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

PAUL ERNESTO BACA WIESSE

**Impacto da ativação sônica e ultrassônica do cimento obturador
dos canais radiculares na adaptação e resistência de união à
dentina**

**Ribeirão Preto
2016**

PAUL ERNESTO BACA WIESSE

**Impacto da ativação sônica e ultrassônica do cimento obturador
dos canais radiculares na adaptação e resistência de união à
dentina**

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

Orientador: Prof. Dr. Jesus Djalma Pécora

**Ribeirão Preto
2016**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Assinatura do autor: _____

Data: ____/____/2016

Ficha Catalográfica

Wiesse, Paúl Ernesto Baca

Impacto da ativação sônica e ultrassônica do cimento obturador dos canais radiculares na adaptação e resistência de união à dentina

90p.:il., 1cm

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

Orientador: Prof. Dr. Pécora, Jesus Djalma

1. Odontologia. 2. Endodontia. 3. Obturação do canal radicular.
4. Cimento endodônico. 5. Ultrassom . 6. Resistência de união.
7. Microscopia confocal.

WIESS, P. E. B. **Impacto da ativação sônica e ultrassônica do cimento obturador dos canais radiculares na adaptação e resistência de união à dentina.** 56p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2016.

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr. Jesus Djalma Pécora (Orientador)

Instituição: Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto/USP

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof(a).Dr(a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof(a).Dr(a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof(a).Dr(a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof(a).Dr(a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

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

Dedicatória

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos pais **Alberto e Silvia**, que merecem reconhecimento especial em gratidão pelo apoio e força inabalável, sem vocês não chegaria até aqui.

É pensando em vocês que luto a cada dia.

A mis queridos padres **Alberto y Silvia**, quienes merecen un reconocimiento especial en agradecimiento por todo el apoyo y la fuerza inquebrantable , sin ustedes no hubiese llegado hasta aqui. Y pensando en ustedes es que lucho todos los días.

À minha esposa, **Tati**, pelo companherismo, colaboração, compreensão, carinho e amor durante esta etapa importante de nossas vidas, incentivando e aceitando minhas escolhas, dando suporte nos meus inúmeros momentos de ausência. TE AMO!

*A mi esposa, **Tati**, por su compañerismo, colaboración, comprensión, cariño y amor, durante esta etapa importante de nuestra vida, alentando y aceptando mis decisiones, dando el soporte necesario en mis innumerables momentos de ausencia. TE AMO!*

Aos meus filhos, **Adriano e Alessandra**, razão de ser da minha determinação e crença no futuro, obrigado por me tornarem uma pessoa melhor a cada dia. AMO VOCÊS!

*A mis hijos; **Adriano y Alessandra**, ustedes son la razón de mis decisiones y fé en el futuro, gracias por hacerme una mejor persona cada día. ¡ LOS AMO !*

A toda minha família, especialmente a meus irmãos **Beto, Dania e Luis Enrique**.

*A toda mi familia, especialmente a mis hermanos **Beto, Dania y Luis Enrique***

Agradecimientos

AGRADECIMENTOS

A DEUS, Grande Arquiteto do Universo, por guiar minha vida sempre.

A DIOS, *Gran Arquitecto del Universo, por guiar mi vida siempre.*

Ao **Prof. Dr. Jesus Djalma Pécora**, pela orientação, sugestões e críticas que muito contribuíram para meu desenvolvimento como profissional e como pessoa. Obrigado por todas as oportunidades a mim confiadas.

Al Prof. Dr. Jesus Djalma Pécora, por su orientación, sugerencias y críticas que han contribuido en gran medida en mi desarrollo como profesional y como persona. Gracias por todas las oportunidades que me ha dado.

Ao **Prof. Dr. Manoel Damião de Sousa Neto**, pelos conhecimentos transmitidos, pela orientação segura e pela capacidade de estimular a formação de pesquisadores.

Al Prof. Dr. Manoel Damião de Sousa Neto, por los conocimientos transmitidos, por la orientación segura y la capacidad de estimular la formación de investigadores.

À **Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo** pela oportunidade de realizar meu curso de Pós-Graduação, e a seus professores, a quem devo grande parte de minha formação intelectual e científica.

A la Facultad de Odontologia de Ribeirão Preto de la Universidad de São Paulo, por la oportunidad de realizar el curso de post grado, gracias a sus profesores, a quienes debo gran parte de mi formación intelectual y científica.

Aos Professores do curso de Doutorado **Prof. Dr. Manoel Damião de Souza Neto**, **Prof. Dr. Antônio Miranda da Cruz Filho**, **Prof. Dr. Luiz Carlos Pardini**, **Prof. Dr. Luiz Pascoal Vansan**, **Profa. Dra. Simone Cecilio Hallak Regalo**, **Profa. Dra. Regina Guenka Palma Dibb**, **Prof. Dr. Ricardo Gariba Silva**.

A los Profesores del curso de Doctorado Prof. Dr. Manoel Damião de Souza Neto, Prof. Dr. Antônio Miranda da Cruz Filho, Prof. Dr. Luiz Carlos Pardini, Prof. Dr. Luiz Pascoal Vansan, Profa. Dra. Simone Cecilio Hallak Regalo, Profa. Dra. Regina Guenka Palma Dibb, , Prof. Dr. Ricardo Gariba Silva.

Dra. Débora Fernandes Costa Guedes, do Laboratório de Gerenciamento de Resíduos Odontológicos da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, pela transmissão do conhecimento. Todos se mostraram importantes para minha formação intelectual e como ser humano.

***Dra. Débora Fernandes Costa Guedes**, del Laboratorio de Gerenciamento de Resíduos Odontológicos de la Facultad de Odontología de la Universidad de São Paulo, por la transmisión de conocimientos. Todos fueron importantes para mi formación intelectual y como ser humano.*

Ao **Rodrigo Dantas Pereira**, pela sua dedicação, valiosa ajuda e imprescindível contribuição para a realização deste trabalho.

*A **Rodrigo Dantas Pereira**, por su dedicación, valiosa ayuda e imprescindible contribución para la realización de este trabajo.*

À **Graziela Bianchi Leoni, Samuel de Ben, Polliana Villaça, Ricardo Machado, Jardel Francisco Mazzi**, pela sua amizade, companheirismo e apoio na realização de muitos trabalhos em conjunto.

*Á **Graziela Bianchi Leoni, Samuel de Ben, Polliana Villaça, Ricardo Machado, Jardel Francisco Mazzi**, por su amistad, compañerismo y apoyo en la realización de muchos trabajos en conjunto.*

Aos meus amigos **Luiz Eduardo Sousa Flamini e Bruno Crouzeta**, pela amizade e ajuda constante.

*A mis amigos **Luiz Eduardo Sousa Flamini, Bruno Crouzeta**, por la amistad y ayuda constante.*

Ao amigo **Carlos Feitosa dos Santos**, obrigado pelo apoio, acolhimento e disponibilidade de me auxiliar em todo momento.

*A mi amigo **Carlos Feitosa dos Santos**, gracias por el apoyo, acogimiento e disponibilidad para ayudarme en todo momento.*

Ao amigo **Reginaldo Santana da Silva**, companheiro de laboratório, cuja ajuda foi constante na realização de trabalhos.

*A mi amigo **Reginaldo Santana da Silva**, compañero de laboratorio, cuya ayuda fue constante en la realización de nuestros trabajos.*

Às funcionárias do Departamento de Odontologia Restauradora: **Luíza, Amália, Maria Isabel e Rosângela** que sempre se mostraram dispostas a ajudar.

*A las funcionárias del Departamento de Odontologia Restauradora: **Luíza, Amália, Maria Isabel e Rosângela** que siempre se mostraron dispuestas a ayudar.*

A todos os meus familiares e amigos, que de alguma forma contribuíram com o meu desenvolvimento.

A todos mis familiares y amigos, que de alguna forma contribuyeron com mi desarrollo.

À **CAPES** – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – pelo apoio financeiro para realização do Doutorado.

*A la **CAPES** – Coordinadora de Perfeccionamiento del Personal de Nível Superior – por el apoyo financeiro para la realización del Doctorado.*

*R*esumo

RESUMO

WIESS, P. E. B. **Impacto da ativação sônica e ultrassônica do cimento obturador dos canais radiculares na adaptação e resistência de união à dentina**. 90p. Ribeirão Preto, 2016. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2016.

O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência de união, a penetração e a adaptação à dentina radicular de cimentos obturadores à base de resina epóxica e de silicato de cálcio com e sem ativação sônica e ultrassônica. Raízes de caninos superiores com 16 mm de comprimento foram submetidas a preparo biomecânico com instrumentos rotatórios de níquel titânio sob irrigação constante com NaOCl 2,5% e irrigação final com EDTA 17%. As raízes foram distribuídas em grupos de acordo com os cimentos obturadores: AH Plus e MTA Fillapex. Cada grupo foi subdividido em função da ativação do cimento obturador (n=13): sem ativação; ativação sônica por 30 segundos; ativação ultrassônica por 30 segundos. Em cada subgrupo, a manipulação dos cimentos obturadores foi realizada de acordo com as instruções dos fabricantes para 10 espécimes, para os 3 espécimes restantes, o cimento foi acrescido de Rodamina B 0,1% previamente à manipulação. A obturação foi realizada de acordo com o protocolo de cada subgrupo em relação ao cimento e ativação, utilizando-se a técnica de condensação lateral. Após três vezes os tempos de endurecimento dos cimentos, os espécimes foram seccionados obtendo-se 3 *slices* de 1,0 mm de espessura de cada terço radicular. Dois *slices* de cada terço foram submetidos ao teste de push-out e o padrão de falha foi determinado. O terceiro *slice* de cada terço radicular foi submetido à análise qualitativa da adaptação do cimento à dentina radicular e presença de vazios, por meio de microscopia confocal de varredura a laser. Nos espécimes em que o cimento foi acrescido de Rodamina B 0,1%, avaliou-se a penetração do cimento na dentina radicular por microscopia confocal de varredura a laser com fluorescência. Os dados foram analisados por testes estatísticos paramétricos e não-paramétricos. O cimento AH Plus ($2,58 \pm 1,21$) apresentou maior resistência de união comparado ao MTA Fillapex ($1,45 \pm 0,71$) ($p < 0,122$). A ativação ultrassônica ($2,64 \pm 1,44$) propiciou maior resistência de união comparada aos grupos sem ativação ($1,58 \pm 0,73$) ($p < 0,0001$) e com ativação sônica ($1,83 \pm 0,85$) ($p < 0,0001$), não havendo diferença entre estes ($p = 0,3303$). O terço cervical apresentou maior resistência de união ($2,48 \pm 1,49$) comparado ao médio ($2,08 \pm 0,94$) ($p = 0,0003$) e apical ($1,48 \pm 0,58$) ($p < 0,001$). Para o cimento MTA Fillapex houve predomínio de falhas adesivas mistas em todos os grupos, enquanto que para o cimento AH Plus houve predomínio de falhas adesivas mistas para os grupos sem ativação e ativação ultrassônica e falhas adesivas mistas e adesivas ao material obturador para o grupo de ativação sônica. A ativação ultrassônica promoveu, independente do cimento obturador, maior número, densidade e extensão de *tags*, com massa obturadora mais homogênea e adaptada às paredes do canal radicular. A ativação sônica, por sua vez, apresentou número, densidade e extensão de *tags* similares ao grupo sem ativação, no entanto a massa obturadora apresentou desadaptações e formação de bolhas. A ativação ultrassônica impactou na maior resistência de união, penetração, densidade e extensão de *tags* e melhor adaptação do cimento a dentina radicular, ao contrário da ativação sônica que não aumentou a resistência de união e penetração de *tags* e proporcionou maior desadaptação e inclusão de vazios na massa obturadora.

