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

MANOEL BRITO JÚNIOR

**Avaliação da resistência de união de cimentos obturadores
resinosos à dentina radicular, por meio do teste *push-out*
acoplado ao microtomógrafo**

“Versão corrigida”

Ribeirão Preto

2014

MANOEL BRITO JÚNIOR

**Avaliação da resistência de união de cimentos obturadores
resinosos à dentina radicular, por meio do teste *push-out*
acoplado ao microtomógrafo**

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. Manoel D. Sousa Neto

Ribeirão Preto

2014

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: ____/____/2014

Ficha Catalográfica

Brito-Júnior, Manoel

Avaliação da resistência de união de cimentos obturadores resinosos à dentina radicular, por meio do teste *push-out* acoplado ao microtomógrafo. Ribeirão Preto, 2014.

81 p.: il.; 30 cm

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

“Versão corrigida da Tese. A versão original se encontra disponível na Unidade que aloja o Programa”.

Orientador: Sousa-Neto, Manoel Damião

1. Odontologia.
2. Endodontia.
3. Resistência de união.
4. Microtomografia computadorizada.
5. Cimento endodôntico.
6. Teste de *push-out*

BRITO-JÚNIOR, Manoel. **Avaliação da resistência de união de cimentos obturadores resinosos à dentina radicular, por meio do teste *push-out* acoplado ao microtomógrafo. 81p.** Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2014.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

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

Instituição: Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto FORP/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, com apoio da FAPESP Projetos 2009/09989-0 e 2013/10151-6.

Dedicatória

À minha esposa, **Carla Cristina Camilo**, pelo companheirismo, colaboração, compreensão, carinho e amor, durante esta etapa importante de nossas vidas.

Às minhas filhas, **Isabel e Manuela**, razão de ser da minha determinação e crença no futuro.

Aos meus pais, **Manoel de Brito (*in memorian*) e Maria do Rosário Aguiar Brito**, pela formação, exemplo e incentivo constante.

AGRADECIMENTOS

À **Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo** e ao **Departamento de Odontologia Restauradora, à Universidade Estadual de Montes Claros, Unimontes** e ao **Departamento de Odontologia**, pela oportunidade de realização do Doutorado interinstitucional.

Ao meu orientador **Prof. Dr. Manoel Damião de Sousa Neto**, pelos conhecimentos transmitidos, pela orientação segura e pela capacidade de estimular a formação de pesquisadores. Por acreditar na possibilidade de realização do Doutorado interinstitucional FORP-USP/Unimontes e pela coordenação do mesmo com competência, firmeza e liderança. Muito obrigado pela confiança e oportunidades concedidas.

Ao Prof. Dr. Jesus Djalma Pécora, pela colaboração, incentivo e apoio para realização do Doutorado interinstitucional.

Aos professores do curso de Doutorado **Prof. Dr. Antônio Miranda da Cruz Filho, Prof. Dr. Luiz Carlos Pardini, Prof. Dr. Luiz Pascoal Vansan, Prof. Dr. Marcelo Oliveira Mazzetto, Prof. Dr. Silvio Rocha Corrêa da Silva, Profa. Dra. Simone Cecilio Hallak Regalo**, pelos conhecimentos transmitidos.

À **Profa Dra. Regina Guenka Palma Dibb**, pelos conhecimentos transmitidos e pela disponibilidade e auxílio no uso do microscópio confocal.

Ao Prof. Dr. André Luis Faria e Silva, pela colaboração neste trabalho e participação em parceria institucional com a FORP-USP por meio do intercâmbio PRODONTO/CAPES.

À **Graziela Bianchi Leoni, Rodrigo Dantas Pereira, Jardel Francisco Mazzi e Bruno Monguilhott Crozeta**, pela valiosa e indispensável contribuição para a realização deste trabalho.

À **Profa Dra. Yara Teresinha Correa Silva Sousa e à Profa Dra. Érica Alves Gomes**, pela atenção e disponibilidade, colaborando para a realização de etapa importante deste trabalho.

Ao **Prof. Dr. Neilor Mateus Antunes Braga**, pela amizade, lealdade e grande colaboração como coordenador local do Doutorado interinstitucional.

Aos colegas de Doutorado e professores do curso de Odontologia da Unimontes **Adrienne Calixto Freire de Paula, Agnaldo Rocha de Souza Júnior, Altair Soares de Moura, Cássia Pérola dos Anjos Braga Pires, Deícola Coelho Filho, José Mendes da Silva, Soraya Mameluque Ferreira, Tânia Coelho Rocha Caldeira**, pela convivência harmoniosa nesta etapa e por terem acreditado no Doutorado interinstitucional.

Aos colegas da disciplina de Endodontia da Unimontes, **Prof. João Américo Normanha Novaes e Prof. Alex Fabiany de Carvalho Quintino**, pelo apoio, incentivo e solidariedade durante esta etapa acadêmica.

Ao Reitor da Unimontes, **Prof. João dos Reis Canela**, pelo apoio para realização do Doutorado interinstitucional.

Ao Diretor do CEPT- Centro de Educação Profissional e Tecnológica da Unimontes, **Prof. Geraldo Antônio dos Reis**, pela concessão de espaço e acolhimento do laboratório de pesquisa do Doutorado interinstitucional.

Ao **Alberto Ramos de Andrada**, pela colaboração no desenvolvimento de equipamento para o laboratório de pesquisa do Doutorado interinstitucional.

Ao Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde PPGCS/Unimontes, **Prof. Dr. André Luiz Sena Guimarães**, pelo apoio e auxílio na realização deste trabalho.

À Ex-Pró-Reitora de Pesquisa da Unimontes **Profa Dra Silvia Nietzsche**, pelo contato inicial estabelecendo metas e possibilidades para concretizar o projeto do Doutorado interinstitucional.

Ao Pró-Reitor de Pós-Graduação da Unimontes **Prof. Dr. Hercílio Martelli Júnior**, pelo apoio administrativo para realização do Doutorado interinstitucional.

Aos funcionários **Carlos Feitosa dos Santos** e **Reginaldo Santana da Silva**, pelo apoio, acolhimento e disponibilidade em auxiliar o nosso grupo de doutorandos.

À **FADENOR** – Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino Superior do Norte de Minas – pelo apoio e gerenciamento de recursos financeiros destinados ao Doutorado interinstitucional.

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

À **FAPESP** – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – pela viabilização de recursos financeiros para aquisição de equipamento necessário para execução do trabalho.

À **FAPEMIG** – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – pelo apoio financeiro para a realização do Doutorado interinstitucional.

RESUMO

BRITO-JÚNIOR, M. **Avaliação da resistência de união de cimentos obturadores resinosos à dentina radicular, por meio do teste *push-out* acoplado ao microtomógrafo.** 81 p. Ribeirão Preto. 2014. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2014.

O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência de união à dentina da obturação de canais radiculares com cimentos à base de resina epóxica e de metacrilato, por meio do dispositivo *material testing stage* (MTS) acoplado ao microtomógrafo (μ CT), bem como avaliar qualitativamente a ruptura da massa obturadora por meio de imagens de μ CT. Além disso, foram utilizados o método de elementos finitos 3D e microscopia confocal de varredura a laser (MCVL) para verificar, respectivamente, a distribuição de tensões e presença de *gaps* na interface de união. Raízes de caninos superiores com 17 mm de comprimento foram submetidas ao preparo biomecânico com instrumentos rotatórios de níquel titânio, sob irrigação constante com NaOCl 1% e irrigação final com EDTA 17%. Os canais foram obturados pela técnica da condensação lateral com cones de guta percha e os cimentos: AH Plus, Epiphany SE ou RealSeal XT. As raízes foram armazenadas (100% de umidade, 37°C) por três vezes o tempo de endurecimento do cimento utilizado. Após este período, as raízes foram seccionadas para obtenção de dois *slices* (2 mm) de cada terço radicular. Um *slice* de cada terço foi submetido ao teste de *push-out* através de dispositivo mecânico MTS acoplado ao μ CT SkyScan 1174 (50kV, 80mA). Após o escaneamento inicial do *slice*, com resolução isotrópica de 13 μ m, filtro de 0.5 mm de Al e 360° de rotação, o teste mecânico foi iniciado até que ocorresse o deslocamento do material. Novo escaneamento foi realizado com os mesmos parâmetros iniciais, que determinou regiões de ruptura da massa obturadora em secções axiais. Os tipos de falhas foram avaliados por MCVL e classificadas em: adesivas, coesivas e mistas. Modelos 3D de elementos finitos foram gerados para os terços cervical, médio e apical, a partir de imagens de μ CT. No segundo *slice* de cada terço radicular, foi aferido o percentual de *gaps* do material obturador às paredes do canal radicular, por meio de MCVL e do programa OLS 4000. Os dados foram analisados por testes estatísticos paramétricos e não paramétricos ($p < 0,05$). O cimento AH Plus [1,89 (1,01/2,39) MPa] apresentou maior resistência de união à dentina ($p < 0,001$) quando comparado aos cimentos Epiphany SE [0,36 (0,29/0,44) MPa] e RealSeal XT [0,43 (0,32/0,54) MPa]. Para os cimentos AH Plus e RealSeal XT, os terços cervical e médio apresentaram maior resistência de união à dentina que o terço apical ($p < 0,001$). As rupturas ocorreram nas margens da massa obturadora para o cimento AH Plus, enquanto os cimentos Epiphany SE e RealSeal XT tiveram este tipo de ruptura, bem como na própria massa obturadora. No cimento AH Plus, a interface de união mostrou maior concentração de tensões, que foram distribuídas principalmente na massa obturadora para os cimentos Epiphany SE e RealSeal XT. Houve predominância de falhas adesivas e mistas em todos os cimentos. Em relação ao percentual de *gaps*, o cimento AH Plus apresentou as menores médias (11,14% $\pm$ 4,03), com diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) dos cimentos Epiphany SE (55,39% $\pm$ 13,46) e RealSeal XT (62,50% $\pm$ 6,72). O cimento à base de resina epóxica (AH Plus) apresentou a maior resistência de união à dentina e teve comportamento diferente em relação aos outros cimentos, quanto à ruptura da massa obturadora e distribuição de tensão interfacial. Além disso, o cimento AH Plus apresentou o menor percentual de *gaps* entre o material obturador e as paredes do canal radicular.

ABSTRACT

BRITO-JÚNIOR, M. **Evaluation of bond strength of resin-based sealers to radicular dentin by push-out test coupled to a microtomography.** Ribeirão Preto. 2014. 81 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2014.

The aim of this study was to evaluate the bond strength of epoxy resin- and methacrylate-based sealers to root dentin, using the material testing stage (MTS) coupled to a micro-computed tomography (μ CT) device and to qualitatively assess the root-filling mass rupture by μ CT images. Additional analyses were conducted using the 3D element finite method and confocal laser scanning microscopy (CLSM) to verify, respectively, the stress distribution and percentage of gaps on dentin filling material interfaces. Maxillary canine roots measuring 17 mm were subjected to biomechanical preparation with nickel-titanium rotary instruments under constant irrigation with 1% NaOCl and final irrigation with 17% EDTA. Canals were filled by the lateral condensation technique with gutta-percha cones and the following sealers: AH Plus, Epiphany SE or RealSeal XT. The roots were stored (100% humidity, 37 °C) for a period three times longer than the setting time required for each sealer and then sectioned transversally to obtain two 2-mm-thick slices from each root third. One slice of each third was subjected to the push-out test using the MTS coupled to the SkyScan 1174 μ CT (50 kV, 80 mA) with 13 μ m isotropic resolution, 0.5 mm Al filter and 360° rotation. After the initial scanning of the slice, the mechanical test was performed until material dislodgement occurred. A new scanning was performed using the same initial parameters. The axial sections obtained were used for qualitative evaluation of the root-filling mass rupture. Failure modes were assessed by CLSM and classified as adhesive, cohesive or mixed. 3D μ CT based finite element models were generated from cervical, middle and apical root thirds to simulate the push-out test. The second slice of each root third was used to assess the percentage of gaps between the filling material and the root canal walls, using CLSM with the aid of the OLS 4000 software. The data were analyzed by parametric and non-parametric tests ($p < 0.05$). AH Plus presented higher bond strength [1.89 (1.01/2.39) MPa] to dentin ($p < 0.001$) than Epiphany SE [0.36 (0.29/0.44) MPa] and RealSeal XT [0.43 (0.32/0.54) MPa]. For AH Plus and RealSeal XT sealers, the cervical and middle thirds showed higher bond strength to dentin than the apical third ($p < 0.001$). The ruptures occurred in the margins of the root filling mass for AH Plus, while Epiphany SE and RealSeal XT had this type of rupture as well as in the root filling mass itself. AH Plus showed stress concentration on bond interface, while in Epiphany SE and RealSeal XT the stress was mainly distributed on the root-filling mass. Adhesive and mixed failures were the predominant fracture modes in all sealers. Regarding the percentage of gaps between the filling material and the root canal walls, AH Plus presented the lowest means (11.14% $\pm$ 4.03), differing significantly ($p < 0.05$) from Epiphany SE (55.39% $\pm$ 13.46) and RealSeal XT (62.50% $\pm$ 6.72) sealers. The epoxy resin-based sealer (AH Plus) presented the highest bond strength to dentin, which had different behavior from other sealers regarding root-filling mass rupture and interfacial stress distribution. Moreover, AH Plus resulted in the lowest percentage of gaps between the material and the root canal walls.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
PROPOSIÇÃO	9
MATERIAIS E MÉTODOS	13
RESULTADOS.....	37
DISCUSSÃO	51
CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS.....	65
ANEXOS	77

INTRODUÇÃO

Na Endodontia, a limpeza e modelagem do sistema de canais radiculares (SCR) com posterior selamento tridimensional por meio da obturação têm sido os princípios norteadores e biologicamente aceitáveis para o tratamento de patologias pulpares e perirradiculares (SCHILDER, 1974; ESTRELA, 2009). Assim, o tratamento endodôntico deve remover o tecido pulpar inflamado e/ou infectado, eliminar microrganismos e neutralizar produtos tóxicos, bem como promover completa obturação do SCR (WHITWORTH, 2005; ESTRELA, 2009; SCHÄFER et al., 2013; LI et al., 2014).

