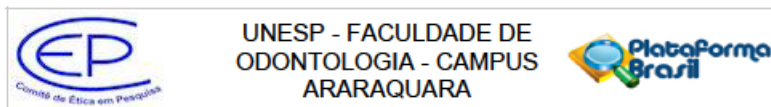
**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

ARARAQUARA, 21 de Dezembro de 2018

---

**Assinado por:**  
**Andréa Gonçalves**  
**(Coordenador(a))**



**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**

**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** Resistência à fadiga cíclica e análise em microtomografia computadorizada do preparo, limpeza e obturação em canais mesiais de molares inferiores empregando instrumentos Hyflex EDM e Pro Design Logic

**Pesquisador:** Juliane Maria Guerreiro Tanomaru

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 69756516.0.0000.5416

**Instituição Proponente:** Faculdade de Odontologia de Araraquara - UNESP

**Patrocinador Principal:** FUND COORD DE APERFEICOAMENTO DE PESSOAL DE NIVEL SUP

**DADOS DA NOTIFICAÇÃO**

**Tipo de Notificação:** Envio de Relatório Parcial

**Detalhe:**

**Justificativa:** Foram preenchidas todas as solicitações do formulário. Pedimos desculpas pelo

**Data do Envio:** 24/09/2018

**Situação da Notificação:** Parecer Consubstanciado Emitido

**DADOS DO PARECER**

**Número do Parecer:** 3.013.747

**Apresentação da Notificação:**

Envio de relatório parcial.

**Objetivo da Notificação:**

Relatório Parcial.

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

A pesquisadora não relata quaisquer intercorrências.

**Comentários e Considerações sobre a Notificação:**

O relatório trás resultados dos objetivos que envolvem a análise da capacidade de limpeza (objetivo 1).

**Endereço:** HUMAITA 1680  
**Bairro:** CENTRO **CEP:** 14.801-903  
**UF:** SP **Município:** ARARAQUARA  
**Telefone:** (16)3301-6459 **E-mail:** cep@foar.unesp.br

**Não autorizo a publicação deste trabalho pelo prazo de até 2 anos após a data  
de defesa**

**(Direitos de publicação reservado ao autor)**

**Araraquara, 8 de novembro de 2019**

**Mariana Mena Barreto Pivoto João**