*A*bstract

ABSTRACT

WIESS, P. E. B. **Impact of sonic and ultrasonic activation of root canal sealer in the adaptation and bond strength to dentin.** 90p. Ribeirão Preto, 2016. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2016.

The aim of this study was to evaluate the bond strength, penetration and adaptation to the root dentin sealers based on epoxy resin and calcium silicate with and without sonic and ultrasonic activation. Maxillary canine roots with 16 mm length were submitted to biomechanical preparation with nickel titanium rotary files, under constant irrigation with 2.5% NaOCl and final irrigation with 17% EDTA. The roots were divided into groups according to the sealers: AH Plus and MTA Fillapex. Each group was subdivided based on sealer activation (n = 13): no activation; sonic activations (30 seconds); ultrasonic activation (30 seconds). In each subgroup, the sealer manipulation was performed according to the manufacturer's instructions for 10 specimens, for the 3 remaining specimens, the Rhodamine B 0.1% was incorporated to the sealer prior to manipulation. The root canal filling was performed according to the protocol of each group relative to the sealer and activation, using the lateral condensation technique. After three times the sealer setting times, the specimens were sectioned and obtained 3 slices of 1.0 mm thickness of each root third. Two slices of each third were submitted to the push-out test and the failure pattern was determined. The third slice of each root third was submitted to qualitative analysis of sealer and root dentin adaptation and the presence of voids, by means of confocal laser scanning microscopy. In specimens in which Rhodamine B 0.1% was added in the sealer was evaluated the sealer penetration in root dentin by confocal laser scanning fluorescence. The data were analyzed using parametric and non-parametric statistical tests. The AH Plus (2.58 ± 1.21) showed higher bond strength compared to MTA Fillapex (1.45 ± 0.71) ($p < 0.122$). The ultrasonic activation (2.64 ± 1.44) provided higher bond strength compared to no activation groups (1.58 ± 0.73) ($p < 0.0001$) and sonic activation (1.83 ± 0.85) ($p < 0.0001$), with no difference between them ($p = 0.3303$). The cervical third showed higher bond strength (2.48 ± 1.49) compared to the middle (2.08 ± 0.94) ($p = 0.0003$) and apical thirds (1.48 ± 0.58) ($P < 0.001$). For the MTA Fillapex there was a predominance of mixed adhesive failures in all groups, whereas for AH Plus there was a predominance of mixed adhesive failures for groups without activation and ultrasonic activation and mixed adhesive failures and adhesives to the filling material for the sonic activation group. Ultrasonic activation promoted, regardless of the sealer, the greater number, density and length tags with more homogenous and adapted root canal filling to the root canal walls. On the other hand, the sonic activation, presented number, density and length of tags similar to the group without activation, however the root canal filling showed mismatches and blistering. Ultrasonic activation impacted the highest bond strength, penetration, density and length tags and better adaptation of the sealer root dentin, unlike the sonic activation that not increased bond strength and penetration tags and provided greater mismatch and the inclusion of voids in the root canal filling.

Sumário

SUMÁRIO

Introdução.....	31
Proposição.....	37
Materiais e Métodos	41
Resultados	53
Discussão	69
Conclusão	77
Referências.....	81

*I*ntrodução

A obturação do sistema de canais radiculares deve propiciar adequado selamento a fim de impedir a percolação de fluidos para o interior do canal e prevenir a reinfecção, dando condições para que ocorra o reparo da região apical e periapical (ELDENIZ; ORSTAVIK, 2009; GUIMARÃES *et al.*, 2014; OZKOCAK; SONAT, 2015). Nesse sentido, a qualidade da obturação está relacionada com o material e com a técnica obturadora empregada (OZKOCAK; SONAT, 2015; SOO *et al.*, 2015; VIAPIANA *et al.*, 2015; HORIUCHI *et al.*, 2016; SCHÄFER *et al.*, 2016).

Para a obturação do sistema de canais radiculares é necessária a utilização de cones de guta-percha associados ao cimento obturador, uma vez que este deve preencher os espaços entre guta-percha e a parede dentinária, bem como irregularidades e túbulos dentinários, promovendo adesão do material obturador à dentina radicular (ORSTAVIK, 2005).

Os cimentos obturadores dos canais radiculares, em relação à composição, podem ser classificados em: cimentos à base de óxido de zinco eugenol que contêm ou não medicamentos, cimentos que contêm hidróxido de cálcio, cimentos à base de ionômero de vidro, cimentos resinosos à base de resina epóxi e de metacrilato, cimentos à base silicone (GOLDBERG, 1982; RESENDE *et al.*, 2009; MARINBAUZA *et al.*, 2010; FLORES *et al.*, 2011) e mais recentemente os cimentos biocerâmicos (OZKOCAK; SONAT, 2015) e de silicato de cálcio (AMOROSO-SILVA *et al.*, 2014).

Dentre os cimentos à base de silicato de cálcio, o MTA Fillapex (Angelus Indústria de Produtos Odontológicos Ltda, Londrina, PR, Brasil) é composto por resina de silicato, nanopartículas de sílica, resina diluente, resina natural, óxido de bismuto, pigmentos e MTA (AMOROSO-SILVA *et al.*, 2014), e apresenta baixa solubilidade e desintegração (VITTI *et al.*, 2013; AMOROSO-SILVA *et al.*, 2014;

PRATI; GANDOLFI, 2015), escoamento (SILVA *et al.*, 2013; TANOMARU-FILHO *et al.*, 2013; AMOROSO-SILVA *et al.*, 2014; VIAPIANA *et al.*, 2014), pH alcalino (SILVA *et al.*, 2013; PRATI; GANDOLFI, 2015), radiopacidade adequada (SILVA *et al.*, 2013; TANOMARU-FILHO *et al.*, 2013), além de atividade antimicrobiana (OZCAN *et al.*, 2013, MADINE *et al.*, 2014).

O cimento à base de resina epóxica AH Plus (Dentsply-De Trey, Konstanz, Alemanha) tem sido extensivamente avaliado em relação às suas propriedades físico-químicas, resposta biológica e adaptação interfacial (LEONARDO *et al.*, 2008; MARCIANO *et al.*, 2011; HERGT *et al.*, 2015), sendo considerado padrão-ouro devido à baixa solubilidade (CARVALHO-JUNIOR *et al.*, 2003; HERGT *et al.*, 2015), escoamento, selamento apical (SOUSA-NETO *et al.*, 2002; VERSIANI *et al.*, 2006; NAGAS *et al.*, 2009; DE-DEUS *et al.*, 2012; HERGT *et al.*, 2015), biocompatibilidade (SILVEIRA *et al.*, 2011; HERGT *et al.*, 2015) e adesão à dentina radicular (FISHER *et al.*, 2007; NEELAKANTAN *et al.*, 2011; BRITO-JUNIOR *et al.*, 2015; HERGT *et al.*, 2015; MARTINS *et al.*, 2015).

Em relação à técnica de obturação do sistema de canias radiculares, a condensação lateral do material obturador é uma das mais utilizadas (CARNEIRO *et al.*, 2012), no entanto, apresenta limitações em canais radiculares irregulares, achatados ou com sistemas de canais radiculares complexos (WELLER *et al.*, 1997; GOLDBERG *et al.*, 2001). Diante disso foram propostas, ao longo dos anos, diversas técnicas obturadoras, entre elas as termomecânicas que promovem condensação apical e lateral do material obturador contra as paredes do canal favorecendo o preenchimento homogêneo das irregularidades e canais acessórios (LEONARDO *et al.*, 2009; MICHELOTTO *et al.*, 2010). Já as termoplásticas promovem a plastificação da guta-percha formando massa homogênea compactada

em direção à região apical propiciando o selamento apical, por meio do preenchimento do sistema de canais com maior homogeneidade do material obturador (GOLDBERG *et al.*, 2001; CATHRO; LOVE, 2003; KARABUCAK *et al.*, 2008; HORIUCHI *et al.*, 2016).

Estudos recentes têm demonstrado a presença de gaps e espaços vazios após obturação com utilização de diferentes técnicas de obturação dos canais radiculares (GUIMARÃES *et al.*, 2014; CELIKTEN *et al.*, 2015; SOO *et al.*, 2015; VIAPIANA *et al.*, 2015; SCHÄFER *et al.*, 2016), diante disso, Guimarães *et al.* (2014) propuseram a ativação ultrassônica do cimento endodôntico com objetivo de espalhar o cimento no interior do canal radicular e promover melhor adaptação interfacial entre o cimento obturador e as paredes do canal radicular.

A literatura tem demonstrado que a utilização de insertos ou limas associadas a dispositivos ultrassônicos com frequência de 25 a 30 KHz (VAN DER SLUIS *et al.*, 2005; GU *et al.*, 2009; WISEMAN *et al.*, 2011; JIANG *et al.*, 2016) durante a irrigação, promove a transmissão acústica e cavitação, permitindo que o irrigante atue em irregularidades e áreas não tocadas durante o preparo biomecânico dos canais radiculares (VAN DER SLUIS *et al.*, 2005). De forma análoga, a utilização de pontas ultrassônicas durante a obturação endodôntica possibilita que o cimento obturador seja pressionado contra as paredes dos canais radiculares, facilitando sua adaptação e penetração na dentina (GUIMARÃES *et al.*, 2014).