A combinação entre guta percha e cimento obturador tem sido recomendada para a obturação do SCR (ORSTAVIK, 2005). Uma vez que a guta percha não possui propriedades adesivas, torna-se imprescindível o emprego do cimento obturador para reduzir a interface existente entre a guta percha e as paredes do canal radicular criando, assim, preenchimento compacto e estável (ORSTAVIK, 2005; ARDIZZONI et al., 2013; LI et al., 2014). Para esse fim, o cimento obturador deve possuir adequada união à dentina, por meio de interação físico-química na interface parede do canal/material obturador. Isso deve resultar na eliminação de espaços para evitar a percolação de fluidos e penetração de microrganismos no SCR, além de impedir o deslocamento da obturação durante procedimentos operatórios (SOUSA-NETO et al., 2005; FISHER et al., 2007; HUFFMAN et al., 2009; ASSMANN et al., 2012; CARNEIRO et al., 2012; VILANOVA et al., 2012; SOUZA et al., 2012; GANDOLFI et al., 2013). Dessa maneira, a capacidade de união do cimento à dentina radicular é importante para a manutenção da integridade da obturação ao longo do tempo (WU et al., 2009; ARDIZZONI et al., 2013; LI et al., 2014).

Os cimentos obturadores podem ser classificados de acordo com sua composição em: cimentos à base de óxido de zinco eugenol, cimentos que contêm hidróxido de cálcio, cimentos à base de ionômero de vidro, cimentos resinosos (ORSTAVIK, 2005), cimentos à base de silicone (WOLF et al., 2014), silicato de cálcio (HUFFMAN et al., 2009; ASSMANN et al., 2012) e cerâmicos (SHOKOUHINEJAD et al., 2013). Dentre os cimentos resinosos, o AH Plus (Dentsply/De Trey, Konstanz, Alemanha), à base de resina epóxica, tem sido considerado o padrão-ouro, uma vez que possui boa capacidade de escoamento e selamento apical (VERSIANI et al., 2006; NAGAS et al., 2009; MAHDI et al., 2013, CAMILO, 2014), baixa solubilidade (RESENDE et al., 2009; MARIN-BAUZA et al., 2010), é biocompatível (AL-HIYASAT et al., 2010; SILVEIRA et al., 2011; TAVARES et al., 2013) e apresenta adequada adaptação à parede do canal radicular e penetração nos túbulos dentinários (FISHER et al., 2007; BALGUERIE et al., 2011; NEELAKANTAN et al., 2011; BALLAL et al., 2013; VIAPIANA et al., 2014).

Nos últimos anos, avanços na tecnologia adesiva propiciaram o advento de cimentos obturadores à base de resina metacrilato denominados comercialmente Epiphany SE (Pentron Clinical Technologies, Wallingford, CT, EUA), RealSeal SE (SybronEndo, Orange, CA, EUA), Endo-Rez (Ultradent Products Inc, South Jordan, UT, EUA) e MetaSEAL (Parkell, Farmington, NY, EUA) (DE-DEUS et al., 2009; SHOKOUHINEJAD et al., 2011; HARAGUSHIKU et al., 2012; EHSANI et al., 2013; MAHDI et al., 2013; PRADO et al., 2013; MANDAVA et al., 2014). Esses cimentos têm sido usados em associação a um polímero sintético denominado Resilon (Pentron Clinical Technologies, Wallingford, CT, EUA), para obturações de canais radiculares, na tentativa de formação de monobloco intracanal que poderia atuar

como barreira impermeável e reforço intra-radicular (MONTEIRO et al., 2011; SHANAHAN; DUNCAN, 2011; NAGPAL et al., 2012; LOTFI et al., 2013).

Os cimentos obturadores à base de resina metacrilato também são utilizados com a guta percha (STOLL et al., 2010; LI et al., 2014). No entanto, vários estudos demonstraram que obturações com esses cimentos associados ao Resilon ou à guta percha não apresentaram superioridade em relação à infiltração apical ou resistência de união à dentina radicular quando comparadas a obturações realizadas com guta percha e cimento AH Plus (UNGOR et al., 2006; BAUMGARTNER et al., 2007; BELLI et al., 2008; DE-DEUS et al., 2009; KARAPINAR-KAZANDAĞ et al., 2010; VILANOVA et al., 2012; MAHDI et al., 2013). A possível formação do monobloco com o Resilon também não tem sido observada (TAY; PASHLEY, 2007; DE-DEUS et al., 2011; CASTELO-BAZ et al., 2013), nem mesmo a capacidade de reforço intra-radicular (HEMALATHA et al., 2009). Esses fatores relacionados à obturação com cimentos à base de metacrilato são atribuídos principalmente à falta de união química entre os materiais obturadores e à dentina (TAY; PASHLEY, 2007), à reduzida polimerização dos cimentos no interior do canal (WU et al., 2010) e à significativa contração volumétrica dos cimentos durante a polimerização (TAY; PASHLEY, 2007; LOTFI et al., 2013).

A fim de melhorar as propriedades reológicas desses cimentos resinosos, foi desenvolvido o cimento obturador RealSeal XT (SybronEndo, Orange, CA, EUA), que associa a resina de metacrilato e resina epóxica. Os estudos evidenciam sua capacidade de selamento apical (WONG et al., 2013), baixa citotoxicidade (COTTI et al., 2014) e boa biocompatibilidade (SILVA et al., 2014). No entanto, não foram encontrados estudos sobre a resistência de união desse cimento à dentina radicular.

Testes mecânicos têm sido propostos para avaliar a resistência de união de materiais restauradores e obturadores à dentina radicular, entre eles, os ensaios de micro-tração, cisalhamento e cisalhamento por extrusão (*push-out*) (SOARES et al., 2008; VAN MEERBEEK et al., 2010; TIAN et al., 2012; BOARO et al., 2014).

O teste de *push-out* é considerado viável e reproduzível (VAN MEERBEEK et al., 2010). Apesar dessas características, a variabilidade da geometria e da espessura do espécime e dos diâmetros da ponta de aplicação da carga (NAGAS et al., 2011; CHEN et al., 2013; DIAS et al., 2014), bem como a deformação plástica do material obturador submetido à carga (PANE et al., 2013) são alguns dos fatores que podem alterar a distribuição de tensões ao longo do espécime. Além disso, a fixação e paralelismo dos espécimes são dificuldades comumente encontradas (CASTELLAN et al., 2010; PANE et al., 2013), o que pode dificultar a comparação de resultados obtidos em diferentes estudos, sendo necessário, portanto, estabelecer padronização para o teste de *push-out* (CHEN et al., 2013).

Recentemente, foi desenvolvido um dispositivo mecânico denominado *materials testing stage* (MTS), que é acoplado à microtomografia computadorizada (μ CT) para testar a resistência à compressão de tecido ósseo de rato (TSAFNAT; WROE, 2011). O dispositivo MTS é composto por dois discos paralelos, sendo que o disco superior é móvel para possibilitar ensaio de compressão. A substituição dos discos por suportes, que aprisionam as amostras, possibilita ensaios de *push-out*, permitindo a verificação da centralização da amostra em diferentes angulações antes da tomada microtomográfica, bem como a comparação de imagens reconstruídas de μ CT, provenientes do escaneamento da amostra antes e após o teste de *push-out*, para determinar a região onde houve a ruptura da massa obturadora.

A partir de imagens 3D obtidas em μ CT podem ser gerados modelos 3D detalhados de elementos finitos propiciando a modelagem matemática de estruturas complexas com geometrias irregulares, bem como a modificação dos parâmetros geométricos dessas estruturas (TSAFNAT; WROE, 2011; CHEN et al., 2013), que podem contribuir para o entendimento do teste de *push-out* com informações sobre distribuição de tensões e deformação de materiais obturadores (BELLI et al., 2011; CHEN et al., 2013).

Por outro lado, a análise microscópica da interface entre o material obturador e a parede do canal radicular é importante para verificar a adaptação de diferentes cimentos obturadores na interface com a dentina (TEIXEIRA et al., 2009; COSTA et al., 2010; BALGUERIE et al., 2011; CARNEIRO et al., 2012; GONÇALVES et al., 2014). As metodologias mais utilizadas para a análise da interface incluem microscopia óptica e análise digital de imagens (WEIS et al., 2004; ZASLANSKY et al., 2011), microscopia eletrônica de varredura (HARAGUSHIKU et al., 2012; SOUZA et al., 2012; GONÇALVES et al., 2014; VIAPIANA et al., 2014) e microscopia confocal de varredura a laser (CAVENAGO et al., 2012; DE-DEUS et al., 2012; AMOROSO-SILVA et al., 2014; RACHED-JÚNIOR et al., 2014).

Frente ao exposto e considerando que novos cimentos obturadores devem ser avaliados quanto à capacidade de resistência de união à dentina e que testes mecânicos devem ser aprimorados à luz da evolução tecnológica, torna-se importante a análise quantitativa e qualitativa por meio de micromodelo mecânico para o melhor entendimento do processo de resistência de união de cimentos obturadores resinosos à dentina radicular.

PROPOSIÇÃO

A proposta deste estudo *ex vivo* foi avaliar a resistência de união de cimentos obturadores resinosos à dentina radicular, usando o dispositivo mecânico MTS acoplado ao μ CT. Assim, foram analisados:

- Resistência de união ao cisalhamento por extrusão (*push-out*) dos cimentos AH Plus, Epiphany SE e RealSeal XT associados à guta percha em obturações realizadas pela técnica da condensação lateral em dentes unirradiculares.
- Regiões de rupturas da massa obturadora após o teste de *push-out*, por meio de análise qualitativa em secções axiais de imagens de μ CT.
- Padrão de falhas ocorridas durante o teste de *push-out*, por meio de análise qualitativa em imagens de microscopia confocal de varredura a laser.
- Distribuição de tensões na interface entre os materiais obturadores e a dentina pelo método de elementos finitos, que simulou o teste de *push-out* realizado no micromodelo mecânico experimental.
- Presença de *gaps* na interface entre os materiais obturadores e a dentina, por meio de análise quantitativa em imagens de microscopia confocal a laser.

MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto da pesquisa foi aprovado pelo CEP- Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Montes Claros, Unimontes, em 05 de julho de 2013. Parecer nº 326.879 e CAAE nº 19327613.4.0000.5146 (Anexo 1).

Seleção e preparo da amostra

Caninos superiores humanos, provenientes do Banco de Dentes do Curso de Odontologia da Unimontes, foram selecionados para o estudo. Os dentes foram mantidos em solução de timol 0,1% e posteriormente lavados por 24 h em água corrente. Após esse período, a superfície radicular externa foi submetida à raspagem com ultrassom (Profi II Ceramic, Dabi Atlante Ltda, Ribeirão Preto, SP, Brasil). Minucioso exame macroscópico com auxílio de lupa (aumento de 10 x) foi realizado, excluindo-se dentes com trincas ou fraturas. Após isso, realizou-se exame radiográfico digital (WYS, Softys Dental, Paris, França) nos sentidos orto e méso-radial. Os critérios de inclusão foram: dentes unirradiculares, com raízes completamente formadas, ausência de calcificações e reabsorções, apresentando comprimentos aproximados e sem achatamentos acentuados. Assim, foram selecionados 30 caninos superiores.

Os dentes foram seccionados no sentido transversal, próximo à junção esmalte-cimento, com disco diamantado (KG Sorensen, Barueri, SP, Brasil) em baixa rotação, sob refrigeração, padronizando-se as raízes com 17 mm de comprimento (Figura 1).

Figura 1. (A) Canino superior. (B) Dente seccionado com um disco diamantado próximo à junção esmalte-cimento. (C) Espécime (17 mm) sem a parte coronária.

Os espécimes foram inseridos individualmente em tubos de polipropileno tipo Eppendorf (Eppendorf do Brasil Ltda, São Paulo, SP, Brasil), contendo 1 mL de água destilada e foram mantidos em estufa (37°C, 100% umidade), até o momento do uso.

