

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA – MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: DENTÍSTICA RESTAURADORA

CAMILO ANDRÉS PULIDO MORA

**ESTUDO “*IN LOCO*” DA CONTRAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO E DO GRAU DE
CONVERSÃO DE CIMENTOS RESINOSOS UTILIZADOS NA FIXAÇÃO DE
PINOS INTRARRADICULARES**

PONTA GROSSA

2014

CAMILO ANDRÉS PULIDO MORA

**ESTUDO “*IN LOCO*” DA CONTRAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO E DO GRAU DE
CONVERSÃO DE CIMENTOS RESINOSOS UTILIZADOS NA FIXAÇÃO DE
PINOS INTRARRADICULARES**

Dissertação apresentada como pré-requisito para obtenção do título de mestre na Universidade Estadual de Ponta Grossa, no Curso de Mestrado em Odontologia – Área de Concentração Dentística Restauradora. Linha de Pesquisa: Propriedades físico-químicas e biológicas dos materiais.

Orientadora: Profa. Dra. Osnara Maria Mongruel Gomes

Co-Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula de OliveiraFranco

PONTA GROSSA

2014

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

M827 Mora, Camilo Andrés Pulido
Estudo "in loco" da contração de
polimerização e do grau de conversão de
cimentos resinosos utilizados na fixação
de pinos intrarradiculares/ Camilo Andrés
Pulido Mora. Ponta Grossa, 2014.
64f.

Dissertação (Mestrado em Odontologia -
Área de Concentração: Dentística
Restauradora), Universidade Estadual de
Ponta Grossa.

Orientadora: Profª Drª Osnara Maria
Mongruel Gomes.

Co-Orientadora: Profª Drª Ana Paula de
Oliveira Franco.

1.Fibras de Bragg. 2.Polimerização.
3.Grau de conversão. 4.Cimentos resinosos.
I.Gomes, Osnara Maria Mongruel. II.
Franco, Ana Paula de Oliveira. III.
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Mestrado em Odontologia. IV. T.

CDD: 617.6

CAMILO ANDRÉS PULIDO MORA

**ESTUDO “*IN LOCO*” DA CONTRAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO E DO GRAU DE
CONVERSÃO DE CIMENTOS RESINOSOS UTILIZADOS NA FIXAÇÃO DE
PINOS INTRARRADICULARES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Stricto sensu em Odontologia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Odontologia, área de concentração em Clínica Integrada, linha de pesquisa de Terapêutica Clínica Aplicada à Odontologia.

Ponta Grossa, 17 de fevereiro de 2014.

Prof^a. Dr^a. Osnara Maria Mongruel Gomes – Orientadora
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a. Dr^a. Ana Paula Gebert de Oliveira Franco
Universidade Federal do Paraná

Prof. Dr. Cesar Augusto Galvão Arrais
Universidade Estadual de Ponta Grossa

DADOS CURRICULARES

Camilo Andrés Pulido Mora

NASCIMENTO 03.08.1988	BOGOTÁ D.C. - COLÔMBIA
FILIAÇÃO	CARLOS ARTURO PULIDO BECERRA OLGA PATRICIA MORA SÁNCHEZ
2004 – 2010	Curso de Graduação Universidad Nacional de Colombia (UNAL). Bogotá – Colômbia
2012 –em andamento	Curso de Pós-graduação em Odontologia. Área de Concentração em Dentística Restauradora. Nível Mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Ponta Grossa - PR, Brasil.

“A Grande Conquista é o resultado
de pequenas vitórias que passam
despercebidas”

Paulo Coelho

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pelas oportunidades a mim concedidas e pelas pessoas especiais que colocou em minha vida.

Aos meus pais **Carlos Pulido e Patricia Mora**, pela paciência, confiança e grande amor que sempre me dedicaram. Vocês são os responsáveis por cada vitória em minha vida, sem o apoio incondicional de vocês nada teria sido possível.

Às minhas irmãs **Kerly e Natalia**, por me acompanharem nas minhas conquistas e dificuldades de forma incondicional.

A minha avó e madrinha **Nelly Sanchez**, um exemplo de vida e amor incondicional.

A minha **família**, porque a distância faz ao amor aquilo que o vento faz ao fogo: apaga o pequeno, inflama o grande.

À **Universidade Estadual de Ponta Grossa**, por ter me dado a oportunidade de pertencer a esta prestigiosa instituição.

À minha orientadora **Profa. Dra. Osnara Maria Mongruel Gomes** por sempre estar disposta a me ensinar, por toda a sua dedicação em me orientar, pelo carinho e pelas palavras de apoio. Muito obrigado, saiba que sou muito grato por ter sido seu orientado.