Alternativa para agitação de soluções irrigantes são os dispositivos sônicos que atuam por meio de pontas flexíveis descartáveis associados a uma peça de mão portátil que produz uma vibração com frequência de 1 a 6 KHz (RUDDLE, 2007; GU *et al.*, 2009; JIANG *et al.*, 2016). A vibração das pontas, aliada a movimentos curtos de entrada e saída do canal, atua sinergicamente criando um fenômeno

hidrodinâmico (RUDDLE, 2007) responsável por maior penetração de solução irrigante em canais acessórios (DE GREGORIO *et al.*, 2009) e melhor remoção de pastas de hidróxido de cálcio (ALTURAIKI *et al.*, 2015) e antibiótica tripla (AKMAN *et al.*, 2015).

Considerando o potencial da ativação do cimento por meio de espaçadores digitais adaptados a aparelhos ultrassônicos como demonstrado por Guimarães *et al.* (2014) e o desenvolvimento de aparelhos sônicos (RUDDLE, 2007; GU *et al.*, 2009), torna-se importante avaliar a influência da ativação ultrassônica com insertos interiços e ativação sônica dos cimentos endodônticos na qualidade da obturação do sistema de canais radiculares.

*P*roposição

A proposta deste estudo foi avaliar a qualidade da obturação endodôntica no que se refere à resistência de união, à penetração e à adaptação de cimentos endodônticos à dentina de canais radiculares obturados com cimento à base de resina epóxica e de silicato de cálcio, com e sem ativação sônica e ultrassônica.

Assim, foram avaliados:

- A resistência de união ao cisalhamento por extrusão (*push-out*) de material obturador em obturações realizadas pela técnica de condensação lateral com os cimentos AH Plus e MTA Fillapex, com e sem ativação sônica e ultrassônica.
- O padrão de falhas após a desunião, por meio de microscópio digital.
- A penetração dos cimentos na dentina radicular, por meio de análise qualitativa em microscopia confocal de varredura a laser com fluorescência.
- Presença de gaps na interface entre os materiais obturadores e a dentina, por meio de análise qualitativa 3D em microscopia confocal de

Materiais e Métodos

Delineamento experimental

1. Unidade experimental: Raízes de caninos superiores obturadas pela técnica de condensação lateral;
2. Fatores em estudo: I - Cimento obturador (AH Plus; MTA Fillapex); II - Ativação do cimento obturador (sem ativação; ativação sônica; ativação ultrassônica).
3. Variáveis respostas: I - Resistência de união do cimento à dentina radicular (MPa); II - Penetração do cimento obturador na dentina radicular; III - Adaptação do material obturador à dentina radicular; IV – Presença de vazios no material obturador.
4. Métodos de análise: I - Teste de push-out; II - Análise qualitativa por microscopia confocal de varredura a laser com fluorescência; III - Análise qualitativa 3D por microscopia confocal a laser.

O delineamento experimental está representado esquematicamente na Figura 1.

Figura 1. Fluxograma da sequência metodológica do estudo.

Seleção e preparo da amostra

Após revisão e aprovação do presente estudo pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Montes Claros pelo processo nº 250.009 (Anexo 1), foram obtidos 100 caninos superiores unirradiculares humanos hígidos, mantidos em solução de timol a 0,1% e posteriormente lavados em água corrente para eliminação dos resíduos de timol.

Após esse procedimento, os dentes foram limpos em sua superfície radicular externa por meio de raspagem com ultrassom (Profi II Ceramic, Dabi Atlante Ltda, Ribeirão Preto, SP, Brasil). Em seguida, foram examinados macroscopicamente e radiografados nos sentidos orto-radial e mesio-radial em aparelho de raioX (WYS, Softys Dental, Paris, França). Foram selecionados dentes seguindo os seguintes critérios: raiz reta e completamente formada, com relação de dimensão vestibulo-lingual e mesio-distal $\leq 1,5$, apresentando um único canal, sem calcificações, reabsorções ou trincas.

As coroas dentárias foram removidas na região cervical utilizando disco diamantado (KG Sorensen, Barueri, SP, Brasil) em baixa rotação, sob refrigeração, permanecendo raízes com 16 mm de comprimento. Os espécimes foram inseridos separadamente em tubos de polipropileno tipo Eppendorf (Eppendorf do Brasil Ltda, São Paulo, SP, Brasil), contendo 1 mL de água destilada, e armazenados a 37°C por 72 horas, visando sua reidratação.

Inicialmente, o canal radicular foi irrigado com 2 mL de hipoclorito de sódio (NaOCl) a 2,5% com seringa plástica descartável (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, EUA) e agulha NaviTip com diâmetro 0,30 mm (Ultradent Products). Foi realizada a exploração do canal com lima manual tipo K #15 de aço inoxidável

(Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Suíça), seguida do preparo do terço cervical com instrumentos do sistema rotatório K3 (Sybronendo, Orange, CA, USA), acionados por motor elétrico (VDW Silver, VDW GmbH, Munique, Alemanha), com velocidade de 350 rpm, na sequência: 25/.12, 25/.10, 25/.08. A cada troca de instrumento, os canais radiculares foram irrigados e inundados com 2 mL de NaOCl a 2,5%.

Após preparo cervical, o canal foi irrigado com 5 mL de NaOCl e introduziu-se uma lima tipo K #10, de forma passiva, até que sua ponta coincidisse com o forame apical, alcançando o comprimento real do dente (CRD). Desta medida subtraiu-se 1,0 mm para o estabelecimento do comprimento de trabalho (CT). Foram selecionados 78 caninos superiores que apresentavam diâmetro anatômico de 250 µm, determinado clinicamente com lima tipo K #25.

O preparo biomecânico dos canais radiculares foi concluído com instrumentos do sistema rotatório K3 (Sybronendo), acionados por motor elétrico (VDW Silver, VDW GmbH), com velocidade de 350 rpm, na sequência: .25/.02, 25/.04, 30/.02, 30/.04, 35/.02, 40/.02, 45/.02 e finalizando com 50/.02. A cada troca de instrumento, os canais radiculares foram irrigados e inundados com 2 mL de NaOCl 2,5%.

Uma vez finalizado o preparo, os canais foram irrigados com 5 mL de NaOCl e em seguida, preenchidos com 5 mL de ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) a 17% durante 5 minutos para remoção da *smear layer*. Após isso, os canais foram irrigados com 10 mL de água destilada para neutralizar os efeitos residuais do NaOCl e do EDTA (NAGAS et al., 2009). Foi realizada a secagem com pontas de papel absorvente 50/.02 (Dentsply Maillefer).

Para a obturação dos canais radiculares pela técnica da condensação lateral, os dentes foram distribuídos em 2 grupos conforme o cimento obturador utilizado: AH Plus e MTA Fillapex. Cada grupo foi subdividido em três subgrupos (n=13)

conforme a ativação do cimento obturador no momento da obturação: sem ativação, com ativação sônica (EndoActivator, Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, EUA) e com ativação ultrassônica (EMS, Le Sentier, Suíça).

A composição química dos cimentos utilizados e seus respectivos fabricantes estão descritos na Tabela I.

Tabela I. Fabricantes e composição química dos cimentos utilizados no estudo.

Cimento	Fabricante	Composição química*
AH Plus	Dentsply De Trey, Konstanz, Alemanha	<i>Pasta A</i> Resina epóxi de Bisfenol-A Resina epóxi de Bisfenol-F Tungstênio de cálcio, Óxido de zircônio, Silício, Óxido de ferro
		<i>Pasta B</i> Dibenzil-diamina Amino adamantana Tungstênio de cálcio, Óxido de zircônio, Silício, Óleo de silicone
MTA Fillapex	Angelus, Londrina, PR, Brasil	Resina salicilato, Resina diluente, Resina natural, Óxido de Bismuto, Sílica nanoparticulada, agregado de trióxido mineral e pigmentos.

*Conforme informações do fabricante.

Foram selecionados cones de guta percha 50.02 (Dentsply Maillefer, Baillagues, Suíça) que foram inseridos até o CT e sua adaptação foi aferida por meio tátil e visual e, em seguida, realizadas tomadas radiográficas orto-radial e mesio-radial para a confirmação radiográfica de adaptação na região apical.

Em cada subgrupo, a manipulação dos cimentos obturadores foi realizada de acordo com as instruções dos fabricantes para 10 espécimes. Para os 3 espécimes restantes, o cimento foi acrescido de Rodamina B 0,1% previamente à manipulação.

Em cada subgrupo, foram seguidos os seguintes protocolos na fase inicial da obturação dos espécimes, de acordo com a ativação dos cimentos:

Subgrupo sem ativação do cimento: previamente ao procedimento de obturação, uma lima tipo K #25 (Dentsply Maillefer) foi utilizada em movimento de rotação no sentido anti-horário para preencher o canal radicular com cimento obturador (SCHAFER et al., 2012).

Subgrupo sem ativação do cimento: o cimento endodôntico foi levado com uma lima tipo K #25 (Dentsply Maillefer) em movimento de rotação no sentido anti-horário para preencher o canal radicular (SCHAFER et al., 2012).

Subgrupo ativação sônica: foi realizado o mesmo procedimento do subgrupo sem ativação, e em seguida o cimento foi ativado com EndoActivator durante 20 segundos (10.000 ciclos por minuto) utilizando-se uma ponta sônica 20/.02 inserida no canal a 2 mm do comprimento de trabalho sem tocar nas paredes.

Subgrupo ativação ultrassônica: foi realizado o mesmo procedimento do grupo sem ativação, e em seguida o cimento foi ativado com aparelho ultrassom durante 20 segundos utilizando-se um inserto ultrassônico 20/.02 na potência 1, que foi inserido no canal a 2 mm do comprimento de trabalho sem tocar nas paredes.

Após os protocolos de ativação do cimento obturador, os espécimes foram obturados pela técnica de condensação lateral. O cone padronizado 50.02 foi untado com o cimento e introduzido com movimento circular e gradativo até o CT. Foram utilizados espaçadores digitais tipo C (Dentsply Maillefer) introduzidos nos canais radiculares lateralmente ao cone de guta-percha principal, alcançando profundidade de 2 a 3 mm do CT e forçando o cone principal contra a parede do canal radicular. Cones de guta-percha acessórios Fine (Dentsply Maillefer), untados com cimento, foram inseridos nos espaços criados. A inserção de cones acessórios ocorreu até que foi verificado o completo preenchimento dos canais radiculares. Radiografias com angulações orto-radial e mesio-radial foram obtidas para comprovação da

qualidade da obturação. Em seguida, o excesso de material obturador foi removido da entrada do canal radicular com auxílio de condensador previamente aquecido. Com a guta-percha ainda plastificada, realizou-se a condensação vertical da massa obturadora usando condensador manual #4 (Odous – Belo Horizonte, MG, Brasil), com pressão leve e firme em direção apical por 5 segundos. Em seguida, foi realizada a limpeza final com pensos de algodão umedecidos com álcool.