Preparo dos canais radiculares

Os espécimes foram removidos dos tubos Eppendorf e os canais radiculares foram irrigados com hipoclorito de sódio (NaOCl) 1% (Farmácia Real, Manipulação, Montes Claros, MG, Brasil) utilizando seringa plástica descartável (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, EUA) e agulha NaviTip (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, EUA). Foram utilizados 2 mL de NaOCl em cada canal radicular. Em seguida, introduziu-se uma lima tipo K #10 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) de forma passiva, até sua ponta se apresentar no forame apical, sendo observada com uma lupa estereoscópica (aumento de 25X), alcançando o

comprimento de patência do canal (CPC). Foi subtraído 1 mm do CPC, estabelecendo, assim, o comprimento de trabalho (CT).

Os canais radiculares foram preparados com instrumentos rotatórios do sistema ProTaper Universal (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) acionados por contra-ângulo redutor 6:1 Sirona (SN 25185; VDW GmbH, Munique, Alemanha) acoplado ao micro-motor SMR 114058 (VDW GmbH, Munique, Alemanha) com torque controlado. O micromotor foi conectado ao motor elétrico VDW Silver (VDW GmbH, Munique, Alemanha).

Durante o preparo biomecânico foi utilizada a seguinte sequência de instrumentos: SX até o terço médio do canal radicular (velocidade: 250 rpm; torque: 300 g.cm); S1 até o CT (velocidade: 250 rpm; torque: 300 g.cm); S2 até o CT (velocidade: 250 rpm; torque: 100 g.cm); os instrumentos F1, F2 e F3, consecutivamente, até o CT (velocidade: 250 rpm; torque: 150 g.cm) e F4 até o CT (velocidade: 250 rpm; torque: 200 g.cm). Os instrumentos foram utilizados de forma passiva, com movimentos de avanços de 2 a 3 mm no sentido apical até atingirem o CT. Cada instrumento ProTaper foi empregado para o preparo de cinco canais radiculares (UNAL et al., 2012).

Os canais radiculares foram irrigados com 2 mL de NaOCl 1% a cada troca de instrumento e ao final do preparo utilizou-se 5 mL de ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) 17% (Farmácia Real, Manipulação, Montes Claros, MG, Brasil), durante 5 minutos, para remoção da camada de *smear*. Em seguida, os canais foram irrigados com 2 mL de NaOCl 1% e, finalmente, com 10 mL de água destilada para neutralização de resíduos do NaOCl e do EDTA (NAGAS et al., 2009). Os canais radiculares foram secos com pontas de papel absorvente padronizadas 40.02 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça).

Obturação dos canais radiculares

Os espécimes foram distribuídos aleatoriamente em grupos (n=10) para obturação dos canais radiculares de acordo com os cimentos utilizados: AH Plus, Epiphany SE e RealSeal XT (Figura 2).

Figura 2. Cimentos obturadores utilizados: (A) AH Plus. (B) Epiphany SE. (C) RealSeal XT.

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

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

Cimento	Fabricante	Composição química
AH Plus	Dentsply De Trey, Konstanz, Alemanha	Pasta A: resina epóxi de bisfenol-A, resina epóxi de bisfenol-F, tungstênio de cálcio, óxido de zircônio, silício, óxido de ferro. Pasta B: dibenzil-diamina, aminoadamantano, tungstênio de cálcio, óxido de zircônio, silício, óleo de silicone.
Epiphany SE	Pentron Clincial Technologies, LLC, Wallinford, CT, EUA	EBPADMA, HEMA, BISGMA, resina de metacrilato, bário-boro-silicato, sílica, hidroxiapatita, cálcio-alumínio-fluor-silicato, óxido de alumínio, oxicloreto de bismuto, aminas, peróxido, foto-iniciador, estabilizadores e pigmentos.
RealSeal XT	SybronEndo, Orange, CA, EUA	Combinação de resina metacrilato e resina epóxica baseada nas formulações dos cimentos Epiphany SE e AH Plus

Para a obturação dos canais radiculares foi utilizada a técnica da condensação lateral com cone de guta percha principal padronizado 40.02 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça). A adaptação do cone principal no CT foi verificada em radiografias obtidas nos sentidos orto e méso-radial. Os cimentos obturadores manipulados de acordo com as instruções dos fabricantes foram inseridos nos canais radiculares com uma lima tipo K #40 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) com movimentos de rotação no sentido anti-horário (SHAFFER et al., 2013).

O cone principal com cimento foi introduzido com movimento circular e gradativo, até o CT. Espaçadores digitais tipo C (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) foram introduzidos nos canais radiculares lateralmente ao cone principal, alcançando profundidade de 2 a 3 mm aquém do CT. Cones de guta percha acessórios *Fine* (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) com cimento foram inseridos nos espaços criados, até completo preenchimento dos canais radiculares. Por meio de radiografias orto e méso-radial verificou-se a ausência de espaços vazios na obturação. Devido à natureza dual dos cimentos Epiphany SE e RealSeal XT, os espécimes obturados com esses cimentos foram fotoativados na região cervical usando aparelho fotopolimerizador (Radii Cal, SDI, Bayswater, Austrália) por 40 segundos, com intensidade de luz de 1200 mW/cm².

O excesso do material obturador na entrada do canal foi removido com instrumento (Odous, Belo Horizonte, MG, Brasil) aquecido. Com a guta percha ainda plastificada, foi realizada 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. A limpeza final da entrada dos canais radiculares foi realizada com pensos de algodão umedecidos em álcool. A qualidade da obturação foi verificada em radiografias orto e méso-radial (Figura 3).

Figura 3. Radiografias orto e méso-radial obtidas após obturação de espécime do grupo do cimento AH Plus.

Todos os procedimentos envolvendo o preparo e obturação dos canais radiculares foram realizados pelo mesmo operador. Os espécimes foram armazenados a 37°C e 100% de umidade, aguardando-se período três vezes maior do que o tempo de endurecimento de cada cimento fornecido pelo fabricante.

Secção das raízes

Os espécimes foram fixados em placas de acrílico com cera para escultura (Asfer Ind. Química, São Caetano do Sul, SP, Brasil), com seu longo eixo paralelo à superfície planificada das mesmas. As placas de resina com os espécimes fixados foram individualmente acopladas à máquina de corte de precisão (Isomet 1000, Buehler, Lake Forest, IL, EUA). Utilizou-se disco diamantado de 0,3 mm de espessura (South Bay Technology, San Clement, CA, EUA), sob refrigeração constante, para realizar cortes no sentido méso-distal, perpendicularmente ao longo eixo da raiz, à velocidade de 350 rpm (Figura 4 A). Foram obtidos 6 *slices* com 2 mm de espessura de cada raiz (dois *slices* por terço radicular) (Figura 4 B).

Figura 4. (A) Placa de acrílico fixada à máquina de corte com o disco posicionado para o corte no sentido perpendicular ao longo eixo da raiz. (B) *Slices* com 2 mm de espessura obtidos de uma raiz.

Os *slices* foram distribuídos para o teste de *push-out* e para a análise em microscopia confocal de varredura a laser, conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5. Representação esquemática da distribuição dos *slices* para o teste de *push-out* e para análise em microscopia confocal de varredura a laser.

Teste de resistência de união por meio de *push-out* acoplado ao μ CT

Esse teste foi realizado utilizando o dispositivo MTS (Figura 6), instalado em um μ CT (SkyScan 1174v2; Bruker-microCT, Kontich, Bélgica).

Figura 6. Componentes do dispositivo MTS. (A) Disco superior. (B) Disco inferior equipado com célula de carga (222 N).

Para realização do ensaio de *push-out* foi necessário fabricar dispositivos para aplicação da carga, bem como para fixação e centralização dos espécimes. Assim, foram fabricados dispositivos de poliuretano com pinos cilíndricos de aço inoxidável, cujas pontas ativas foram de 0,6 mm, 0,4 mm e 0,25 mm de diâmetro, compatíveis com o diâmetro do canal radicular nos terços cervical, médio e apical, respectivamente. Esses dispositivos ocuparam a parte superior do tubo de plástico e se encaixaram com precisão no disco localizado no interior do tubo de plástico do MTS (Figura 7).

Figura 7. Dispositivo em poliuretano com pino de aço com ponta de 0,4 mm de diâmetro (1/3 médio) criado sob medida para encaixe no tubo do MTS. (A) Vista frontal. (B) Vista lateral. (C) Encaixe e fixação do dispositivo de poliuretano na cápsula do MTS.

Outro dispositivo de poliuretano (Figura 8 A-B), fabricado com um orifício central de 2 mm de diâmetro, foi montado sobre o disco inferior do MTS (Figura 8 C). O orifício central permitiu o posicionamento do *slice* (Figura 8 D).

Figura 8. Dispositivo em poliuretano com orifício central e haste para encaixe na base do MTS. (A) Vista superior. (B) Vista inferior. (C) Fixação do dispositivo de poliuretano no disco do MTS. (D) *Slice* posicionado sobre o dispositivo.

Um tubo de acrílico (similar ao tubo plástico do MTS), com um êmbolo, foi fabricado para proporcionar o correto paralelismo dos espécimes (Figura 9).

Figura 9. (A) Dispositivo em acrílico posicionado sobre a base do MTS indicando o posicionamento correto do espécime. (B-C) Detalhes da posição do espécime em relação ao pino “calibrador”.

O disco superior do MTS foi fixado no seu disco inferior, com o *slice* já posicionado sobre o dispositivo de poliuretano da base inferior (Figura 10).

Figura 10. (A) Discos superior e inferior do MTS fixados e inseridos no μ CT. (B-C) Detalhes do alinhamento do espécime.

Em seguida, após o fechamento do compartimento da câmara do μ CT, a fonte de raios-X foi acionada e por meio da ferramenta *Video Image* do Programa de Controle SkyScan v.2 foi possível visualizar a projeção da imagem do objeto na tela para verificar a posição perpendicular do espécime em relação ao pino da base superior (Figura 11 A). Por meio da visualização destas projeções iniciais, nove *slices* (quatro do terço cervical, três do terço médio e dois do terço apical) foram substituídos devido a irregularidades na superfície do *slice* impossibilitando sua adequada adaptação na base inferior do MTS (Figura 11 B).

Figura 11. (A) Projeção da imagem do *slice* por meio da ferramenta *Video Image* confirmando a posição perpendicular do espécime em relação ao pino da base superior. (B) Projeção da imagem do *slice* posicionado na base inferior do MTS, por meio da ferramenta *Video Image*, mostrando a forma irregular da superfície impossibilitando a adequada adaptação do espécime na base inferior do MTS.

Ainda com a ferramenta *Video Image* ativada, foram realizadas mudanças na posição angular do objeto (rotação), o que permitiu confirmar o alinhamento e paralelismo do espécime (Figura 12).

Figura 12. Projeções das imagens do *slice* posicionado no MTS mostrando o alinhamento do espécime em diferentes angulações.

Uma vez concluídos os ajustes necessários, foi realizado o escaneamento inicial do aparato com uma resolução isotrópica de $13,0\ \mu\text{m}$. O tubo de raios-X foi operado a 50 kV e 80 mA (filtro 0,5 mm Al) e rotação de 360° em torno do eixo vertical, com tempo de escaneamento aproximado de 27 minutos.

Em seguida, o comando para a compressão contínua foi ativado no programa do MTS iniciando-se o teste com o disco inferior movendo para cima, em direção ao pino da base superior. O pino penetrou na obturação e a deslocou para dentro do orifício da base inferior (Figura 13).

Figura 13. Projeção da imagem do *slice* por meio da ferramenta *Video Image* mostrando o deslocamento do material obturador após o teste de *push-out*.

O comando de parada do teste foi ativado baseado na interrupção da trajetória ascendente da força quando surgia uma linha reta no gráfico do programa do MTS (Figura 14 A). Dados quantitativos relativos à força e ao deslocamento também foram exibidos (Figura 14 B). Registrou-se a força final em Newtons (N).

Figura 14. (A) Gráfico exibido pelo programa do MTS mostrando o momento de parada do teste de *push-out*. (B) Dados relativos à força (N) e ao deslocamento (mm).

A força registrada (N) para o deslocamento do material obturador foi convertida em MegaPascal (MPa), pela divisão da área lateral do material. Assim, a altura de cada *slice* foi mensurada com o auxílio de um paquímetro digital (Mitutoyo, Tóquio, Japão) e a área de união (em mm²) foi calculada pela fórmula da área lateral do tronco de cone (SL):

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

Nesta fórmula, “R” é a medida do raio do material obturador em sua porção coronal, “r” é a medida do raio do material obturador em sua porção apical e “h” é a altura/espessura do *slice*. 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).

Após o teste de *push-out*, o aparato foi submetido ao escaneamento final no μ CT com os mesmos parâmetros do escaneamento inicial.