Ao **Prof. Dr. João Carlos Gomes**, pelos conhecimentos, oportunidades, carinho e apoio. Você me ensinou o que é ser uma pessoa trabalhadora, honesta e ao mesmo tempo bondosa e filantrópica.

A minha co-orientadora **Profa. Dra. Ana Paula Gebert Franco de Oliveira** porque esteve sempre me ajudando no meu trabalho e sem ela nada teria sido possível.

Ao **Prof. Hypólito Kalinowski, Leandro Zen Karam** e o grupo de pesquisa da **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, pelos conhecimentos e enorme ajuda para executar os experimentos do projeto.

À **CAPES** por ter me otorgado a bolsa de estudos de pós-graduação e ao **C-LABMU** e seus funcionarios pela ajuda no uso dos equipamentos, o tempo e a dedicação.

A **Giovana Mongruel Gomes** e **Bruna Bittencourt**, pela disposição em todo momento e ajudanos procedimentos de laboratório; agradeço de coração o tempo e dedicação.

À **Universidad Nacional de Colombia** e aos meus professores, porque eles incentivaram meu desejo de estudar e aprender.

Aos meus amigos colombo-equatorianos, que sempre estiveram presentes e tornaram-se a minha segunda familia.

Aos meus colegas, amigos, companheiros e todos os que me apoiaram sempre, muito obrigado.

RESUMO

PULIDO, C.A. **Estudo “*in loco*” da contração de polimerização e do grau de conversão de cimentos resinosos utilizados na fixação de pinos intrarradiculares.** [Dissertação – Mestrado em Odontologia – Área de Concentração Dentística Restauradora]. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa; 2014.

O objetivo deste estudo foi conhecer o comportamento e a magnitude das deformações que ocorrem durante a polimerização “*in loco*” no interior do canal radicular, em cimentos resinosos durante a fixação de pinos de fibra de vidro Whitepost DC (FGM) e verificar o grau de conversão dos mesmos. Foram selecionados 30 caninos superiores (n=10) com comprimento radicular médio de 14 mm medidos da junção cimento-esmalte (JCE). Os canais foram tratados endodonticamente e a guta-percha foi removida deixando 4 mm do selamento apical. Após uma semana os canais foram preparados. Para a cimentação, os dentes foram divididos aleatoriamente em 2 grupos, segundo o cimento resinoso utilizado: Grupo ARC: cimento resinoso dual RelyX™ ARC – Adesivo Adper Scotchbond™ Multipurpose Plus (3M/ESPE) e Grupo U200: cimento resinoso dual RelyX™ U200 (3M/ESPE). Antes da inserção do cimento resinoso no interior do canal radicular foram posicionados no pino dois sensores de fibra óptica com redes de Bragg gravadas e colados na região que não entrou em contato com as paredes do canal; um na posição mais apical e outro na mais cervical do pino. Os sensores realizaram a mensuração das deformações do cimento em uma porção coronária e apical do canal radicular, para se obter valores em micro-strain ($\mu\epsilon$). Logo depois, os espécimes foram cortados em fatias para mensuração do grau de conversão dos cimentos, nos terços apical e cervical por meio da espectroscopia μ -Raman. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente por meio do teste ANOVA de dois fatores ($p=0,05$). Os sensores de fibra óptica com redes de Bragg mostraram-se eficientes na mensuração de contração de polimerização de cimentos resinosos. O cimento resinoso convencional testado no estudo apresentou maiores valores de contração de polimerização e grau de conversão, quando comparado com o cimento resinoso autoadesivo. O terço cervical apresentou maiores valores de contração de polimerização e grau de conversão, quando comparado com o terço apical independentemente do tipo de cimento.

Palavras-chave: Fibras de Bragg, polimerização, grau de conversão, cimentos resinosos.

ABSTRACT

PULIDO, C.A. **Study “*in situ*” of the polymerization shrinkage-strain and degree of conversion of resin cements used for luting intracanal fiber posts.**

[Dissertação – Mestrado em Odontologia – Área de Concentração Dentística Restauradora]. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa; 2014.