Foi seguido protocolo de instrumentar e obturar um espécime de cada subgrupo por vez, intercalando, assim, os seis subgrupos a cada espécime obturado.

Todos os espécimes foram armazenados a 37°C e 100% de umidade, aguardando-se um período três vezes maior do que o tempo de presa de cada cimento (CARNEIRO et al., 2012).

Para obtenção dos *slices*, os espécimes foram individualmente fixados com cola quente em placas de resina acrílica, com seu longo eixo paralelo à superfície das placas, e estas foram acopladas à máquina de corte de precisão (Isomet 1000, Buehler, Lake Forest, IL, EUA). Utilizou-se um disco diamantado de 0,3 mm de espessura (South Bay Technology, San Clement, CA, EUA), sob refrigeração constante, para realizar cortes no sentido mesio-distal, perpendicularmente ao longo eixo da raiz, à velocidade de 350 rpm. De cada terço da raiz foram obtidos três *slices* de dentina com 1,0 ($\pm 0,1$) mm, sendo que dois foram submetidos ao teste de push-out para avaliação da resistência de união dos cimentos à dentina e o outro *slice* à análise qualitativa em microscopia confocal de varredura a laser para avaliação 3D da adaptação do cimento à dentina radicular.

Os 3 espécimes, de cada subgrupo, obturados com cimento endodôntico acrescido de Rodamina B 0,1% foram submetidos à análise qualitativa da

penetração dos cimentos na dentina radicular, por meio de microscopia confocal de varredura a laser com fluorescência.

Avaliação da resistência de união ao cisalhamento por extrusão (push-out)

Para o teste de push-out, foram utilizados dois *slices* obtidos de cada terço, de cada espécime. Os corpos de prova foram individualmente fixados em base metálica de aço inoxidável acoplada a porção inferior da máquina de ensaios universal Instron Modelo 3345 (Instron, Canton, MA, EUA) contendo um orifício de 2,5 mm de diâmetro em sua porção central para o terço cervical e médio e 1,0 mm para o terço apical. O corpo de prova foi posicionado na mesma direção do orifício da base metálica com sua face cervical voltada para baixo. Esse método garantiu o alinhamento do espécime de forma reprodutível e também evitou o contato do eixo com a dentina durante o teste. Foram utilizadas hastes metálicas com ponta ativa de 0,8 mm e 0,6 mm e 0,4 mm de diâmetro, compatíveis com o diâmetro dos corpos de prova obtidos dos terços cervical, médio e apical, respectivamente. Essas hastes foram fixadas na porção superior da máquina de ensaio e posicionadas sobre o material obturador.

A máquina Instron foi acionada com velocidade constante de 0,5 mm/min até que ocorresse o deslocamento do material obturador. A força necessária para o deslocamento do material obturador foi aferida em Newtons (N). Para calcular a resistência de união, a força resultante foi convertida em MegaPascal (MPa), pela divisão da área lateral do material obturador. Para o cálculo da área lateral aderida, o aspecto geométrico do material obturador foi considerado de acordo com o nível do corte realizado para obtenção dos *slices* de dentina. Para esse fim, a altura de

cada *slice* foi mensurada com o auxílio de um paquímetro digital e a área de adesão (em mm²) foi calculada pela fórmula da área lateral do tronco de cone (SL):

$$SL = \pi(R+r)h$$

Nesta fórmula, “ π ” é uma constante matemática que equivale a 3,14, “R” é a medida do raio do material obturador em sua porção coronal, “r” é medida do raio do material obturador em sua porção apical e “h” é a altura/espessura do material obturador. A partir destes dados, foi calculada a resistência de união (RU), em MPa, dividindo-se a força necessária para o deslocamento do material obturador pela sua área lateral (RU=F/SL).

Para a análise do tipo de falhas, todos os *slices* submetidos ao teste de push-out foram avaliadas em aumento de 40x com auxílio de microscópio digital (Leica, Modelo M165C Mycrosystem, Wrtzlar, Alemanha). As falhas observadas foram determinadas em percentuais e classificadas em: a) adesiva à dentina: se o material obturador deslocou-se da dentina; b) adesiva ao material obturador: se a guta-percha deslocou-se do cimento endodôntico; c) adesiva mista: quando a guta-percha deslocou-se tanto da dentina quanto do cimento endodôntico; d) coesiva na dentina: quando ocorreu fratura na dentina; e) coesiva no cimento obturador: quando ocorreu fratura no cimento endodôntico.

Avaliação qualitativa da interface cimento/dentina por meio de microscopia confocal de varredura a laser

O terceiro *slice* de cada terço, em cada subgrupo, foi polido com lixas d'água de granulação decrescente até a gramatura 1200 e discos de feltro associados à pasta de polimento. Os *slices* foram levados à cuba ultrassônica por 5 minutos,

enxaguados em água destilada e superficialmente descalcificados com ácido fosfórico 37% por 15 segundos.

Nos *slices* de cada terço radicular, avaliou-se qualitativamente a presença de *gaps* na interface do material obturador e paredes do canal radicular e a presença de vazios no material obturador, por meio de microscopia confocal de varredura a laser LEXT OLS 4000 (, Olympus, Tóquio, Japão) com auxílio do programa OLS 4000.

Avaliação qualitativa da penetração dos cimentos na dentina radicular por meio de microscopia confocal de varredura a laser com fluorescência

Os espécimes em que o cimento foi acrescido de Rodamina B 0,1% (n=3) foram avaliados qualitativamente por meio de microscopia de varredura confocal a laser invertido Leica TCS-SPS (Leica, Mannheim, Alemanha) com fluorescência. As imagens das áreas obturadas foram adquiridas utilizando o modo de epifluorescência com comprimentos de onda de absorção e emissão para a rodhamina B de 543 e 560 nm, respectivamente, por meio do software *Leica Application Suite-Advanced Fluorescence*.

As amostras foram analisadas 10 µm abaixo da superfície amostral utilizando lente objetiva com aumento de 10×, em campo de visão de 5x5mm, com resolução de 512x512 pixels. Foi realizada análise qualitativa dos *slices* para cada grupo, subgrupo e terços em que foi observada a penetração do cimento e a densidade de *tags* formados.

Análise estatística

Os dados de resistência de união foram submetidos inicialmente aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância (Levene). Uma vez que se constatou distribuição amostral normal e homogênea, os dados foram submetidos à Análise de variância (ANOVA a dois critérios) com parcela subdividida, que foi utilizada para avaliar a influência dos fatores cimento obturador (AH Plus e MTA Fillapex), ativação do cimento obturador (sem ativação, ativação sônica e ativação ultrassônica) e a sub-parcela terços radiculares (cervical, médio e apical). Foi utilizado o teste de Tukey para comparações múltiplas entre os grupos, sendo o nível de probabilidade de 95% em todas as análises.

*R*esultados

Avaliação da resistência de união ao cisalhamento por extrusão (push-out)

Os dados relativos à avaliação da resistência de união ao cisalhamento por extrusão do material obturador estão dispostos na Tabela II.

Tabela II. Valores originais, médias e desvio padrão, em megapascal (MPa), de resistência de união do material obturador à dentina nos terços cervical, médio e apical dos corpos de prova.

Cimento obturador	Ativação do cimento obturador									x̄ ± DP total
	Sem ativação			Sônica			Ultrassônica			
	Terço radicular			Terço radicular			Terço radicular			
	Cervical	Médio	Apical	Cervical	Médio	Apical	Cervical	Médio	Apical	
AH Plus	1,09	1,63	1,34	3,85	2,79	1,57	4,59	3,61	2,17	2,58±1,21A
	1,53	1,25	1,59	2,50	1,98	1,43	3,22	2,32	1,24	
	1,23	1,41	1,02	3,10	1,62	1,06	3,94	3,67	2,75	
	3,25	3,20	1,57	2,37	3,23	2,41	6,82	4,03	2,92	
	3,01	2,52	1,31	1,30	1,61	0,57	4,75	2,98	1,73	
	2,43	2,15	1,38	1,38	1,72	1,11	4,45	3,05	2,44	
	2,54	2,09	1,98	3,79	3,11	1,66	6,88	4,06	2,79	
	2,28	2,28	2,51	3,57	2,89	2,12	5,94	3,07	2,65	
	2,59	2,17	1,63	3,69	3,56	0,53	3,47	3,16	2,03	
	3,13	2,53	2,16	2,71	2,70	1,63	4,74	2,65	1,74	
x̄ ± DP	2,31±0,78	2,12±0,58	1,65±0,45	2,83±0,95	2,52±0,73	1,41±0,61	4,88±1,28	3,26±0,57	2,25±0,56	
MTA Fillapex	0,80	0,79	0,79	0,96	1,08	0,79	1,61	1,08	1,00	1,45±0,71B
	0,65	0,70	0,65	0,81	0,91	1,19	1,61	1,27	1,39	
	2,74	1,05	1,10	2,31	1,52	1,52	2,28	3,65	1,87	
	2,12	2,30	1,20	2,31	1,85	0,87	2,04	0,88	0,97	
	1,25	0,93	0,97	1,61	1,22	1,49	2,39	2,60	1,52	
	0,93	1,36	1,06	1,59	1,75	1,69	2,66	2,83	1,10	
	1,07	0,86	0,96	0,73	1,69	1,39	2,18	3,28	1,11	
	1,49	1,78	0,97	1,12	1,78	1,91	4,95	2,14	1,41	
	0,75	0,95	0,86	1,20	1,36	1,68	1,06	1,08	0,92	
	1,06	0,88	1,00	1,38	1,10	1,31	1,29	1,19	0,97	
x̄ ± DP	1,29±0,67	1,16±0,51	0,96±0,16	1,40±0,56	1,42±0,34	1,38±0,36	2,21±1,09	2,00±1,03	1,22±0,31	
x̄ ± DP total	1,78±0,88	1,64±0,72	1,30±0,48	2,11±1,05	1,97±0,78	1,40±0,49	3,54±1,7	2,63±1,04	1,73±0,70	

*Letras diferentes indicam diferença estatística ao teste de Anova ($p < 0,0001$).

A Análise de variância evidenciou diferença estatisticamente significativa ($p < 0,0001$) para os fatores cimento obturador, ativação do cimento obturador e terço radicular, bem como para as interações cimento obturador e ativação do cimento obturador ($p < 0,0372$), cimento obturador e terço radicular ($p < 0,0001$), ativação do cimento obturador e terço radicular ($p < 0,0001$) e cimento obturador, ativação do cimento obturador e terço radicular ($p < 0,0122$) (Tabela III).

Tabela III. Resultados da Análise de variância para a comparação entre cimento obturador, ativação do cimento e terços radiculares.