Reconstrução, processamento das imagens e análise da massa obturadora após o teste de *push-out*

As imagens obtidas dos escaneamentos inicial e final dos *slices* foram reconstruídas usando o programa NRecon v.1.6.6.0 (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica), resultando na completa representação da microestrutura interna de cada espécime. Sendo assim, foi aplicada uma redução de artefatos em forma de anel (*Ring Artefact*) no valor de 5 (escala de 0-20), de endurecimento de feixe (*Beam Hardening*) no percentual de 40% (escala de 0 a 100%), de suavização (*Smoothing*) no valor de 4 (escala de 0 a 10) e com o histograma de contraste variando de -0,03 (valor mínimo) a 0,85 (valor máximo). As secções axiais reconstruídas foram salvas em formato *Bitmap* (BMP).

Em seguida, as imagens de cada espécime após o teste de *push-out* foram alinhadas (registradas) em relação àquelas obtidas no exame microtomográfico inicial, por meio da ferramenta *co-registration* do programa DataViewer v.1.5.0, que permitiu a sobreposição das imagens antes e após o ensaio mecânico. O novo diretório já alinhado foi carregado no programa DataViewer v.1.5.0, o qual permitiu a visualização das imagens nos três planos dimensionais (x, y e z). As imagens iniciais e finais foram exibidas simultaneamente e combinadas no mesmo tamanho (zoom de 190%) para visualização e análise (Figura 15).

Figura 15. Programa DataViewer mostrando os três planos tomográficos: sagital ou longitudinal (Y), axial (Z) e coronal (X). Na barra de ferramentas à esquerda foi possível selecionar a mesma secção axial das imagens já alinhadas antes e após o teste de *push-out* (pontilhado vermelho) para análise qualitativa da obturação.

A análise da massa obturadora foi realizada de forma pareada (inicial e final) e contínua no eixo Z, a fim de verificar a secção axial final que apresentasse rupturas ao longo da margem da obturação (Figura 16 A) ou na própria massa obturadora (Figura 16 B), durante o deslocamento.

Figura 16. Tipos de rupturas encontradas (setas) na avaliação qualitativa. (A) Ruptura ao longo das margens da obturação. (B) Ruptura na massa obturadora.

Análise do tipo de falha durante teste de *push-out*

Para a análise do tipo de falha, os *slices* foram avaliados por meio de microscopia confocal de varredura a laser (LEXT OLS4000, Olympus, Tóquio, Japão) em aumentos de 50 e 100 vezes, utilizando a ferramenta *3D display* do programa OLS 4000 (Olympus, Tóquio, Japão). As falhas observadas foram determinadas em percentuais e classificadas em um dos seguintes subtipos: a) adesiva à dentina: se o material obturador deslocou da dentina; b) adesiva ao material obturador: se a guta percha deslocou do cimento obturador; c) mista: quando a guta percha deslocou tanto da dentina quanto do cimento obturador; d) coesiva na dentina: quando ocorreu fratura na dentina; e) coesiva no material obturador: quando ocorreu fratura no material obturador (Figura 17).

Figura 17. Imagens representativas dos tipos de falhas (setas) avaliados por microscopia confocal de varredura a laser. (A) Adesiva à dentina. (B). Adesiva ao material obturador. (C) Mista. (D) Coesiva na dentina. (E) Coesiva no material obturador.

Análise elementos finitos em 3D

Imagens de μ CT de *slices* do terço cervical, médio e apical, obtidas a partir do escaneamento inicial de um espécime foram reconstruídas no programa NRecon v.1.6.3 Bruker- μ CT. Na reconstrução foi possível dividir a imagem em regiões, reconhecendo-as como objetos independentes uns dos outros e do fundo, caracterizando materiais obturadores e dentina. Nestas imagens reconstruídas (composta por dentina, cone de guta-percha, cimento e pino) foi estabelecido modelo para a análise de elementos finitos 3D simulando o teste de *push-out*. Os dados da μ CT foram importados no programa ScanCAD (Simpleware 4.1, Simpleware Ltd, Rennes Drive, Exeter, UK) para a realização da segmentação e fabricação de máscaras em formato *stereolithography* (STL). Em seguida, o módulo de elasticidade [E] e o coeficiente de Poisson [ν], foram inseridos utilizando o comando ScanFE do programa Simpleware.

O módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson para a guta percha, dentina e o cimento obturador AH Plus foram obtidos na literatura (BELLI et al., 2011). Os dados referentes a estas propriedades mecânicas para os cimentos Epiphany SE e RealSeal XT foram determinados experimentalmente pela técnica de excitação por impulso utilizando o dispositivo Sonelastic (Anexo 2). A Tabela II exhibe o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson dos materiais obturadores e da dentina para a análise de elementos finitos.

Tabela II. Propriedades mecânicas (GPa) dos materiais obturadores e da dentina.

Material	Módulo de elasticidade	Coeficiente de Poisson
AH Plus	3,1	0,30
Epiphany SE	3,5	0,26
RealSeal XT	9,3	0,32
Guta percha	0,7	0,45
Dentina	18,6	0,31

Malhas de elementos finitos foram geradas utilizando os elementos tetraédricos lineares de tipo C3D4 para os terços cervical, médio e apical (Figura 18). Estas malhas foram importadas para o programa de elementos finitos (Abaqus 6.10- EF1 A).

Figura 18. Imagens de *slices* dos terços cervical (A), médio (B) e apical (C) com a geração das malhas, fixação e aplicação da carga com pino cilíndrico simulado.

Uma carga de pressão foi aplicada na superfície superior da malha simulando o pino de aço inoxidável, usado no teste de *push-out*. Esta carga representou o valor médio da força (N) verificado experimentalmente para os espécimes obturados com os diferentes cimentos testados, em cada terço radicular. O modelo foi suportado pela dentina nos três eixos ($x = y = z = 0$). Tensões Equivalentes de von Mises (σ_vM) foram obtidas, permitindo analisar qualitativamente a distribuição de tensões na interface dentina/material obturador.

Análise de *gaps* na interface do material obturador e paredes dentinárias

Para análise de *gaps* na interface do material obturador e paredes dentinárias foram utilizados os *slices* 2, 4 e 6 conforme mostrado no desenho esquemático da Figura 5. Nos *slices* de cada terço radicular, avaliou-se a presença de *gaps* na interface do material obturador e paredes do canal radicular, por meio de microscopia confocal de varredura a laser (LEXT OLS4000, Olympus, Tóquio, Japão) com auxílio do programa OLS 4000, com o objetivo de verificar o percentual de massa obturadora que não estava em contato com parede do canal radicular.

Foram realizadas as mensurações do perímetro da obturação (Figura 19 A) nas faces superior e inferior de cada *slice* com a ferramenta *Free Hand*. Em seguida, foi realizada também a mensuração do perímetro em que massa obturadora apresentava *gaps* ou não estava em contato com a parede do canal radicular (Figura 19 B), determinando a diferença percentual entre estas medidas.

Figura 19. Metodologia para avaliação de *gaps* na interface entre material obturador e dentina em imagens de microscopia confocal de varredura a laser. (A) Mensuração do perímetro da obturação. (B) Mensuração do perímetro da obturação com *gaps*. D: dentina. O: obturação.

Análise Estatística

Os dados de resistência de união foram inicialmente submetidos ao teste ANOVA dois fatores de medidas repetidas, mas estes não apresentaram distribuição normal (Shapiro-Wilk, $p < 0,05$) e nem homogeneidade de variância (teste de Levene, $p < 0,05$). Assim, foi feita a decomposição da análise.

Para comparação dos cimentos obturadores, independente dos terços, os dados não apresentaram normalidade e foram submetidos ao teste de Kruskal-Wallis seguido pelo teste de Tukey. Para a análise do efeito dos terços radiculares, independente do cimento obturador, os dados também não apresentaram normalidade e foram submetidos ao teste de Friedman, seguido pelo teste de Tukey.

Além disso, foi realizada a comparação entre os terços para cada cimento usando o teste ANOVA de medidas repetidas, uma vez que os dados apresentaram

normalidade. Para comparação dos cimentos obturadores em cada terço foi utilizado o teste ANOVA, exceto no terço médio, onde não houve normalidade entre os dados. Neste caso, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis.

Os dados referentes à avaliação de *gaps* apresentaram distribuição normal e foi utilizado o teste ANOVA para a análise estatística. Todas as comparações múltiplas foram feitas com o teste de Tukey.

Para a análise de correlação entre a presença de *gaps* e resistência de união dos cimentos obturadores à dentina radicular foi utilizado o teste de correlação linear de Pearson.

O nível de probabilidade foi fixado em 95% para todas as análises. Os testes estatísticos foram realizados no programa SigmaStat v.3.5 (Systat Software Inc., Chicago, IL, EUA).

RESULTADOS

Teste de *push-out*

Os valores originais, médias e desvios-padrões (em MPa), para a resistência de união à dentina radicular conforme os cimentos obturadores estudados, por terço radicular, estão expressos na Tabela III.

Tabela III. Valores originais, médias ($\bar{x}$) e desvios-padrões (DP), em MegaPascal (MPa), de resistência de união à dentina, conforme cimentos obturadores e terços radiculares.

Terço radicular	Cimento Obturador			$\bar{x}t \pm DP$
	AH Plus	Epiphany SE	Real Seal XT	
Cervical	2,11	0,42	0,60	
	2,54	0,29	0,56	
	1,33	0,29	0,70	
	2,24	0,46	0,77	
	2,68	0,53	0,31	
	2,29	0,32	0,34	
	2,44	0,36	0,48	
	1,92	0,47	0,36	
	2,24	0,32	0,50	
	2,67	0,19	0,57	
$\bar{x} \pm DP$	2,25 $\pm$ 0,40	0,40 $\pm$ 0,12	0,52 $\pm$ 0,15	1,05 $\pm$ 0,89
Médio	2,99	0,36	0,32	
	1,71	0,38	0,54	
	1,86	0,43	0,53	
	2,35	0,23	0,55	
	2,74	0,66	0,47	
	1,06	0,25	0,46	
	2,18	0,25	0,53	
	2,98	0,45	0,56	
	1,69	0,60	0,40	
	2,39	0,21	0,31	
$\bar{x} \pm DP$	2,20 $\pm$ 0,62	0,38 $\pm$ 0,16	0,47 $\pm$ 0,09	1,02 $\pm$ 0,92
Apical	0,56	0,36	0,38	
	1,01	0,41	0,19	
	0,97	0,44	0,37	
	0,94	0,30	0,31	
	0,89	0,45	0,31	
	0,80	0,37	0,16	
	1,01	0,29	0,36	
	0,61	0,23	0,24	
	1,01	0,29	0,37	
	0,88	0,15	0,46	
$\bar{x} \pm DP$	0,87 $\pm$ 0,16	0,33 $\pm$ 0,09	0,32 $\pm$ 0,09	0,50 $\pm$ 0,29
$\bar{x}t \pm DP$	1,77 $\pm$ 0,77	0,36 $\pm$ 0,12	0,43 $\pm$ 0,14	

O teste de Kruskal-Wallis evidenciou diferença estatisticamente significativa entre os cimentos obturadores ($p < 0,001$). O cimento AH Plus apresentou maior resistência de união à dentina quando comparado aos cimentos Epiphany SE e RealSeal XT, sendo estes últimos semelhantes entre si ($p > 0,05$) (Tabela IV).

Tabela IV. Resultados de resistência de união (MPa) para os cimentos obturadores.

Cimentos Obturadores	Mediana (1º / 3º quartis)
AH Plus	1,89 (1,01/2,39) A
Epiphany SE	0,36 (0,29/0,44) B
Real Seal XT	0,43 (0,32/0,54) B

*Letras diferentes indicam diferença estatística significativa ($p < 0,05$).

O teste de Friedman evidenciou diferença estatisticamente significativa do fator terço radicular ($p < 0,001$). Os terços cervical e médio apresentaram maiores valores de resistência de união à dentina radicular que o terço apical. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os terços cervical e médio ($p > 0,05$) (Tabela V).

Tabela V. Resultados de resistência de união (MPa) para os terços radiculares.

Terços radiculares	Mediana (1º / 3º quartis)
Cervical	0,57 (0,36/ 2,11) A
Médio	0,54 (0,38/ 1,71) A
Apical	0,38 (0,30/ 0,80) B

Letras diferentes indicam diferença estatística significativa ($p < 0,05$).

O teste ANOVA de medidas repetidas evidenciou que os cimentos AH Plus ($p < 0,001$) e RealSeal XT ($p = 0,003$) apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os terços radiculares. Para esses cimentos, os terços cervical e

médio apresentaram valores similares e superiores ao terço apical. O terço radicular não afetou a resistência de união para o cimento Epiphany SE ($p=0,261$) (Tabela VI).

Tabela VI. Mediana (1º quartil/ 3º quartil) de resistência de união em MPa.

Cimento	Terço radicular		
	Cervical	Médio	Apical
AH Plus	2,27 (2,14/2,52) Aa	2,27 (1,75/2,65) Aa	0,92 (0,82/1,00) Ab
Epiphany SE	0,39 (0,32/0,47) Ba	0,37 (0,25/0,45) Ba	0,33 (0,29/0,40) Ba
RealSeal XT	0,53 (0,39/0,59) Ba	0,50 (0,42/0,54) Ba	0,34 (0,26/0,37) Bb

Letras diferentes (minúsculas nas linhas, maiúsculas nas colunas) indicam diferenças estatísticas ($p<0,05$).