The aim of this study was to investigate the shrinkage-strain and degree of conversion inside the root canal “*in situ*” of resin cements used to lute fiber posts (Whitepost DC, FG). Thirty maxillary canines with similar root length average were selected ($14 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$). Each root canal was treated with crown-down technique and filled with gutta-percha, leaving 4 mm of apical seal. One week later, the roots were prepared following fiber post system manufacturer's instructions. For the cementation, teeth were randomly divided into 2 groups ($n = 15$) according to the resin cement used: Group 1: dual-cured resin cement RelyX™ ARC – Adper Scotchbond™ Multipurpose Plus Adhesive (3M/ESPE) and Group 2: dual-cured resin cement RelyX™ U200 (3M/ESPE). Two fiber optic sensors with recorded Bragg gratings were attached to the coronal section (not in contact with the root) of each post before inserting the resin cement inside the root canal. These sensors measured the deformations of the cement over the coronal and apical section of the root ($\mu\epsilon$). Once measured, the specimens were sectioned in order to obtain slides on its cervical and apical sections. The degree of conversion of the cements on each third was analyzed by μ -Raman micro-spectroscopy. The data were statistically analyzed by two-way ANOVA ($p = 0.05$). The dual-cured conventional resin cement tested in this study showed the highest values of shrinkage-strain and degree of conversion; cervical region showed higher values than apical region in both of resin cements.

Keywords: Fiber Bragg Gratings, polymerization, degree of conversion, resin cements.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Desenho esquemático de uma fibra óptica: componentes internos ..31
Figura 2	Desenho esquemático do funcionamento das Redes de Bragg.....32
Figura 3	Fluxograma do desenho experimental40
Figura 4	Processo de emenda de uma fibra óptica com um <i>pigtail</i> ou com outra fibra; A -Remoção do polímero-fibra descascada;B -Clivagem da fibra óptica; C -Emenda de duas fibras ópticas e D -Tela do ARC <i>Splicer</i>42
Figura 5	Desenho esquemático do experimento42
Figura 6	A - Demarcação e corte do pino; B - Colagem das Fibras de Bragg (FBGs).....43
Figura 7	Desenho esquemático do posicionamento dos sensores no canal radicular.....43
Figura 8	Imagem gerada pelo software SM-125 A - Intensidade dos sensores com comprimentos de onda diferentes;B - Variações nos comprimentos de onda.....43
Figura 9	Representação do modelo matemático para calcular o fator de configuração cavitária na cimentação de um pino no canal radicular com cimentos resinosos. Adaptado de Tay e. al., 2005.....49
Quadro 1	Especificações do Fabricante do Pino de Fibra de Vidro Whitepost DC,FGM.....40
Quadro 2	Materiais utilizados, fabricante e composição46
Gráfico 1	Contração de polimerização ($\mu\epsilon$) do cimento resinoso RelyX™ARC 51
Gráfico 2	Contração de polimerização ($\mu\epsilon$) do cimento resinoso RelyX™U20051
Gráfico 3	Média e desvio padrão dos valores de contração de polimerização dos cimentos resinosos RelyX™ ARCe RelyX™ U200 após 5 min e 60 min de ativação. Após 5 min:

Fator cimento ($p=0,017$) e região ($p<0,0001$), diferença significativa. Interação (cimento e região) diferença não significativa ($p=0,759$). Após 60 min: Fator região ($p<0,0001$), diferença significativa. Fator cimento ($p=0,119$) e Interação ($p=0,889$) diferença não significativa.52

Gráfico 4 Média e desvio padrão dos valores de grau de conversão (%) dos cimentos resinosos RelyX™ ARCe RelyX™ U200 em diferentes regiões do canal radicular. Diferença significativa entre os cimentos ($p<0,0001$) e região radicular ($p=0,035$). Diferença não significativa ($p=0,096$) na interação dos fatores (cimento e região).....52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Média e desvio padrão da contração de polimerização ($\mu\epsilon$) dos cimentos resinosos, levando em consideração as regiões radiculares (terço cervical e apical).....	52
Tabela 2	Média e desvio padrão (mm) das espessuras dos cimentos resinosos, levando em consideração as regiões radiculares (terço cervical e apical).	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de variância
ATR	Unidade de Reflectância Total (Attenuated-total-reflectance unit)
BHD	Banco de dentes Humanos
COEP	Comissão de Ética em Pesquisa
dB	decibel
DC	Grau de conversão (Degree of Conversion)
EDTA	Ácido etileno diamino tetra acético (ethylenediaminetetraacetic acid)
FTIR	Espectroscopia por infravermelho Transformada de Fourier
g	grama (s)
GPa	gigapascal (is)
h	hora(s)
Hz	hertz
Kg	quilograma (s)
KrF	Fluoreto de Criptônio
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
min	minuto(s)
mJ	milijoule(s)
mL	mililitro(s)
mm	milímetro(s)
mm/min	milímetro(s) por minuto
mm ²	milímetro(s) quadrado(s)
MPa	megapascal (is)
n	Número amostral
N	newton(s)
nm	nanometro(s)
ns	nanosegundo(s)
s	segundo(s)
SC	Autopolimerização (Self-curing)