Fonte de Variação	G. L.	dF	F	p
Entre cimento obturador	1	56,5	21,06	<0,0001
Entre ativação do cimento	2	56,5	65,26	<0,0001
Entre terços radiculares	2	108	52,37	<0,0001
Cimento obturador/ Ativação	2	56,5	3,49	0,0372
Cimento obturador/ Terços	2	108	8,40	<0,0001
Ativação/ Terços	4	108	16,01	<0,0001
Cimento/ Ativação/ Terços	4	108	3,37	0,0122

Em relação ao cimento obturador, o AH Plus apresentou maior resistência de união comparado ao cimento MTA Fillapex ($p < 0,0001$) conforme observado nas Tabelas II e III.

Em relação à ativação do cimento obturador, o teste Tukey evidenciou que a utilização da ativação ultrassônica resultou em maiores valores de resistência de união comparada aos grupos sem ativação ($p < 0,0001$) e Ativação sônica ($p < 0,0001$), não havendo diferença entre estes ($p = 0,3303$), independente do cimento obturador e dos terços radiculares (Tabela IV).

Tabela IV. Médias e desvio padrão de resistência de união ao teste de push-out para a ativação do cimento obturador

Ativação do cimento obturador	Média ± Desvio padrão	
Sem ativação	1,58±0,73	B
Ativação sônica	1,83±0,85	B
Ativação ultrassônica	2,64±1,44	A

*Letras diferentes indicam diferença estatística ao teste de Tukey ($p < 0,0001$).

Quanto aos terços radiculares, o teste de Tukey (Tabela V) evidenciou que o terço cervical apresentou os maiores valores de resistência de união à dentina radicular quando comparado ao terço médio ($p = 0,0003$) e apical ($p < 0,001$). Os valores de resistência de união do terço médio por sua vez foram maiores que o terço apical ($p < 0,0001$).

Tabela V. Médias e desvio padrão de resistência de união ao teste de push-out para os terços radiculares.

Terços radiculares	Média ± Desvio padrão	
Cervical	2,48±1,49	A
Médio	2,08±0,94	B
Apical	1,48±0,58	C

*Letras diferentes indicam diferença estatística ao teste de Tukey ($p < 0,0001$).

Considerando a interação entre cimento obturador e ativação do cimento obturador, o teste de Tukey (Tabela VI) evidenciou que a ativação ultrassônica do cimento, tanto para o AH Plus quanto para o MTA Fillapex, aumentou os valores de resistência de união quando comparado ao grupo sem ativação ($p < 0,05$). Para o cimento AH Plus, a ativação sônica apresentou menores valores de resistência de união comparado à ativação ultrassônica ($p < 0,0001$) e valores semelhantes ao grupo sem ativação ($p = 0,9390$). Para o cimento MTA Fillapex, a ativação sônica apresentou valores de resistência de união semelhantes tanto ao grupo de ativação ultrassônica ($p = 0,5588$) quanto ao grupo sem ativação ($p = 0,8769$).

Tabela VI. Médias e desvio padrão de resistência de união ao teste de push-out para os cimentos obturadores e ativação do cimento

Ativação do cimento	Cimento Obturador	
	AH Plus	MTA Fillapex
Sem ativação	2,03±0,66 Ab	1,13±0,50 Bb
Ativação sônica	2,25±0,97 Ab	1,40±0,41 Bab
Ativação ultrassônica	3,46±1,38 Aa	1,81±0,95 Ba

*Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística nas linhas e letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística nas colunas ao teste de Tukey ($p<0,05$)

Considerando a interação entre a ativação do cimento obturador e os terços radiculares, o teste de Tukey (Tabela VII) evidenciou que, para os grupos sem ativação e com ativação sônica, os terços cervical e médio apresentaram maiores valores de resistência de união comparados ao terço apical ($p<0,05$), no entanto, não houve diferença entre os terços cervical e médio ($p>0,05$). Para o grupo de ativação ultrassônica, a resistência de união foi maior no terço cervical quando comparado aos terços médio e apical ($p<0,0001$), sendo que o terço médio apresentou maiores valores que o terço apical ($p<0,0001$). No terço cervical a ativação ultrassônica apresentou maior resistência de união comparada à ativação sônica e sem ativação ($p<0,05$), não havendo diferença entre estes ($p>0,05$). No entanto, nos terços médio e apical a ativação ultrassônica apresentou maior resistência de união comparada ao protocolo sem ativação ($p<0,05$), enquanto que a ativação sônica apresentou valores intermediários ao grupo sem ativação e ativação ultrassônica ($p>0,05$).

Tabela VII. Médias e desvio padrão de resistência de união ao teste de push-out para ativação dos cimentos e terço radicular.

Ativação do cimento	Terço radicular		
	Cervical	Médio	Apical
Sem ativação	1,78±0,88 Ab	1,64±0,72 Ab	1,30±0,48 Bb
Ativação sônica	2,11±1,05 Ab	1,97±0,78 Aab	1,40±0,49 Bab
Ativação ultrassônica	3,54±1,79 Aa	2,63±1,04 Ba	1,73±0,70 Ca

*Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística nas linhas e letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística nas colunas ao teste de Tukey ($p<0,05$)

Para interação cimento obturador e terço radicular, o teste de Tukey (Tabela VIII) evidenciou que em todos os terços radiculares avaliados o cimento AH Plus apresentou valores de resistência de união superiores ao cimento MTA Fillapex ($p<0,05$). O cimento AH Plus apresentou maiores valores de resistência de união no terço cervical quando comparado ao terço médio e apical ($p<0,05$), sendo os valores de resistência de união do terço médio maiores que o terço apical ($p<0,0001$). Para o cimento MTA Fillapex, o terço cervical apresentou maiores valores de resistência de união comparado ao terço apical ($p=0,0215$), sendo o que o terço médio apresentou valores de resistência de união semelhantes ao terço cervical ($p=0,9578$) e apical ($p=0,1459$).

Tabela VIII. Médias e desvio padrão de resistência de união ao teste de push-out para ativação dos cimentos e terço radicular.

Cimento obturador	Terço radicular		
	Cervical	Médio	Apical
AH Plus	3,34±1,50 Aa	2,63±0,77 Ba	1,77±0,63 Ca
MTA Fillapex	1,63±0,88 Ab	1,53±0,76 ABb	1,19±0,33 Bb

*Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística nas linhas e letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística nas colunas ao teste de Tukey ($p<0,05$)

Análise do padrão de falha

Para o cimento AH Plus, houve predomínio de falhas adesivas mistas para os grupos sem ativação e ativação ultrassônica. Já para o grupo de ativação sônica houve basicamente falhas adesivas mistas e adesivas ao material obturador (Tabela IX).

Para o cimento MTA Fillapex, houve o predomínio de falhas adesivas mistas (Tabela X).

Tabela IX. Tipos de falha após teste de push-out, em cada terço para o cimento AH Plus (valores percentuais).

Tipo de falha	Protocolo de ativação do cimento								
	Sem ativação			Ativação sônica			Ativação ultrassônica		
	C	M	A	C	M	A	C	M	A
Ad	0,0	12,4	6,3	12,4	0,0	0,0	6,3	6,3	0,0
Ao	6,2	18,8	6,3	43,8	50,0	25,0	37,4	25,0	25,0
Am	81,3	68,8	87,4	43,8	50,0	75,0	43,7	56,3	75,0
Cd	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	12,4	0,0
Co	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	0,0	0,0

*C= terço cervical; M= terço médio; A= terço apical. Ad= Adesiva à dentina; Ao = Adesiva ao material obturador; Am=Adesiva mista; Cd=Coativa em dentina e Co=Coativa ao material obturador.

Tabela X. Tipos de falha após teste de push-out, em cada terço para o cimento MTA Fillapex (valores percentuais).

Tipo de falha	Protocolo de ativação do cimento								
	Sem ativação			Ativação sônica			Ativação ultrassônica		
	C	M	A	C	M	A	C	M	A
Ad	12,5	0,0	0,0	6,3	0,0	0,0	6,3	0,0	0,0
Ao	12,5	6,2	0,0	6,3	6,2	0,0	6,3	18,8	12,5
Am	75,0	87,6	100,0	75,0	87,6	100,0	87,4	81,2	87,5
Cd	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Co	0,0	0,0	0,0	12,4	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0

*C= terço cervical; M= terço médio; A= terço apical. Ad= Adesiva à dentina; Ao = Adesiva ao material obturador; Am=Adesiva mista; Cd=Coativa em dentina e Co=Coativa ao material obturador.

Avaliação qualitativa da interface cimento/dentina por meio de microscopia confocal de varredura a laser

A análise por microscopia confocal de varredura a laser dos espécimes revelou massa obturadora mais homogênea e com melhor adaptação à parede do canal radicular quando utilizada ativação ultrassônica, tanto para o cimento AH Plus (Figura 2) quanto para o cimento MTA Fillapex (Figura 3). Já a ativação sônica promoveu adaptação deficiente em todos os terços e presença de vazios para ambos os cimentos endodônticos testados (Figuras 2 e 3). Para o cimento AH Plus o grupo sem ativação apresentou uma boa adaptação à parede do canal radicular e ausência de vazios nos terços cervical e médio, no entanto, no terço apical a adaptação foi deficiente e a região de cimento endodôntico não se apresentou uniforme (Figura 2). No entanto, quando utilizado o cimento MTA Fillapex houve presença de bolhas isoladas em todos os terços e material obturador bem adaptado no terço cervical e médio, sendo que o terço apical apresentou adaptação deficiente (Figura 3).

Figura 2. Imagens 3D de microscopia confocal de varredura a laser representativas de aspecto morfológico e adaptação de material obturador à dentina radicular para o cimento AH Plus, considerando os terços radiculares cervical, médio e apical e as ativações do cimento obturador (Imagens capturadas com aumento de 10X para o terço cervical e médio e 20X para o terço apical).

Figura 3. Imagens 3D de microscopia confocal de varredura a laser representativas de aspecto morfológico e adaptação de material obturador à dentina radicular para o cimento MTA Fillapex, considerando os terços radiculares cervical, médio e apical e as ativações do cimento obturador (Imagens capturadas com aumento de 10X para o terço cervical e médio e 20X para o terço apical).

Avaliação qualitativa da penetração dos cimentos na dentina radicular por meio de microscopia confocal de varredura a laser com fluorescência

Em relação à análise qualitativa por microscopia confocal a laser, observou-se que as raízes obturadas com o AH Plus e MTA Fillapex apresentaram formação de *tags* em todos os terços avaliados (Figuras 4 e 5). No entanto, houve maior quantidade de *tags* nos terços cervical e médio comparados ao terço apical, para todos os grupos testados. Para os dois cimentos avaliados, a ativação ultrassônica promoveu *tags* em maior número, densidade e extensão comparada aos grupos sem ativação e ativação sônica. A ativação sônica promoveu comportamento similar ao grupo sem ativação quanto ao número, densidade e extensão de *tags*.