A Figura 20 ilustra o comportamento dos cimentos obturadores, durante o carregamento, considerando os parâmetros força e deslocamento. Para o cimento AH Plus a estabilização da força ocorreu após um deslocamento maior, em relação aos cimentos Epiphany SE e RealSeal XT.

Figura 20. Gráfico força *versus* deslocamento para os cimentos AH Plus, Epiphany SE e RealSeal XT durante o teste de *push-out*.

Na avaliação qualitativa da ruptura ocorrida na obturação após o teste de *push-out* pela análise das secções axiais, o cimento AH Plus apresentou, em todos os terços, rupturas mais frequentes ao longo da margem da obturação que na massa obturadora, em relação aos cimentos Epiphany SE e RealSeal XT. Já estes dois cimentos apresentaram comportamento semelhante entre si, com rupturas distribuídas de forma mais homogênea entre estes dois tipos (Figura 21). Outra característica observada nos cimentos Epiphany SE e RealSeal XT foi que nas secções axiais onde a forma dos canais se apresentava mais achatada (terços cervicais e maioria dos terços médios), as rupturas na margem do material obturador ocorreram com maior frequência na extremidade das regiões vestibular e palatina da obturação, onde há maior quantidade de cimento obturador (Figura 22).

Figura 21. (A) Ruptura na margem da obturação (AH Plus). (B) Ruptura na massa obturadora (Epiphany SE). (C) Rupturas na margem da obturação e na massa obturadora (RealSeal XT).

Figura 22. Ruptura na extremidade da obturação em canal achatado no terço cervical (seta) (Epiphany SE).

Análise do tipo de falha

Nas obturações realizadas com o cimento AH Plus houve predomínio de falhas adesivas à dentina e falhas mistas em todos os terços radiculares. Algumas falhas coesivas foram observadas nos terços médio e apical (Tabela VII).

Tabela VII. Tipos de falhas durante o teste de *push-out*, em cada terço radicular, para obturações realizadas com o cimento AH Plus (valores percentuais).

Tipos de falhas	Cimento AH Plus		
	Terços radiculares		
	Cervical	Médio	Apical
Adesiva (Dentina)	50	60	40
Adesiva (Obturação)	---	---	---
Mista	50	20	50
Coesiva (Dentina)	---	10	---
Coesiva (Obturação)	---	10	10

Para o cimento Epiphany SE houve maior frequência de falhas adesivas à dentina nos terços médio e apical. No terço cervical houve predomínio de falhas mistas. Falhas coesivas na dentina (terço cervical) e na obturação (terços médio e apical) foram identificadas em baixos percentuais (Tabela VIII).

Tabela VIII. Tipos de falhas durante o teste de *push-out*, em cada terço radicular, para obturações realizadas com o cimento Epiphany SE (valores percentuais).

Tipos de falhas	Cimento Epiphany SE		
	Terços radiculares		
	Cervical	Médio	Apical
Adesiva (Dentina)	30	60	70
Adesiva (Obturação)	20	---	---
Mista	40	30	20
Coesiva (Dentina)	10	---	---
Coesiva (Obturação)	---	10	10

O cimento RealSeal XT apresentou predomínio de falhas mistas no terço cervical e médio e falhas adesivas à dentina no terço apical (Tabela IX).

Tabela IX. Tipos de falhas durante o teste de *push-out*, em cada terço radicular, para obturações realizadas com o cimento RealSeal XT (valores percentuais).

Tipos de falhas	Cimento RealSeal XT		
	Terços radiculares		
	Cervical	Médio	Apical
Adesiva (Dentina)	10	30	60
Adesiva (Obturação)	20	---	---
Mista	60	60	30
Coesiva (Dentina)	---	---	---
Coesiva (Obturação)	10	10	10

Análise em Elementos Finitos 3D

Considerando a análise qualitativa em elementos finitos foi possível observar que para o cimento AH Plus as tensões de Von Mises foram distribuídas predominantemente na interface cimento obturador/parede dentinária. Para esse cimento, nos terços cervical e médio, foram encontrados pontos de tensão elevados

na massa obturadora. Nas obturações com os cimentos obturadores Epiphany SE e RealSeal XT, as tensões de Von Mises foram verificadas na interface de união, bem como distribuídas no interior da obturação, entre o cone de guta percha e o cimento obturador, particularmente nos terços cervical e médio.

Nas Figuras 23, 24 e 25 estão representadas imagens da análise de elementos finitos mostrando a distribuição de tensões de Von Mises para os cimentos AH Plus, Epiphany SE e RealSeal XT, respectivamente.

Figura 23. Imagens representativas de distribuição de tensões de Von Mises para o cimento AH Plus (A e B – terço cervical, C e D – terço médio, E e F – terço apical). Valores mais altos e mais baixos de tensões são indicados por cores vermelho e azul, respectivamente.

Figura 24. Imagens representativas de distribuição de tensões de Von Mises para o cimento Epiphany SE (A e B – terço cervical, C e D – terço médio, E e F – terço apical). Valores mais altos e mais baixos de tensões são indicados por cores vermelho e azul, respectivamente.

Figura 25. Imagens representativas de distribuição de tensões de Von Mises para o cimento RealSeal XT (A e B – terço cervical, C e D – terço médio, E e F – terço apical). Valores mais altos e mais baixos de tensões são indicados por cores vermelho e azul, respectivamente.

Análise de *gaps* na interface do material obturador e paredes dentinárias

Os valores originais, médias e desvios-padrões dos percentuais de *gaps* na interface do material obturador e paredes dentinárias conforme os cimentos obturadores estudados estão expressos na Tabela X.

Tabela X. Valores originais, médias ($\bar{x}$) e desvios-padrões (DP), dos percentuais de *gaps* na interface obturação/dentina, conforme os cimentos obturadores estudados.

Terço radicular	Cimento Obturador			$\bar{x} \pm DP$
	AH Plus	Epiphany SE	Real Seal XT	
Cervical	6,44	30,23	44,09	
	7,70	39,87	55,19	
	8,00	49,91	66,83	
	10,05	53,22	69,60	
	18,45	60,19	73,01	
$\bar{x} \pm DP$	10,13 $\pm$ 4,83	46,68 $\pm$ 11,75	61,74 $\pm$ 11,92	39,52 $\pm$ 24,29
Médio	6,02	40,41	43,45	
	9,49	54,05	60,10	
	10,22	54,09	60,49	
	11,50	58,23	63,14	
	16,02	85,16	81,30	
$\bar{x} \pm DP$	10,65 $\pm$ 3,62	58,39 $\pm$ 16,41	61,69 $\pm$ 13,44	43,58 $\pm$ 26,74
Apical	7,40	50,86	25,93	
	12,01	53,52	59,39	
	12,10	63,94	69,10	
	13,07	64,26	69,12	
	18,61	72,99	96,90	
$\bar{x} \pm DP$	12,64 $\pm$ 4,00	61,11 $\pm$ 8,97	64,09 $\pm$ 25,52	45,95 $\pm$ 28,45
$\bar{x} \pm DP$	11,14 $\pm$ 4,03	55,39 $\pm$ 13,47	62,51 $\pm$ 16,72	

O teste de Tukey evidenciou diferença estatisticamente significante entre os cimentos obturadores (Tabela XI). As obturações com o cimento AH Plus apresentaram menores percentuais de *gaps* quando comparadas às obturações realizadas com os cimentos Epiphany SE e RealSeal XT ($p < 0,0001$), sendo estes últimos semelhantes entre si ($p > 0,05$).

Tabela XI. Teste de Tukey para os cimentos obturadores.

Cimentos Obturadores	Média ± Desvio padrão
AH Plus	11,14 ± 4,03 A
Epiphany SE	55,39 ± 13,47 B
RealSeal XT	62,51 ± 16,72 B

Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significante ($p < 0,0001$).

Na análise entre os terços radiculares, o teste de Tukey (Tabela XII) evidenciou que os percentuais de *gaps* na interface material obturador/dentina foram estatisticamente semelhantes para os terços cervical, médio e apical ($p > 0,05$).

Tabela XII. Teste de Tukey para os terços radiculares.

Terços radiculares	Média ± Desvio padrão
Cervical	39,52 ± 24,29 A
Médio	43,58 ± 26,74 A
Apical	45,95 ± 28,45 A

Letras iguais indicam semelhança estatística ($p > 0,05$).

Em relação à interação entre terços radiculares e cimentos obturadores, o teste de Tukey (Tabela XIII) evidenciou que nas obturações com o cimento AH Plus os terços cervical, médio e apical apresentaram diferença estatisticamente significante ($p < 0,0001$), quando comparados aos respectivos terços radiculares das obturações com os cimentos Epiphany SE e RealSeal XT.

Tabela XIII. Teste de Tukey para os terços radiculares e cimentos obturadores.

Terços radiculares	Cimentos Obturadores		
	AH Plus	Epiphany SE	RealSeal XT
Cervical	10,13 ± 4,83 Aa	46,68 ± 11,75 Bb	61,74 ± 11,92 Bb
Médio	10,65 ± 3,62 Aa	58,39 ± 16,41 Bb	61,69 ± 13,44 Bb
Apical	12,64 ± 4,00 Aa	61,11 ± 8,97 Bb	64,09 ± 25,52 Bb

Letras maiúsculas semelhantes indicam semelhança estatística nas colunas ($p > 0,05$) e letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas nas linhas ($p < 0,0001$).

Na Figura 26 estão apresentadas imagens de microscopia confocal de varredura a laser representativas da presença de *gaps* na interface do material obturador e paredes dentinárias, para cada cimento obturador e terço radicular.

Figura 26. Imagens de microscopia confocal de varredura a laser representativas de *gaps* na interface do material obturador e paredes dentinárias (setas) para os cimentos AH Plus (A - terço cervical, B - terço médio e C-terço apical), Epiphany SE (D - terço cervical, E - terço médio e F - terço apical) e RealSeal XT (G - terço cervical, H- terço médio e I - terço apical).D:dentina; O:Obturação.

DISCUSSÃO

A capacidade de união do cimento obturador às paredes dentinárias é importante para a estabilidade e integridade do selamento do canal radicular (WU et al., 2009; LI et al., 2014). A *American Dental Association* (ADA) não padroniza os testes para mensuração da resistência de união na interface do cimento obturador e dentina radicular, no entanto, o teste de *push-out* tem sido o mais empregado, gerando tensões de cisalhamento durante a aplicação da carga (SOUSA-NETO et al., 2005; NUNES et al., 2008; TEIXEIRA et al., 2009; NAGAS et al., 2011; CHEN et al., 2013), e permitindo avaliar a resistência de união nos diferentes terços radiculares (NEELAKANTAN et al., 2011; CARNEIRO et al., 2012; DIAS et al., 2014).

No presente estudo, o teste de *push-out* foi realizado com o dispositivo mecânico MTS (TSAFNAT; WROE, 2011), o qual foi adaptado para estabelecer condições experimentais padronizadas, principalmente em relação ao alinhamento do espécime para aplicação do carregamento, bem como para avaliação do comportamento dos diferentes cimentos obturadores por meio da análise de imagens de μ CT.

De acordo com PANE et al. (2013), um dos pontos críticos para realização do teste de *push-out* é o correto posicionamento e alinhamento do espécime para aplicação da força direcionada na interface de união entre o material obturador e dentina. No presente estudo, o paralelismo entre a ponta aplicadora da força e o espécime foi assegurado pelo uso do pino calibrador e pelas imagens do aparato obtidas pela emissão inicial da fonte de raios-X e que foram visualizadas, em 360 graus, por meio da ferramenta *Video Image* do μ CT. Isso permitiu ainda a exclusão de *slices* com irregularidades de cortes, que levou à falta de adaptação destes espécimes na base inferior do aparato e conseqüente desalinhamento. Tem sido

demonstrado que pequenas variações (5° a 10°) na orientação de corte da raiz em relação ao seu eixo longitudinal podem interferir nos resultados da força aplicada (PANE et al., 2013).

Além disso, três tipos de pontas aplicadoras da força, com diâmetros diferentes, foram utilizadas para os terços cervical, médio e apical no presente estudo (CARNEIRO et al., 2012; DIAS et al., 2014). Os diâmetros dessas pontas corresponderam a 70-80% da área da obturação em cada terço radicular (NAGAS et al., 2011; CHEN et al., 2013; PANE et al., 2013), para evitar tensões pontuais causadas por pontas finas que levam à penetração do pino no material obturador, sem testar a interface de união (CHEN et al., 2013).

Em relação ao método de elementos finitos (MEF), foram obtidos modelos 3D a partir de imagens de μ CT para facilitar a geração de malhas e definição das condições de contorno (fixação, simetria e aplicação de carga), que viabilizaram a simulação do teste de *push-out* (GRASSI et al., 2012). Modelos de elementos finitos 3D permitem detalhar o comportamento biomecânico de materiais e estruturas odontológicas por meio de análises confiáveis da concentração e distribuição de tensões (BELLI et al., 2011; POIATE et al., 2011; PESQUEIRA et al., 2014), onde pelo critério de Von Mises considera-se a deformação microscópica e distorção na forma da estrutura causadas por forças de tração, compressão ou cisalhamento (SOARES et al., 2008; BELLI et al., 2011). Assim, a energia acumulada devido a essa deformação é um indicador da magnitude das tensões em determinado ponto da estrutura, sugerindo a provável região de falha (SOARES et al., 2008; CHEN et al., 2013).

Através do microscópio confocal de varredura a laser foi possível avaliar com acuidade o padrão de falhas e áreas interfaciais com *gaps*, uma vez que este tipo de

microscópio elimina as estruturas fora de foco na formação da imagem, deixando-a com melhor definição, contraste e profundidade do campo em relação, por exemplo, à microscopia óptica convencional (GARCÍA-HERRAIZ et al., 2012; KWON et al., 2013). Na microscopia confocal, a imagem é formada pela reflexão do laser que incide sobre a superfície da amostra obtendo sua topografia de modo semelhante à microscopia eletrônica de varredura, no entanto, sem a necessidade da utilização do vácuo ou metalização, que provocam a desidratação da amostra e podem induzir artefatos de técnica (BITTER et al., 2009; DE DEUS et al., 2011). Dessa maneira, os métodos utilizados no presente estudo foram complementares para o entendimento da resistência de união e adaptação dos materiais obturadores às paredes do canal radicular.

Os resultados do teste de *push-out* evidenciaram que os espécimes obturados com o cimento AH Plus apresentaram resistência de união estatisticamente maior do que aqueles obturados com os cimentos Epiphany SE e RealSeal XT. A eficácia dos procedimentos adesivos para cimentos à base de metacrilato, como o Epiphany SE, é limitada pela insuficiente penetração da luz no canal radicular para desencadear a conversão dos monômeros (WU et al., 2010), bem como pela redução volumétrica durante a polimerização (KIM et al., 2010). Isso leva à geração de tensões e rompimento das interfaces de união (DE-DEUS et al., 2009; COSTA et al., 2010), e implica, comumente, em baixos valores de resistência de união (COSTA et al., 2010; CARNEIRO et al., 2012; GONÇALVES et al., 2014).

O cimento RealSeal XT possui em sua matriz as resinas epóxica e metacrilato, o que pode acarretar interferências físicas e químicas durante o seu processo de polimerização. A fotoativação de cimentos híbridos de monômeros metacrilatos e à base de resina epóxica resulta em ativação apenas da reação de

polimerização dos monômeros metacrilatos, enquanto que a polimerização da porção epóxica ocorre pela ativação química desta reação, que é mais lenta (PEREIRA et al., 2010). Dessa maneira, a fotoativação coronária do cimento RealSeal XT imediatamente após a sua inserção no canal radicular resultou apenas na ativação da reação de polimerização dos monômeros da resina metacrilato. Considerando que a polimerização do metacrilato libera água (MORAIS et al., 2007; FERRACANE et al., 2011), possivelmente ocorreu um comprometimento da reação de polimerização da resina epóxica, que possui características hidrofóbicas (SOUZA et al., 2012). Assim, a falta de integridade da rede de polímeros do cimento, aliada à contração volumétrica da resina metacrilato após a fotoativação (KIM et al., 2010), resultaram, provavelmente, em fraca união interfacial do material obturador com a dentina. Vale destacar que o fabricante não informa a proporção de resina epóxica e de metacrilato na formulação do cimento RealSeal XT, sendo assim, a matriz polimérica pode ser alterada em função da quantidade de cada resina presente na sua composição, uma vez que a resina epóxica possui estrutura de cadeia monomérica mais longa em relação à resina metacrilato, tornando-se importante durante o processo de fabricação deste cimento híbrido a sua homogeneização para assegurar a compactação das estruturas monoméricas e coesão entre as mesmas.

Por outro lado, o cimento obturador AH Plus possui boa capacidade de escoamento e elevado tempo de reação de polimerização (VERSIANI et al., 2006; NUNES et al., 2008; RESENDE et al., 2009), favorecendo sua penetração nas microirregularidades da parede do canal radicular (BALGUERIE et al., 2011; DE-DEUS et al., 2011; HARAGUSHIKU et al., 2012; DIAS et al., 2014) e, conseqüentemente, maior imbricação mecânica com as paredes do canal radicular.

Além disso, esse cimento pode interagir quimicamente com a rede de colágeno da dentina radicular (FISHER et al., 2007; NEELAKANTAN et al., 2011).

Os resultados dos dados de força *versus* deslocamento (Figura 20) indicam que apenas o cimento AH Plus resistiu ao rápido aumento da força na fase inicial do carregamento, confirmando a maior união deste material obturador à dentina. Entretanto, a curva deste cimento manteve a mesma inclinação até deslocamento próximo de 0,4 mm, e neste ponto, pode-se considerar que qualquer união micromecânica/química entre o cimento e a dentina já tenha se rompido e apenas a fricção do material obturador às paredes do canal radicular manteve a curva ascendente de força (PANE et al., 2013). Já para os cimentos Epiphany SE e RealSeal XT, as curvas apresentaram menor inclinação e estabilização com menor deslocamento, sugerindo que a resistência de união à dentina radicular ocorreu, principalmente, pela retenção friccional.

Em relação à avaliação da massa obturadora nas imagens de μ CT, o cimento AH Plus apresentou rupturas mais frequentes nas margens da obturação possivelmente devido à elevada coesão entre suas moléculas, que proporciona maior resistência à massa obturadora (SOUSA-NETO et al., 2005; NUNES et al., 2008). Os cimentos Epiphany SE e RealSeal XT tiveram rupturas nas margens da obturação e na própria massa obturadora, uma vez que a resina metacrilato tem baixa resistência a compressão (MANDAVA et al., 2014). Além disso, as rupturas da obturação nas áreas polares provavelmente ocorreram em função da maior quantidade de cimento obturador, sem a presença de guta percha. Vale destacar que durante a reconstrução das imagens de μ CT foram reduzidos os artefatos de endurecimento de feixe (*beam hardening*), provocados pela alta densidade dos materiais obturadores, por meio da função de correção (40%) e da modificação dos

limites de contraste do histograma no modo logarítmico (ZOU et al., 2011; SOUZA et al., 2013).

A avaliação dos terços radiculares evidenciou que os cimentos AH Plus e RealSeal XT apresentaram maiores valores de resistência de união nos terços cervical e médio, enquanto para o cimento Epiphany SE estes valores foram semelhantes em todos terços radiculares. Além disso, independente do cimento obturador utilizado, o terço apical obteve os menores valores de resistência de união. A menor quantidade de túbulos dentinários e o seu menor diâmetro na região apical (MJÖR et al., 2001), bem como a dificuldade da remoção da camada de *smear* nesta região, mesmo com a utilização do EDTA (PRADO et al., 2013), podem afetar negativamente a força de união do cimento obturador com a dentina (BABB et al., 2009; EL-MA'AITA et al., 2013). No entanto, outros estudos (COSTA et al., 2010; GONÇALVES et al., 2014) não observaram diferença entre os terços radiculares quando utilizaram o cimento Epiphany SE, demonstrando que, independente de variações da densidade tubular no canal radicular, este cimento obturador apresentou baixos valores de união, como verificado no presente estudo.

Na análise do tipo de falha por microscopia confocal de varredura a laser verificou-se falhas adesivas e mistas com maior frequência para todos os cimentos obturadores. A literatura relata predomínio de falhas mistas e adesivas para o cimento AH Plus (NAGAS et al., 2011; CARNEIRO et al., 2012) e adesivas para cimentos a base de metacrilato (UNGOR et al., 2006; PRADO et al., 2013). Destaca-se a ocorrência de falhas adesivas na obturação para os cimentos Epiphany SE e RealSeal XT em função da falta de união com os cones de guta percha (STOLL et al., 2010), que permitiu o deslocamento destes do volume da massa obturadora (CARNEIRO et al., 2012). Assim, pode-se especular que pontos de ruptura

observados na massa obturadora por meio das secções axiais de μ CT foram coincidentes com as regiões de desunião dos cones com os cimentos obturadores à base de metacrilato.

As falhas ocorreram freqüentemente nos locais de maior concentração de tensões verificados na análise de elementos finitos, corroborando a diferença de comportamento entre os cimentos obturadores. Pontos de tensões elevados entre o material obturador e dentina (AH Plus) ou entre guta percha e cimento (Epiphany SE e RealSeal XT) sugerem falta de integridade da obturação, caracterizando as regiões mais susceptíveis para a ocorrência de falhas (GRASSI et al., 2012; CHEN et al., 2013). Estas regiões de maior tensão foram verificadas principalmente nos terços cervical e médio, onde as variações na forma da secção transversal do canal radicular dificultam a adaptação precisa do cone de guta percha nas paredes dentinárias propiciando vazios e defeitos na obturação (ROBBERECHT et al., 2012), ao contrário do terço apical, que possui secção transversal mais circular e favorece o preenchimento pela técnica da condensação lateral (ROSETTO et al., 2014).

A análise dos dados mostrou que os valores percentuais de *gaps* na interface de união apresentaram uma correlação significativa e inversa com os valores de resistência de união. O cimento AH Plus possibilitou os maiores valores de resistência de união e menor presença de *gaps* quando comparado aos cimentos Epiphany SE e RealSeal XT, o que pode ser explicado pela viscosidade e tempo necessário para polimerização dos materiais obturadores. Uma vez que o cimento AH Plus possui baixa viscosidade, esse material obturador tende a se adaptar melhor às paredes do canal radicular (BALGUERIE et al., 2011; HARAGUSHIKU et al., 2012; ZHOU et al., 2013; GONÇALVES et al., 2014), enquanto o tempo de polimerização mais lento permite que esta adaptação ocorra antes do aumento

significativo da sua viscosidade (VERSIANI et al, 2006; RESENDE et al., 2009; ZHOU et al., 2013). Por outro lado, tem sido demonstrado que o cimento obturador Epiphany SE tem a sua viscosidade aumentada quando submetido à pressão (KHEDMAT et al., 2012), como a exercida durante a técnica da condensação lateral, o que pode comprometer a adaptação desse cimento às paredes do canal radicular(CAMILO, 2014).

Dessa maneira, os dados obtidos ratificam melhor capacidade de união do cimento AH Plus à dentina que os cimentos obturadores que contém resina metacrilato em sua composição (DE-DEUS et al. 2009; PATIL et al., 2013; GONÇALVES et al., 2014) e, além disso, indicam que o cimento AH Plus proporciona uma massa obturadora mais coesa e melhor distribuição de tensões na interface de união. É importante enfatizar que o teste de *push-out* é considerado um ensaio destrutivo e pode prever a capacidade de carga suportada na interface de união material obturador/dentina, mas apresenta limitações para obtenção de informações do comportamento estrutural da obturação sob a aplicação do carregamento (CHEN et al., 2013). Assim, informações extraídas das análises de imagens de μ CT, elementos finitos e microscopia confocal de varredura a laser complementaram os resultados de resistência de união, indicando os locais e a probabilidade de ruptura da massa obturadora, bem como as falhas e interação dos materiais obturadores com as paredes dentinárias.

CONCLUSÕES

Com base na metodologia proposta e nos resultados obtidos, destaca-se a importância deste estudo ao propiciar informações quantitativas e qualitativas sobre a capacidade de união e adaptação de cimentos obturadores resinosos às paredes dos canais radiculares. Dessa maneira, o cimento AH Plus (à base de resina epóxica) demonstrou maior resistência de união e menores áreas interfaciais contendo *gaps* que os cimentos Epiphany SE (à base de resina metacrilato) e RealSeal XT (à base de resina epóxica e metacrilato). Além disso, análises baseadas em imagens de μ CT e pelo método de elementos finitos evidenciaram que o cimento AH Plus apresentou maior concentração de tensões na interface com a dentina e rupturas nas margens da obturação em relação aos cimentos Epiphany SE e RealSeal XT.

REFERÊNCIAS

AL-HIYASAT, A. S.; TAYYAR, M.; DARMANI, H. Cytotoxicity evaluation of various resin based root canal sealers. **International Endodontic Journal**, v. 43, n. 2, p. 148-153, 2010.

AMOROSO-SILVA, P. A.; GUIMARÃES, B. M.; MARCIANO, M. A.; DUARTE, M. A.; CAVENAGO, B. C.; ORDINOLA-ZAPATA, R.; DE ALMEIDA, M. M.; DE MORAES, I. G. Microscopic analysis of the quality of obturation and physical properties of MTA Fillapex. **Microscopy Research and Technique**, 2014. [Epub ahead of print]

ARDIZZONI, A.; GENERALI, L.; RIGHI, E.; BASCHIERI, M. C.; CAVANI, F.; MANCA, L.; LUGLI, E.; MIGLIARESE, L.; BLASI, E.; NEGLIA, R. G. Differential efficacy of endodontic obturation procedures: an ex vivo study. **Odontology**, 2013. [Epub ahead of print].