Figura 4. Imagens de microscopia confocal a laser representativas da formação de *tags* para o cimento AH Plus na interface material obturador e paredes dentinária, considerando os terços radiculares cervical, médio e apical e as ativações do cimento obturador.

Quando comparados os cimentos, o MTA Fillapex (Figura 5) apresentou uma maior densidade e homogeneidade de *tags* que o AH Plus (Figura 4) nos grupos sem ativação e ativação ultrassônica. No entanto, quanto realizada a ativação sônica, os dois cimentos apresentaram comportamento similar.

Figura 5. Imagens de microscopia confocal a laser representativas da formação de *tags* para o cimento MTA Fillapex na interface material obturador e paredes dentinária, considerando os terços radiculares cervical, médio e apical e as ativações do cimento obturador

*D*iscussão

O avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos tem possibilitado o desenvolvimento de novos materiais e instrumentos endodônticos que resultaram no desenvolvimento de diferentes técnicas obturadoras (CARNEIRO *et al.*, 2012; GUIMARÃES *et al.*, 2014; SOO *et al.*, 2015; VIAPIANA *et al.*, 2015; HORIUCHI *et al.*, 2016; SCHÄFER *et al.*, 2016). Além da técnica de condensação lateral, surgiram as técnicas termomecânicas (LEONARDO *et al.*, 2009; MICHELOTTO *et al.*, 2010; CARNEIRO *et al.*, 2012), termoplásticas (GOLDBERG *et al.*, 2001; CATHRO; LOVE, 2003; KARABUCAK *et al.*, 2008; HORIUCHI *et al.*, 2016) e, mais recentemente, foi proposta a ativação ultrassônica do cimento obturador (GUIMARÃES *et al.*, 2014).

Em relação à metodologia empregada neste estudo, alguns aspectos devem ser ressaltados para melhor entendimento dos resultados obtidos. Para avaliar a resistência de união do material obturador às paredes dentinárias utilizou-se o teste de push-out, que é um método adequado para avaliar a obturação do canal radicular (SOUSA-NETO *et al.*, 2005; NAGAS *et al.*, 2009; NEELAKANTAN *et al.*, 2011; BRITO-JÚNIOR *et al.*, 2015; MARTINS *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2015). O modelo experimental utilizado possibilitou determinar a resistência de união do material obturador às paredes do canal radicular utilizando *slices* de 1 mm de espessura para cada terço (SOUSA-NETO *et al.*, 2002; SOUSA-NETO *et al.*, 2005; CARNEIRO *et al.*, 2012; MARTINS *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2015).

A microscopia confocal de varredura a laser permite a obtenção de imagens de alta resolução através de cortes ópticos, posteriormente agrupados para se fazer a reconstrução tridimensional da topografia de objetos complexos. O sistema óptico do microscópio confocal possibilita a eliminação de informações fora de foco da imagem, o que melhora a definição na captura e favorece a aquisição de amostras mais espessas, como os tecidos dentários. No presente estudo foram utilizados dois

tipos de microscópios confocais, o LEXT OLS 4000 (Olympus, Tóquio, Japão), que permite criar imagens com alta resolução em 3D, e possibilitou a análise da adaptação do material obturador à dentina radicular e túbulos dentinários a partir dos *slices* obtidos (GHARIB *et al.*, 2007; DE-DEUS *et al.*, 2012; GUIMARÃES *et al.*, 2014; JARDINE *et al.*, 2016). O microscópio confocal invertido Leica TCS-SPS (Leica, Mannheim, Alemanha) permite a avaliação de tecidos marcados com fluorocromos por meio de imunofluorescência, possibilitando avaliar a profundidade de penetração dos *tags* e adaptação dos cimentos em baixas ampliações (BITTER *et al.*, 2004; D'ALPINO *et al.*, 2006; RACHED-JÚNIOR *et al.*, 2014) sem necessidade de processamento das amostras, o que reduz artefatos técnicos (GHARIB *et al.*, 2007; ORDINOLA-ZAPATA *et al.*, 2009; DE-DEUS *et al.*, 2012; JARDINE *et al.*, 2016) uma vez que as amostras não são submetidas a desidratação, que pode gerar contração do material avaliado (BITTER *et al.*, 2004).

Em relação à ativação ultrassônica do cimento endodôntico, vale destacar que no presente estudo optou-se por um inserto inteiriço para ativar o cimento, diferente de Guimarães *et al.* (2014) que utilizaram um espaçador digital adaptado a um aparelho de ultrassom. A utilização de adaptadores em aparelhos ultrassônicos provoca redução do mecanismo de absorção e dispersão de energia no ponto de conexão entre adaptador e espaçador o que provoca redução da efetividade da ativação ultrassônica comparada a insertos inteiriços (O'BRIEN, 2007; BRAGA *et al.*, 2013).

Considerando-se que a ativação ultrassônica do cimento apresentou melhores resultados de resistência de união, penetração do cimento obturador na dentina radicular e adaptação do material obturador à dentina radicular comparado a ativação sônica e grupo sem ativação, a hipótese nula foi parcialmente rejeitada.

Os resultados do teste de push-out mostraram que a ativação ultrassônica aumentou a resistência de união dos cimentos AH Plus e MTA Fillapex à dentina radicular. Esse fato pode ser atribuído à oscilação do inserto e ao efeito de transmissão acústica e cavitação promovida pelo ultrassom (VAN DER SLUIS *et al.*, 2005). Vansan *et al.* (1990), estudando o efeito da ativação ultrassônica em soluções irrigantes, observaram que há uma ação passiva na solução irrigante que desloca detritos e induz ao turbilhonamento do líquido irrigante causando aumento e decréscimo na pressão hidrostática, que formam bolhas de cavitação, implodindo e produzindo aumento de temperaturas e pressões.

Os resultados obtidos no presente estudo nos possibilitam supor que a ativação ultrassônica provavelmente atua de maneira semelhante no cimento endodôntico, causando aumento de pressão no interior do cimento e fazendo com que o mesmo seja direcionado contra as paredes do canal radicular e promova o aumento da temperatura do cimento. A ativação ultrassônica dos cimentos com alta frequência e pequena amplitude das oscilações, que são periódicas, fornece ao cimento obturador energia suficiente para que a polimerização ocorra com maior homogeneidade e maior empacotamento das partículas de carga (ORAL *et al.*, 2012), além disso, o aquecimento gerado durante este processo reduz a viscosidade do cimento e proporciona maior incorporação de partículas de carga a matriz orgânica melhorando as propriedades mecânicas, principalmente a resistência coesiva do cimento (BITTMANN *et al.*, 2009; LIONETTO; MAFFEZZOLI, 2013) que, somado ao aumento de pressão do cimento obturador contra as paredes do canal radicular, possibilitou o preenchimento de irregularidades e reentrâncias do canal e maior penetração de cimento obturador nos túbulos dentinários com formação de

maior número, densidade e extensão de *tags* observado no presente estudo nas imagens de microscopia (Figuras 2, 3, 4 e 5) e por GUIMARÃES *et al.* (2014).

Por outro lado, a ativação sônica não aumentou a resistência de união, quantidade, densidade e extensão dos *tags*, além disso, foi observada a presença de vazios no interior da massa obturadora. Embora a literatura demonstre que a ativação sônica promova um fenômeno hidrodinâmico da solução irrigante (RUDDLE, 2007; DE GREGORIO *et al.*, 2009; YEUNG *et al.*, 2014), o mesmo, ao que parece, não ocorre na ativação do cimento endodôntico; provavelmente a alta densidade do cimento endodôntico impede que o sistema sônico seja efetivo em baixa frequência (1 a 6 kHz) e alta amplitude (GU *et al.*, 2009). A alta amplitude provocada pela ativação sônica no presente estudo gera uma perturbação da matéria com intensidade suficiente para promover o deslocamento brusco da mesma. Estes deslocamentos permitem que o ar se misture à massa obturadora durante o processo de cura formando assim os vazios presentes nas imagens de microscopia confocal de varredura a laser e consequentemente a desadaptação do material obturador (Figura 4) (BITTMANN *et al.*, 2009; ORAL *et al.*, 2012; LIONETTO; MAFFEZZOLI, 2013).

O cimento AH Plus apresentou maiores valores de resistência de união comparada ao cimento MTA Fillapex. A maior resistência de união do AH Plus está relacionada à capacidade do cimento em interagir quimicamente com a rede de colágeno da dentina radicular, aumentando a resistência de união por meio de formação de ligações covalentes entre os anéis epóxicos e os grupos amina de colágeno exposto (SOUSA-NETO *et al.*, 2005). Já a baixa resistência de união do MTA Fillapex ocorre devido à camada interfacial com estruturas de ligação cruzada

do cimento, que lhe confere menor capacidade de adesão aos túbulos dentinários (SAGSEN *et al.*, 2011).

A resistência de união foi menor nos terços apical e médio em relação ao terço cervical, em função da estrutura da dentina radicular cervical apresentar maior número, diâmetro de túbulos dentinários e maior quantidade de dentina intertubular (MJOR *et al.*, 2001), favorecendo a união dos cimentos obturadores às paredes dentinárias e estrutura de colágeno (NEELAKANTAN *et al.*, 2011, CARNEIRO *et al.*, 2012).

As imagens de microscopia confocal a laser revelaram que houve maior área e penetração de cimento na dentina radicular quando utilizada a vibração ultrassônica comparada à vibração sônica e grupo sem ativação. A área e profundidade de penetração dos cimentos nos túbulos dentinários são clinicamente relevantes, uma vez que são responsáveis por prevenir a reinfecção do sistema de canais radiculares pela atividade antibacteriana do cimento obturado e confinamento dos microrganismos residuais no interior dos túbulos dentinários (KOKKAS *et al.*, 2004; MOON *et al.*, 2012).

Em todos os subgrupos, maior área e profundidade de penetração do cimento obturador foram observadas nos terços cervical e médio em relação ao terço apical, o que pode ser explicado pela menor quantidade de túbulos no terço apical, bem como menor diâmetro ou mesmo obliteração (MJOR *et al.*, 2001).