ASSMANN, E.; SCARPARO, R. K.; BÖTTCHER, D. E.; GRECCA, F. S. Dentin bond strength of two mineral trioxide aggregate-based and one epoxy resin-based sealers. **Journal of Endodontics**, v. 38, n. 2, p. 219-221, 2012.

BABB, B. R.; LOUSHINE, R. J.; BRYAN, T. E.; AMES, J. M.; CAUSEY, M. S.; KIM, J. K.; WELLS, R. N.; PASHLEY, D. H.; TAY, F. R. Bonding of self-adhesive (self-etching) root canal sealers to radicular dentin. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 4, p. 578-82, 2009.

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

BALLAL, N. V.; TWEENY, A.; KHECHEN, K.; PRABHU, K. N.; SATYANARAYAN, TAY, F. R. Wettability of root canal sealers on intraradicular dentine treated with different irrigating solutions. **Journal of Dentistry**, v. 41, n. 6, p. 556-560, 2013.

BAUMGARTNER, G.; ZEHNDER, M.; PAQUÉ, F. Enterococcus faecalis type strain leakage through root canals filled with Gutta-Percha/AH plus or Resilon/Epiphany. **Journal of Endodontics**, v. 33, n. 1, p. 45-47, 2007.

BELLI, S.; OZCAN, E.; DERINBAY, O.; ELDENIZ, A. U. A comparative evaluation of sealing ability of a new, self-etching, dual-curable sealer: hybrid root SEAL (MetaSEAL). **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 106, n. 6, p. 45-52, 2008.

BELLI S.; ERASLAN, O.; ESKITASCIOGLU, G.; KARBHARI, V. Monoblocks in root canals: a finite elemental stress analysis study. **International Endodontic Journal**, v. 44, n. 9, p. 817-826, 2011.

BITTER, K.; PARIS, S.; MUELLER, J.; NEUMANN, K.; KIELBASSA, A. M. Correlation of scanning electron and confocal laser scanning microscopic analyses for visualization of dentin/adhesive interfaces in the root canal. **The Journal of Adhesive Dentistry**, v. 11, n. 1, p. 7-14, 2009.

BOARO, L. C.; FRÓES-SALGADO, N. R.; GAJEWSKI, V. E.; BICALHO, A. A.; VALDIVIA, A. D.; SOARES C. J.; JÚNIOR W.G.; BRAGA, R. R. Correlation between polymerization stress and interfacial integrity of composites restorations assessed by different in vitro tests. **Dental Materials**, 2014 [Epub ahead of print].

CAMILO, C. C. A. **Avaliação da técnica de obturação usando cone único de sistemas reciprocantes com diferentes cimentos, em relação ao selamento apical e adesividade à dentina**. Ribeirão Preto: Tese de Doutorado [Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto - Universidade de São Paulo], 82 p., 2014.

CARNEIRO, S. M.; SOUSA-NETO, M. D.; RACHED JR, 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.

CASTELLAN, C. S.; SANTOS-FILHO, P. C.; SOARES, P. V.; SOARES, C. J.; CARDOSO, P. E. Measuring bond strength between fiber post and root dentin: a comparison of different tests. **The Journal of Adhesive Dentistry**, v. 12, n. 6, p. 477-485, 2010.

CASTELO-BAZ, P.; MARTIN-BIEDMA, B.; LOPES, M. M.; PIRES-LOPES, L. SILVEIRA, J.; LÓPEZ-ROSALES, E.; VARELA-PATIÑO, P. Ultramicroscopic study of the interface and sealing ability of four root canal obturation methods: Resilon versus gutta-percha. **Australian Endodontic Journal**, v. 39, n. 3, p. 159-163, 2013.

CAVENAGO, B. C.; DUARTE, M. A.; ORDINOLA-ZAPATA, R.; MARCIANO, M. A.; CARPIO-PEROCHENA, A. E.; BRAMANTE, C. M. 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. **Brazilian Dental Journal**, v. 23, n. 3, p. 205-211, 2012.

CHEN, W. P.; CHEN, Y. Y.; HUANG, S. H.; LIN, C. P. Limitations of push-out test in bond strength measurement. **Journal of Endodontics**, v. 39, n. 2, p. 283-287, 2013.

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

COTTI, E.; PETREUCIC, V.; RE, D.; SIMBULA, G. Cytotoxicity evaluation of a new resin-based hybrid root canal sealer: an in vitro study. **Journal of Endodontics**, v. 40, n. 1, p. 124-128, 2014.

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

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

DIAS, K. C.; SOARES, C. J.; STEIER, L.; VERSIANI, M. A.; RACHED-JÚNIOR, F. J.; PÉCORA, J. D.; SILVA-SOUSA, Y. T.; DE SOUSA-NETO, M. D. Influence of drying protocol with isopropylalcohol on the bond strength of resin-based sealers to the root dentin. **Journal of Endodontics**, v. 40, n. 9, p. 1454-1458, 2014.

EHSANI, S.; BOLHARI, B.; ETEMADI, A.; GHORBANZADEH, A.; SABET, Y.; NOSRAT, A. The effect of Er,Cr:YSGG laser irradiation on the push-out bond strength of RealSeal self-etch sealer. **Photomedicine Laser Surgery**, v. 31, n.12, p. 578-585, 2013.

EL-MA'AITA, A. M.; QUALTROUGH, A. J.; WATTS, D. C. The effect of smear layer on the push-out bond strength of root canal calcium silicate cements. **Dental Materials**, v. 29, n.7, p. 797-803, 2013.

ESTRELA, C. **Endodontic Science**. São Paulo: Artes Médicas Dentistry, 2009.

FERRACANE, J. L.; STANSBURY, J. W.; BURKE, F. J. Self-adhesive resin cements - chemistry, properties and clinical considerations. **Journal of Oral Rehabilitation**, v. 38, n. 4, p. 295-314, 2011.

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.

GANDOLFI, M. G.; PARRILLI, A. P.; FINI, M.; PRATI, C.; DUMMER, P. M. 3D micro-

CT analysis of the interface voids associated with Thermafil root fillings used with AH Plus or a flowable MTA sealer. **International Endodontic Journal**, v. 46, n. 3, p. 253-263, 2013.

GARCÍA-HERRAIZ, A.; LEIVA-GARCÍA, R.; CAÑIGRAL-ORTIZ, A.; SILVESTRE, F. J.; GARCÍA-ANTÓN, J. Confocal laser scanning microscopy for the study of the morphological changes of the postextraction sites. **Microscopy Research and Technique**, v. 75, n. 4, p. 513-519, 2012.

GONÇALVES, L.; SILVA-SOUSA, Y.T.; RAUCCI NETO, W.; TEIXEIRA, C.S.; SOUSA-NETO, M.D.; ALFREDO, E. Effect of different irrigation protocols on the radicular dentin interface and bond strength with a metacrylate-based endodontic sealer. **Microscopy Research and Technique**, v. 77, n. 6, p. 446-452, 2014.

GRASSI, F. R.; PAPPALETTERE, C.; DI COMITE, M.; CORSALINI, M.; MORI, G.; BALLINI, A.; CRINCOLI, V.; PETTINI, F.; RAPONE, B.; BOCCACCIO, A. Effect of different irrigating solutions and endodontic sealers on bond strength of the dentin-post interface with and without defects. **International Journal of Medical Science**, v. 9, n. 8, p. 642-654, 2012.

HARAGUSHIKU, G. A.; TEIXEIRA, C. S.; FURUSE, A. Y.; SOUSA, Y. T.; SOUSA NETO, M. D.; SILVA, R. G. Analysis of the interface and bond strength of resin-based endodontic cements to root dentin. **Microscopy Research and Technique**, v. 75, n. 5, p. 655-661, 2012.

HEMALATHA, H.; SANDEEP, M.; KULKARNI, S.; YAKUB, S. S. Evaluation of fracture resistance in simulated immature teeth using Resilon and Ribbond as root reinforcements-an in vitro study. **Dental Traumatology**, v. 25, n. 4, p. 433-438, 2009.

HUFFMAN, B. P.; MAI, S.; PINNA, L.; WELLER, R. N.; PRIMUS, C. M.; GUTMANN, J. L.; PASHLEY, D. H.; TAY, F. R. Dislocation resistance of ProRoot Endo Sealer, a calcium silicate-based root canal sealer, from radicular dentine. **International Endodontic Journal**, v.42, n. 1, p. 34-46, 2009.

KARAPINAR-KAZANDAĞ, M., TANALP J.; BAYRAK, O. F.; SUNAY H.; BAYIRLI G. Microleakage of various root filling systems by glucose filtration analysis. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 109, n. 6, p. 96-102, 2010.

KIM, Y. K.; GRANDINI, S.; AMES, J. M.; GU, L. S.; KIM, S. K.; PASHLEY, D. H.; GUTMANN, J. L.; TAY, F. R. Critical review on methacrylate resin-based root canal sealers. **Journal of Endodontics**, v. 36, n.3, p. 383-399, 2010.

KHEDMAT, S.; MOMEN-HERAVI, F.; PISHVAEI, M. Rheological properties of endodontic sealers: the effect of time, temperature, and composition. **Iranian Polymer Journal**, v. 21, n.7, p.445-450.

KWON, S.; CHOI, S. B.; PARK, M. G.; YU, H.; SUH, S. W.; RHYU, I. J. Extraction of three-dimensional information of biological membranous tissue with scanning confocal infrared laser microscope tomography. **Microscopy and Microanalysis**, v. 19, n. 5, p. 194-197, 2013.

LI, G. H.; NIU, L. N.; ZHANG, W.; OLSEN, M.; DE-DEUS, G.; EID, A. A.; CHEN, J. H.; PASHLEY, D. H.; TAY, F. R. Ability of new obturation materials to improve the seal of the root canal system: A review. **Acta Biomaterialia**, v. 10, n. 3, p. 1050-1063, 2014.

LOTFI, M.; GHASEMI, N.; RAHIMI, S.; VOSOUGHHOSSEINI, S.; SAGHIRI, M. A.; SHAHIDI, A. Resilon: A Comprehensive Literature Review. **Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects**, v. 7, n. 3, p. 119-130, 2013.

MAHDI, A. A.; BOLAÑOS-CARMONA, V.; GONZALEZ-LOPEZ, S. Bond strength to root dentin and fluid filtration test of AH Plus/gutta-percha, Endorez and RealSeal systems. **Journal of Applied Oral Sciences**, v. 21, n. 4, p. 369-375, 2013.

MANDAVA, J.; CHANG P.C; ROOPESH, B.; FARUDDIN, M.G.; ANUPREETA A.; UMA, C.H. Comparative evaluation of fracture resistance of root dentin to resin sealers and a MTA sealer: An in vitro study. **Journal of Conservative Dentistry**, v. 17, n. 1, p. 53-56, 2014.

MARIN-BAUZA, G. A.; RACHED-JUNIOR, F. J. A.; SOUZA-GABRIEL, A. E.; SOUSA-NETO, M. D.; MIRANDA, C. E. S.; SILVA-SOUSA, Y. T. C. Physicochemical Properties of Methacrylate Resin-based Root Canal Sealers. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 9, p. 1531–1536, 2010.

MJOR, I. A.; SMITH, M. R.; FERRARI, M.; MANNOCCHI, F. The structure of dentine in the apical region of human teeth. **International Endodontic Journal**, v.34, n. 1, p. 346-353, 2001.

MONTEIRO, J.; DE ATAIDE IDE, N.; CHALAKKAL, P.; CHANDRA, P. K. In vitro resistance to fracture of roots obturated with Resilon or gutta-percha. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 6, p. 828-831, 2011.

MORAIS, F. A. I.; MELLO, B. A.; SOUZA, I. A ; PONZI, E. A. C.; REVOREDO, G. A. Polímeros a base de metil metacrilato. importância em odontologia. **International Journal of Dentistry**, v. 6, n. 2, p. 63-66, 2007.

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. 61-64, 2009.

NAGAS, E.; UYANIK, O.; DURMAZ, V.; CEHRELI, Z.C. Effect of plunger diameter on the push-out bond values of different root filling materials. **International Endodontic Journal**, v. 44, n. 10, p. 950-955, 2011.

NAGPAL, A.; ANNAPOORNA, B. M.; PRASHANTH, M. B.; PRASHANTH, N. T.; SINGLA, M.; DEEPAK, B. S.; SINGH, A.; TAVANE, P. N. A comparative evaluation of the vertical root fracture resistance of endodontically treated teeth using different root canal sealers: an in vitro study. **The journal of Contemporary Dental Practice**, v. 13, n. 3, p. 351-355, 2012.

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.

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

ORSTAVIK, D. Materials used for root canal obturation: technical, biological and clinical testing. **Endodontic Topics**, v. 12, n. 1, p. 25-38, 2005.

PANE, E. S.; PALAMARA, J. E.; MESSER, H. H. Critical evaluation of the push-out test for root canal filling materials. **Journal of Endodontics**, v. 39, n. 5, p. 669-673, 2013.