Qualitativamente observa-se que a penetração do cimento obturador na dentina radicular apresenta diferentes padrões entre espécimes, semelhante ao observado a JARDINE *et al.* (2016). Os diferentes padrões de penetração do cimento obturador na dentina radicular estão relacionados à característica morfológica de distribuição de túbulos dentinários e áreas de dentina esclerótica na

dentina radicular (RIBEIRO *et al.*, 2010). A dentina radicular pode apresentar regiões com presença de áreas tubulares em toda circunferência, ou áreas de distribuição de túbulos unipolar, bipolar, tripolar, tretrapolar ou ausência total de túbulos (dentina esclerótica), sendo as áreas com ausência total de túbulos mais comuns na região apical (RIBEIRO *et al.*, 2010). A presença de dentina esclerosada é provavelmente causada por agressões como cárie, atrição, abrasão, trauma oclusal, entre outros, o que pode ativar o processo de defesa do complexo dentino-pulpar e obliterar os túbulos dentinários levando à formação de dentina esclerótica (KINNEY *et al.*, 2005; KAKOLI *et al.*, 2009).

Os resultados deste estudo demonstram que a ativação ultrassônica aumentou a resistência de união, assim como a extensão, densidade e número de *tags* em obturações pela técnica de condensação lateral. No entanto, a ativação de cimento obturador previamente às técnicas termoplásticas e termocompactadoras deve ser estudada em trabalhos futuros.

Conclusão

Baseada na metodologia proposta para o estudo e partindo dos resultados obtidos, é possível concluir que:

- Independente dos métodos de ativação, o cimento AH Plus apresentou maior resistência de união comparada ao cimento MTA Fillapex.
- A ativação ultrassônica promoveu maior resistência de união e adaptação do material obturador à dentina radicular, bem como um melhor padrão de penetração de cimento com maior número, densidade e profundidade de *tags*.
- A ativação sônica, além de não aumentar a resistência de união e a penetração do cimento à dentina radicular, proporcionou maior desadaptação e inclusão de vazios na massa obturadora.

Referências

AKMAN, M.; AKBULUT, M. B.; AYDINBELGE, H. A.; BELLİ, S. Comparison of different irrigation activation regimens and conventional irrigation techniques for the removal of modified triple antibiotic paste from root canals. **Journal of Endodontics**, v. 41, n. 5, p. 720-724, 2015.

ALTURAIKI, S.; LAMPHON, H.; EDREES, H.; AHLQUIST, M. Efficacy of 3 different irrigation systems on removal of calcium hydroxide from the root canal: a scanning electron microscopic study. **Journal of Endodontics**, v. 41, n. 1, p. 97-101, 2015.

AMOROSO-SILVA, P. A.; GUIMARAES, B. M.; MARCIANO, M. A.; DUARTE, M. A.; CAVENAGO, B. C.; ORDINOLA-ZAPATA, R.; ALMEIDA, M. M.; MORAES, I. G. Microscopic analysis of the quality of obturation and physical properties of MTA Fillapex. **Microscopy Research and Technique**, v. 77, n. 12, p. 1031-1036, 2014.

BITTER, K.; PARIS, S.; MARTUS, P.; SCHATNER, R.; KIELBASSA, A. M. A Confocal Laser Scanning Microscope investigation of different dental adhesives bonded to root canal dentine. **International Endodontic Journal**, v. 37, n. 12, p. 840-848, 2004.

BITTMANN, B.; HAUPERT, F.; SCHLARB, A. K. Ultrasonic dispersion of inorganic nanoparticles in epoxy resin. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 16, n. 5, p. 622-628, 2009.

BRAGA, N. M.; BRITO-JÚNIOR, M.; DA SILVA, J. M.; MIRANDA, L. S.; DE CARVALHO, J. R., JR.; FARIA-E-SILVA, A. L. Different ultrasonic vibration protocols and their effects on retention of post-and-core to root canal. **General Dentistry**, v. 61, n. 5, p. 40-42, 2013.

BRITO-JÚNIOR, M.; LEONI, G. B.; PEREIRA, R. D.; FARIA, E. S. A. L.; GOMES, E. A.; SILVA-SOUSA, Y. T.; SOUSA-NETO, M. D. A Novel Dentin Push-out Bond Strength Model That Uses Micro-Computed Tomography. **Journal of Endodontics**, v. 41, n. 12, p. 2058-2063, 2015.

CARNEIRO, S. M.; SOUSA-NETO, M. D.; RACHED-JÚNIOR, F. A.; MIRANDA, C. E.; SILVA, S. R.; SILVA-SOUSA, Y. T. Push-out strength of root fillings with or without thermomechanical compaction. **International Endodontic Journal**, v. 45, n. 9, p. 821-828, 2012.

CARVALHO-JÚNIOR, J. R.; GUIMARAES, L. F.; CORRER-SOBRINHO, L.; PÉCORA, J. D.; SOUSA-NETO, M. D. Evaluation of solubility, disintegration, and dimensional alterations of a glass ionomer root canal sealer. **Brazilian Dental Journal**, v. 14, n. 2, p. 114-118, 2003.

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

CELIK TEN, B.; UZUNTAS, C. F.; ORHAN, A. I.; ORHAN, K.; TUFENKCI, P.; KURSUN, S.; DEMIRALP, K. O. Evaluation of root canal sealer filling quality using a single-cone technique in oval shaped canals: An In vitro Micro-CT study. **Scanning**, 2015. In press.

D'ALPINO, P. H.; PEREIRA, J. C.; SVIZERO, N. R.; RUEGGEBERG, F. A.; PASHLEY, D. H. Use of fluorescent compounds in assessing bonded resin-based restorations: a literature review. **Journal of Dentistry**, v. 34, n. 9, p. 623-634, 2006.

DE-DEUS, G.; BRANDAO, M. C.; LEAL, F.; REIS, C.; SOUZA, E. M.; LUNA, A. S.; PACIORNIK, S.; FIDEL, S. Lack of correlation between sealer penetration into dentinal tubules and sealability in nonbonded root fillings. **International Endodontic Journal**, v. 45, n. 7, p. 642-651, 2012.

DE GREGORIO, C.; ESTEVEZ, R.; CISNEROS, R.; HEILBORN, C.; COHENCA, N. Effect of EDTA, sonic, and ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals: an in vitro study. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 6, p. 891-895, 2009.

ELDENIZ, A. U.; ORSTAVIK, D. A laboratory assessment of coronal bacterial leakage in root canals filled with new and conventional sealers. **International Endodontic Journal**, v. 42, n. 4, p. 303-312, 2009.

FISHER, M. A.; BERZINS, D. W.; BAHCALL, J. K. An in vitro comparison of bond strength of various obturation materials to root canal dentin using a push-out test design. **Journal of Endodontics**, v. 33, n. 7, p. 856-858, 2007.

FLORES, D. S.; RACHED, F. J., JR.; VERSIANI, M. A.; GUEDES, D. F.; SOUSA-NETO, M. D.; PÉCORA, J. D. Evaluation of physicochemical properties of four root canal sealers. **International Endodontic Journal**, v. 44, n. 2, p. 126-135, 2011.

GANDOLFI, M. G.; SPAGNUOLO, G.; SIBONI, F.; PROCINO, A.; RIVIECCIO, V.; PELLICIONI, G. A.; PRATI, C.; RENGO, S. Calcium silicate/calcium phosphate biphasic cements for vital pulp therapy: chemical-physical properties and human pulp cells response. **Clinical Oral Investigations**, v. 19, n. 8, p. 2075-2089, 2015.

GHARIB, S. R.; TORDIK, P. A.; IMAMURA, G. M.; BAGINSKI, T. A.; GOODELL, G. G. A confocal laser scanning microscope investigation of the epiphany obturation system. **Journal of Endodontics**, v. 33, n. 8, p. 957-961, 2007.

GOLDBERG, F. Endodontic implants: a scanning electron microscopic study. **International Endodontic Journal**, v. 15, n. 2, p. 77-78, 1982.

GOLDBERG, F.; ARTAZA, L. P.; DE SILVIO, A. Effectiveness of different obturation techniques in the filling of simulated lateral canals. **Journal of Endodontics**, v. 27, n. 5, p. 362-364, 2001.

GU, L. S.; KIM, J. R.; LING, J.; CHOI, K. K.; PASHLEY, D. H.; TAY, F. R. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 6, p. 791-804, 2009.

GUIMARÃES, B. M.; AMOROSO-SILVA, P. A.; ALCALDE, M. P.; MARCIANO, M. A.; DE ANDRADE, F. B.; DUARTE, M. A. Influence of ultrasonic activation of 4 root canal sealers on the filling quality. **Journal of Endodontics**, v. 40, n. 7, p. 964-968, 2014.

HERGT, A.; WIEGAND, A.; HÜLSMANN, M.; RÖDIG, T. AH Plus root canal sealer - an updated literature review. **Endodontic Practice Today**, v. 9, n. 4, p. 245-266, 2015.

HORIUCHI, Z. H.; SILVA-SOUSA, Y. T.; RAUCCI NETO, W.; RACHED-JÚNIOR, F. J.; SOUZA-GABRIEL, A. E.; SILVA, S. R.; ALFREDO, E. Effect of thermoplastic filling techniques on the push-out strength of root sealing materials. **Brazilian Oral Research**, v. 30, n. 1, p., 2016.

JARDINE, A. P.; ROSA, R. A.; SANTINI, M. F.; WAGNER, M.; SO, M. V.; KUGA, M. C.; PEREIRA, J. R.; KOPPER, P. M. The effect of final irrigation on the penetrability of an epoxy resin-based sealer into dentinal tubules: a confocal microscopy study. **Clinical Oral Investigations**, v. 20, n. 1, p. 117-123, 2016.

JIANG, S.; ZOU, T.; LI, D.; CHANG, J. W.; HUANG, X.; ZHANG, C. Effectiveness of Sonic, Ultrasonic, and Photon-Induced Photoacoustic Streaming Activation of NaOCl on Filling Material Removal Following Retreatment in Oval Canal Anatomy. **Photomedicine and Laser Surgery**, v. 34, n. 1, p. 3-10, 2016.

KAKOLI, P.; NANDAKUMAR, R.; ROMBERG, E.; AROLA, D.; FOUAD, A. F. The effect of age on bacterial penetration of radicular dentin. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 1, p. 78-81, 2009.

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

KINNEY, J. H.; NALLA, R. K.; POPLE, J. A.; BREUNIG, T. M.; RITCHIE, R. O. Age-related transparent root dentin: mineral concentration, crystallite size, and mechanical properties. **Biomaterials**, v. 26, n. 16, p. 3363-3376, 2005.

KOKKAS, A. B.; BOUTSIUKIS, A.; VASSILIADIS, L. P.; STAVRIANOS, C. K. The influence of the smear layer on dentinal tubule penetration depth by three different root canal sealers: an in vitro study. **Journal of Endodontics**, v. 30, n. 2, p. 100-102, 2004.

LEONARDO, M. R.; FLORES, D. S.; DE PAULA, E. S. F. W.; DE TOLEDO LEONARDO, R.; DA SILVA, L. A. A comparison study of periapical repair in dogs' teeth using RoekoSeal and AH plus root canal sealers: a histopathological evaluation. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 7, p. 822-825, 2008.

LEONARDO, M. V.; GOTO, E. H.; TORRES, C. R.; BORGES, A. B.; CARVALHO, C. A.; BARCELLOS, D. C. Assessment of the apical seal of root canals using different filling techniques. **Journal of oral science**, v. 51, n. 4, p. 593-599, 2009.

LIONETTO, F.; MAFFEZZOLI, A. Monitoring the Cure State of Thermosetting Resins by Ultrasound. **Materials**, v. 6, n. 9, p. 3783-3804, 2013.

MADANI, Z. S.; SEFIDGAR, S. A.; RASHED MOHASEL, A.; ZABIHI, E.; MESGARANI, A.; BIJANI, A.; MIRI, S. S. Comparative evaluation of antimicrobial activity of two root canal sealers: MTA Fillapex and AH 26. **Minerva Stomatologica**, v. 63, n. 7-8, p. 267-272, 2014.

MARCIANO, M. A.; GUIMARAES, B. M.; ORDINOLA-ZAPATA, R.; BRAMANTE, C. M.; CAVENAGO, B. C.; GARCIA, R. B.; BERNARDINELLI, N.; ANDRADE, F. B.; MORAES, I. G.; DUARTE, M. A. Physical properties and interfacial adaptation of three epoxy resin-based sealers. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 10, p. 1417-1421, 2011.

MARIN-BAUZA, G. A.; RACHED-JÚNIOR, F. J.; SOUZA-GABRIEL, A. E.; SOUSA-NETO, M. D.; MIRANDA, C. E.; SILVA-SOUSA, Y. T. Physicochemical properties of methacrylate resin-based root canal sealers. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 9, p. 1531-1536, 2010.

MARTINS, C. V.; LEONI, G. B.; OLIVEIRA, H. F.; ARID, J.; QUEIROZ, A. M.; SILVA, L.; SOUSA-NETO, M. D. Influence of therapeutic cancer radiation on the bond strength of an epoxy- or an MTA-based sealer to root dentine. **International Endodontic Journal**, 2015. In press.

MICHELOTTO, A. L.; MOURA-NETTO, C.; ARAKI, A. T.; AKISUE, E.; MOURA, A. A.; SYDNEY, G. B. In vitro analysis of thermocompaction time and gutta-percha type on quality of main canal and lateral canals filling. **Brazilian Oral Research**, v. 24, n. 3, p. 290-295, 2010.

MJOR, I. A.; SMITH, M. R.; FERRARI, M.; MANNOCCI, F. The structure of dentine in the apical region of human teeth. **International Endodontic Journal**, v. 34, n. 5, p. 346-353, 2001.

MOON, Y. M.; KIM, H. C.; BAE, K. S.; BAEK, S. H.; SHON, W. J.; LEE, W. Effect of laser-activated irrigation of 1320-nanometer Nd:YAG laser on sealer penetration in curved root canals. **Journal of Endodontics**, v. 38, n. 4, p. 531-535, 2012.

NAGAS, E.; ALTUNDASAR, E.; SERPER, A. The effect of master point taper on bond strength and apical sealing ability of different root canal sealers. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics**, v. 107, n. 1, p. e61-64, 2009.

NEELAKANTAN, P.; SUBBARAO, C.; SUBBARAO, C. V.; DE-DEUS, G.; ZEHNDER, M. The impact of root dentine conditioning on sealing ability and push-out bond strength of an epoxy resin root canal sealer. **International Endodontic Journal**, v. 44, n. 6, p. 491-498, 2011.

O'BRIEN, W. D., JR. Ultrasound-biophysics mechanisms. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, v. 93, n. 1-3, p. 212-255, 2007.

ORAL, I.; GUZEL, H.; AHMETLI, G. Determining the mechanical properties of epoxy resin (DGEBA) composites by ultrasonic velocity measurement. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 127, n. 35, p. 1667-1675, 2012.

ORDINOLA-ZAPATA, R.; BRAMANTE, C. M.; GRAEFF, M. S.; DEL CARPIO PEROCHENA, A.; VIVAN, R. R.; CAMARGO, E. J.; GARCIA, R. B.; BERNARDINELLI, N.; GUTMANN, J. L.; DE MORAES, I. G. Depth and percentage of penetration of endodontic sealers into dentinal tubules after root canal obturation using a lateral compaction technique: a confocal laser scanning microscopy study. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics**, v. 108, n. 3, p. 450-457, 2009.

ORSTAVIK, D. Materials used for root canal obturation: technical, biological and clinical testing. **Endodontic Topics**, v. 12, n. 1, p. 23-38, 2005.

OZCAN, E.; YULA, E.; ARSLANOGLU, Z.; INCI, M. Antifungal activity of several root canal sealers against *Candida albicans*. **Acta Odontologica Scandinavica**, v. 71, n. 6, p. 1481-1485, 2013.

OZKOCAK, I.; SONAT, B. Evaluation of Effects on the Adhesion of Various Root Canal Sealers after Er:YAG Laser and Irrigants Are Used on the Dentin Surface. **Journal of Endodontics**, v. 41, n. 8, p. 1331-1336, 2015.

PEREIRA, R. D.; BRITO-JÚNIOR, M.; LEONI, G. B.; DE SOUSA-NETO, M. D. Evaluation of Bond Strength in Single-Cone Fillings of Canals with Different Cross-Sections. **International Endodontic Journal**, 2015. In press.

PRATI, C.; GANDOLFI, M. G. Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. **Dental Materials**, v. 31, n. 4, p. 351-370, 2015.

RACHED-JUNIOR, F. A.; SOUSA-NETO, M. D.; BRUNIERA, J. F.; DUARTE, M. A.; SILVA-SOUSA, Y. T. Confocal microscopy assessment of filling material remaining on root canal walls after retreatment. **International Endodontic Journal**, v. 47, n. 3, p. 264-270, 2014.

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

RIBEIRO, R. G.; MARCHESAN, M. A.; SILVA, R. G.; SOUSA-NETO, M. D.; PÉCORA, J. D. Dentin permeability of the apical third in different groups of teeth. **Brazilian Dental Journal**, v. 21, n. 3, p. 216-219, 2010.

RUDDLE, C. Endodontic disinfection-tsunami irrigation. **Dentistry Today**, v. 26, n.5, p. 8-17, 2007.

SAGSEN, B.; USTUN, Y.; DEMIRBUGA, S.; PALA, K. Push-out bond strength of two new calcium silicate-based endodontic sealers to root canal dentine. **International Endodontic Journal**, v. 44, n. 12, p. 1088-1091, 2011.

SCHÄFER, E.; SCHRENKER, C.; ZUPANC, J.; BURKLEIN, S. Percentage of Gutta-percha Filled Areas in Canals Obturated with Cross-linked Gutta-percha Core-carrier Systems, Single-Cone and Lateral Compaction Technique. **Journal of Endodontics**, v.42, n.2, p. 294-298, 2016.

SILVA, E. J.; ROSA, T. P.; HERRERA, D. R.; JACINTO, R. C.; GOMES, B. P.; ZAIA, A. A. Evaluation of cytotoxicity and physicochemical properties of calcium silicate-based endodontic sealer MTA Fillapex. **Journal of Endodontics**, v. 39, n. 2, p. 274-277, 2013.

SILVEIRA, C. M.; PINTO, S. C.; ZEDEBSKI RDE, A.; SANTOS, F. A.; PILATTI, G. L. Biocompatibility of four root canal sealers: a histopathological evaluation in rat subcutaneous connective tissue. **Brazilian Dental Journal**, v. 22, n. 1, p. 21-27, 2011.

SOO, W. K.; THONG, Y. L.; GUTMANN, J. L. A comparison of four gutta-percha filling techniques in simulated C-shaped canals. **International Endodontic Journal**, v. 48, n. 8, p. 736-746, 2015.

SOUSA-NETO, M. D.; PASSARINHO-NETO, J. G.; CARVALHO-JÚNIOR, J. R.; CRUZ-FILHO, A. M.; PÉCOR, J. D.; SAQUY, P. C. Evaluation of the effect of EDTA, EGTA and CDTA on dentin adhesiveness and microleakage with different root canal sealers. **Brazilian Dental Journal**, v. 13, n. 2, p. 123-128, 2002.

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

TANOMARU-FILHO, M.; BOSSO, R.; VIAPIANA, R.; GUERREIRO-TANOMARU, J. M. Radiopacity and flow of different endodontic sealers. **Acta Odontologica Latinoamericana**, v. 26, n. 2, p. 121-125, 2013.

VANSAN, L. P.; PECORA, J. D.; COSTA, W. F.; MAIA CAMPOS, G. Effects of various irrigating solutions on the cleaning of the root canal with ultrasonic instrumentation. **Brazilian Dental Journal**, v. 1, n. 1, p. 37-44, 1990

VAN DER SLUIS, L. W.; WU, M. K.; WESSELINK, P. R. The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from human root canals prepared using instruments of varying taper. **International Endodontic Journal**, v. 38, n. 10, p. 764-768, 2005.

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

VIAPIANA, R.; FLUMIGNAN, D. L.; GUERREIRO-TANOMARU, J. M.; CAMILLERI, J.; TANOMARU-FILHO, M. Physicochemical and mechanical properties of zirconium oxide and niobium oxide modified Portland cement-based experimental endodontic sealers. **International Endodontic Journal**, v. 47, n. 5, p. 437-448, 2014.

VIAPIANA, R.; MOINZADEH, A. T.; CAMILLERI, L.; WESSELINK, P. R.; TANOMARU FILHO, M.; CAMILLERI, J. Porosity and sealing ability of root fillings with gutta-percha and BioRoot RCS or AH Plus sealers. Evaluation by three ex vivo methods. **International Endodontic Journal**, 2015. In Press.

VITTI, R. P.; PRATI, C.; SINHORETI, M. A.; ZANCHI, C. H.; SOUZA, E. S. M. G.; OGLIARI, F. A.; PIVA, E.; GANDOLFI, M. G. Chemical-physical properties of experimental root canal sealers based on butyl ethylene glycol disalicylate and MTA. **Dental Materials**, v. 29, n. 12, p. 1287-1294, 2013.

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

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

YEUNG, W.; RALDI, D. P.; CUNHA, R. S.; MELLO, I. Assessment of smear layer removal protocols in curved root canals. **Australian Endodontic Journal**, v. 40, n. 2, p. 66-71, 2014.