PATIL, S. A.; DODWAD, P. K.; PATIL, A. A. An in vitro comparison of bond strengths of Gutta-percha/AH Plus, Resilon/Epiphany self-etch and EndoREZ obturation system to intraradicular dentin using a push-out test design. **Journal of Conservative Dentistry**, v. 16, n. 3, p. 238-242, 2013.

PEREIRA, S. G.; FULGÊNCIO, R.; NUNES, T. G.; TOLEDANO M.; Osorio, R.; R. M. Effect of curing protocol on the polymerization of dual-cured resin cements. **Dental Materials**, v.26, n.7, p. 710-718, 2010.

PESQUEIRA, A. A; GOIATO, M. C; FILHO, H. G; MONTEIRO, D .R.; SANTOS, D. M.; HADDAD, M. F; PELLIZZER, E. P. Use of stress analysis methods to evaluate the biomechanics of oral rehabilitation with implants. **Journal of Oral Implantology**, v. 40, n. 2, p. 217-228, 2014.

POIATE, I. A.; VASCONCELLOS, A. B.; MORI, M.; POIATE, E. JR. 2D and 3D finite element analysis of central incisor generated by computerized tomography. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v. 104, n. 2, p. 292-299, 2011.

PRADO, M.; SIMÃO, R. A.; GOMES, B. P. Effect of different irrigation protocols on resin sealer bond strength to dentin. **Journal of Endodontics**, v. 39, n. 5 p. 689-692, 2013.

RACHED-JÚNIOR, 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.

ROBBERECHT, L.; COLARD, T.; CLAISSE-CRINQUETTE, A. Qualitative evaluation of two endodontic obturation techniques: tapered single-cone method versus warm vertical condensation and injection system: an in vitro study. **Journal of Oral Science**, v. 54, n. 1, p. 99-104, 2012.

ROSSETTO, D. B.; FERNANDES, S. L.; CAVENAGO, B. C.; DUARTE, M. A. H, ORDINOLA-ZAPATA, R.; ANDRADE, F. B. Influence of the method in root canal filling using active lateral compaction techniques. **Brazilian Dental Journal**, v. 25, n. 4, p. 294-301, 2014.

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

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. **Journal of Endodontics**, v. 39, n. 7, p. 924-928, 2013.

SHANAHAN, D. J.; DUNCAN, H. F. Root canal filling using Resilon: a review. **British Dental Journal**, v. 211, n. 2, p. 81-88, 2011.

SHOKOUHINEJAD, N.; SABETI, M.; GORJESTANI, H.; SAGHIRI, M. A.; LOTFI, M.; HOSEINI, A. Penetration of Epiphany, Epiphany self-etch, and AH Plus into dentinal tubules: a scanning electron microscopy study. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 9, p. 1316-1319, 2011.

SHOKOUHINEJAD, N.; GORJESTANI, H.; NASSEH, A. A.; HOSEINI, A.; MOHAMMADI, M.; SHAMSHIRI, A. R. Push-out bond strength of gutta-percha with a new bioceramic sealer in the presence or absence of smear layer. **Australian Endodontic Journal**, v. 39, n. 3, p. 102-106, 2013.

SILVA, L. A. B. S.; BARNETT, F.; PUMAROLA-SUNÉ, J.; CANADAS, P. S.; NELSON-FILHO, P.; SILVA, R. A. B. S. Sealapex Xpress and RealSeal XT feature tissue compatibility in vivo. **Journal of Endodontics**, v. 40, n. 9, p. 1424-1428, 2014.

SILVEIRA, C. M.; PINTO, S. C.; ZEDEBSKI, R. D. E. 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.

SOARES, C. J.; SANTANA, F. R.; CASTRO, C. G.; SANTOS-FILHO, P. C.; SOARES, P. V.; QIAN, F.; ARMSTRONG, S. R. Finite element analysis and bond strength of a glass post to intraradicular dentin: comparison between microtensile and push-out tests. **Dental Materials**, v. 24, n. 10, p. 1405-1411, 2008.

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.

SOUZA, S. D. E. F.; FRANCCI, C.; BOMBANA, A. C.; KENSHIMA, S.; BARROSO, L. P.; D'AGOSTINO, L. Z.; LOGUERCIO, A. D. Qualitative SEM/EDS analysis of microleakage and apical gap formation of adhesive root-filling materials. **Journal of Applied Oral Science**, v. 20, n. 3, p. 329-334, 2012.

SOUZA, E. T.; NUNES TAMEIRÃO, M. D.; ROTHER, J. M.; DE ASSIS, J. T.; DE ALMEIDA NEVES, A.; DE-DEUS, G. A. Tridimensional quantitative porosity characterization of three set calcium silicate-based repair cements for endodontic use. **Microscopy Research and Technique**, v. 76, n. 10, p. 1093-1098, 2013.

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

TAVARES, C. O.; BÖTTCHER, D. E.; ASSMANN, E.; KOPPER, P. M.; DE FIGUEIREDO, J. A.; GRECCA, F. S.; SCARPARO, R. K. Tissue reactions to a new mineral trioxide aggregate-containing endodontic sealer. **Journal of Endodontics**, v. 39, n. 5, p. 653-657, 2013.

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

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

TIAN, Y.; MU, Y.; SETZER, F. C.; LU, H.; QU, T.; YU, Q. Failure of fiber posts after cementation with different adhesives with or without silanization investigated by pullout tests and scanning electron microscopy. **Journal of Endodontics**, v. 38, n. 9, p. 1279-1282, 2012.

TSAFNAT, N.; WROE, S. An experimentally validated micromechanical model of a rat vertebra under compressive loading. **Journal of Anatomy**, v. 218, n. 1, p. 40-46, 2011.

ÜNAL, G. Ç.; MADEN, M.; ORHAN, E. O.; SARITEKIN, E.; TEKE, A. Root canal shaping using rotary nickel-titanium files in preclinical dental education in Turkey. **Journal of Dental Education**, v. 76, n. 4, p. 509-513, 2012.

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

VAN MEERBEEK, B.; PEUMANS, M.; POITEVIN, A.; MINE, A.; VAN ENDE, A.; NEVES, A.; DE MUNCK, J. Relationship between bond-strength tests and clinical outcomes. **Dental Materials**, v. 26, n. 2, p. 100-121, 2010.

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.; GUERREIRO-TANOMARU, J.; TANOMARU-FILHO, M.; CAMILLERI, J. Interface of dentine to root canal sealers. **Journal of Dentistry**, v. 42, n. 3, p. 336-350, 2014.

VILANOVA, W. V.; CARVALHO-JUNIOR, J. R.; ALFREDO, E.; SOUSA-NETO, M. D.; SILVA-SOUSA, Y. T. Effect of intracanal irrigants on the bond strength of epoxy resin-based and methacrylate resin-based sealers to root canal walls. **International Endodontic Journal**, v. 45, n. 1, p. 42-48, 2012.

WEIS, M. V.; PARASHOS, P.; MESSER, H. H. Effect of obturation technique on sealer cement thickness and dentinal tubule penetration. **International Endodontic Journal** v. 37, n. 10, p. 653-663, 2004.

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

WOLF, M.; KÜPPER, K.; REIMANN, S.; BOURAUDEL, C.; FRENTZEN, M. 3D analyses of interface voids in root canals filled with different sealer materials in combination with warm gutta-percha technique. **Clinical Oral Investigations**, v. 18, n. 1, p. 155-161, 2014.

WONG, J. G.; CAPUTO, A. A.; LI, P.; WHITE, S. N. Microleakage of adhesive resinous materials in root canals. **Journal of Conservative Dentistry**, v. 16, n. 3, p. 213-218, 2013.

WU, M. K.; BUD, M. G.; WESSELINK, P. R. 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 Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v. 108, n. 6, p. 946-951, 2009.

WU, W. C.; SHRESTHA, D.; WEI, X.; LING, J. Q.; ZHANG, W. H.; CHEN, J. Degree of conversion of a methacrylate-based endodontic sealer: a micro-Raman spectroscopic study. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 2, p. 329-333, 2010.

ZASLANSKY, P.; FRATZL, P.; RACK, A.; WU, M. K.; WESSELINK, P. R.; SHEMESH, H. Identification of root filling interfaces by microscopy and tomography methods. **International Endodontic Journal**, v. 44, n. 5, p. 395-01, 2011.

ZHAO, D.; SHEN, Y.; PENG, B.; HAAPASALO, M. Micro-computed tomography evaluation of the preparation of mesiobuccal root canals in maxillary first molars with Hyflex CM, Twisted Files, and K3 instruments. **Journal of Endodontics**, v. 39, n. 3, p. 385-388, 2013.

ZHOU, H. M.; SHEN, Y.; ZHENG, W.; LI, L.; ZHENG, Y. F.; HAAPASALO, M. Physical properties of 5 root canal sealers. **Journal of Endodontics**, v. 39, n.10, p. 1281-1286, 2013.

ZOU, W.; HUNTER, N.; SWAIN, M.V. Application of polychromatic μ CT for mineral density determination. **Journal of Dental Research**, v. 90, n.1, p. 18-30, 2011.

ANEXOS

Anexo 1

Parecer do Comitê de Ética

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
MONTES CLAROS -
UNIMONTES

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Avaliação da adesividade, por microtomografia computadorizada durante teste push-out, de cimento endodôntico resinoso à dentina intra-radicular

Pesquisador: MANOEL BRITO JÚNIOR

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 19327613.4.0000.5146

Instituição Proponente: Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 326.879

Data da Relatoria: 05/07/2013

Apresentação do Projeto:

A busca por um cimento endodôntico que reúna boas propriedades físico-químicas e biológicas tem sido alvo de estudos nos últimos anos. Em relação aos cimentos resinosos, uma das propriedades mais pesquisadas é a adesividade.

Objetivo da Pesquisa:

Avaliar a adesividade de um novo cimento à base de metacrilato e resina epóxica (Realseal XT) à dentina intra-radicular

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Trata-se de um estudo laboratorial a ser conduzido em dentes extraídos, portanto, com mínimos riscos de contaminação cruzada, que será minimizada pelo tratamento adequado do dente antes de sua manipulação. Os benefícios previstos dizem respeito ao melhor entendimento do comportamento adesivo do cimento Real XT à dentina intra-radicular pela análise quantitativa e qualitativa dos dados que serão obtidos pelo teste de push-out realizado na micro-CT.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa laboratorial de relevância na área odontológica para melhor conhecimento de material endodôntico.

Endereço: Av. Dr. Rui Braga s/n-Camp. Univers. Prof. Darcy Rib

Bairro: Vila Mauricéia

CEP: 39.401-089

UF: MG

Município: MONTES CLAROS

Telefone: (38)3229-8180

Fax: (38)3229-8103

E-mail: maisa.leite@unimontes.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
MONTES CLAROS -
UNIMONTES

Continuação do Parecer: 326.879

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Termos adequados. Dentes provenientes de Banco de Dentes Humanos da Unimontes.

Recomendações:

Apresentação de relatório final por meio da plataforma Brasil, em "enviar notificação".

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Projeto aprovado.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

O projeto respeita os preceitos éticos da pesquisa com utilização de dentes extraídos, sendo assim somos favoráveis à aprovação do mesmo.

MONTES CLAROS, 05 de Julho de 2013

Assinador por:
SIMONE DE MELO COSTA
(Coordenador)

Endereço: Av. Dr Rui Braga s/n-Camp Univers Pro^o Darcy Rib
Bairro: Vila Mauricéia **CEP:** 39.401-089
UF: MG **Município:** MONTES CLAROS
Telefone: (38)3229-8180 **Fax:** (38)3229-8103 **E-mail:** maisa.leite@unimontes.br

Anexo 2

Determinação do módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson por meio da técnica de excitação por pulso

Foram confeccionadas barras com dimensões de 1x 5 x 35 mm dos cimentos obturadores Epiphany SE e RealSeal XT, que foram fotoativados usando aparelho fotopolimerizador (Radii Cal, SDI, Bayswater, Austrália) por 40 segundos com intensidade de luz de 1200 mW/cm².

Utilizou-se o aparelho Sonelastic (ATCP Engenharia Fisica, Ribeirão Preto, SP, Brasil) e o programa do dispositivo para processamento dos dados (Figura 28 A). As barras dos cimentos obturadores foram levadas e posicionadas com uma extremidade abaixo do microfone de captação do pulso sonoro (Figura 28 B). A excitação da barra foi realizada na extremidade oposta da barra e microfone, captando dessa maneira o som gerado pela excitação flexional da barra para determinação do módulo de elasticidade (Figura 28 C).

Figura 28. (A) programa do dispositivo Sonelastic (B) Posicionamento da barra do cimento obturador para captação do pulso sonoro. (C) Excitação flexional da barra e captação do pulso sonoro.

Para determinação do coeficiente de Poisson as barras foram posicionadas de maneira que o microfone ficasse posicionado a 3,75 mm de uma das extremidades, sendo a excitação realizada a 1,25 mm da extremidade oposta para gerar um som pela excitação torcional da barra.