UV	Ultra-violeta
$\mu\epsilon$	microstrain
μm	micrômetro(s)
μTBS	Resistência de união (micro-Tensile Bond Strength)

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcento
±	Mais ou menos
®	Registrado
X	Aumento de lente óptica
™	Marca registrada
α	Alfa (nível de significância)
ρ	Significância estatística
<	Menor
>	Maior
#	Número
°C	Grau(s) Celsius

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	18
2.	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1.	Cimentos resinosos – pinos intra-radulares	21
2.2.	Contração de polimerização	28
2.3.	Redes de Bragg em fibras ópticas	31
3.	PROPOSIÇÃO	37
3.1.	Proposição geral	37
3.2.	Proposição específica	37
4.	MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1.	Seleção dos dentes.....	38
4.1.1.	Preparo dos dentes.....	38
4.1.2.	Tratamento endodôntico	38
4.1.3.	Preparo do canal radicular	39
4.2.	Preparo das fibras ópticas	40
4.3.	Cimentação dos pinos.....	44
4.4.	Preparo para espectroscopia μ -Raman	47
4.5.	Análise do grau de conversão.....	47
4.6.	Fator de configuração cavitária (Fator-C)	48
4.7.	Análise estatística	50
5.	RESULTADOS.....	51
5.1.	Contração de polimerização.....	51
5.2.	Grau de conversão.....	53
5.3.	Fator de configuração cavitária.....	53
6.	DISCUSSÃO	55
7.	CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS	59
ANEXO A	Aprovação do projeto pela Comissão de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Ponta Grossa. COEP - UEPG.....	64

1 INTRODUÇÃO

Os cimentos resinosos têm sido muito utilizados na fixação de pinos de fibra de vidro, em casos de reconstrução da porção dental coronária perdida. Atualmente, os pinos de fibra de vidro são a primeira opção para auxiliar na retenção dos materiais de reconstrução coronária pelo fato de apresentarem valores do módulo de elasticidade mais aproximados ao da dentina, se comparados com os núcleos metálicos fundidos(Akkayan e Gulmez¹ 2002). Suas propriedades favorecem o prognóstico clínico por gerarem uma melhor distribuição das forças mastigatórias nas estruturas dentárias, reduzindo assim o risco de fraturas irreversíveis (Asmussen et al.² 1999).

Apesar das características favoráveis estéticas e mecânicas, a adesão desses pinos na região intrarradicular apresenta vários desafios ao clínico como as características peculiares do substrato dentinário (De Santis et al.³ 2005), a densidade e orientação dos túbulos dentinários(Goracci et al.⁴ 2004), a presença de lama dentinária endodôntica(Schwartz e Fransman⁵ 2005), o controle de umidade no interior do canal radicular (Bitter et al.⁶ 2009), a sensibilidade técnica durante a aplicação dos sistemas adesivos (Van Meerbeek et al.⁷ 2005)e a contração de polimerização dos cimentos resinosos (Tay et al.⁸ 2005).

Um dos maiores problemas enfrentados clinicamente após a utilização de pinos intrarradiculares é a perda de retenção ao longo do tempo, o que provavelmente pode ser causado pela união dos fatores desfavoráveis citados anteriormente, principalmente pela contração de polimerização dos agentes de cimentação. A contração desses materiais pode gerar a formação de fendas na interface dentina-cimento resinoso (Prisco et al.⁹ 2003). As fendas podem ser ocasionadas pelas forças de contração de polimerização que excedem a resistência de união do material à dentina(Prisco et al.⁹ 2003, Tay et al.⁸ 2005, Bonfante et al.¹⁰ 2008), caracterizadas por regiões não aderidas que, com a mastigação, podem evoluir e resultar em descolamento do pino e perda do tratamento de reconstrução coronária do dente.

Muitos pesquisadores têm se dedicado extensivamente à investigação da resistência de união dentina-cimento resinoso por meio de testes de *push-out* e microtração *in vitro*, (Ferrari et al.¹¹ 2000, Vichi et al.¹³ 2002, Monticelli et al.¹⁴ 2003, Goracci et al.⁴ 2004, Bonfante et al.¹⁰ 2008, Teixeira et al.¹⁵ 2008, Bitter et al.⁶ 2009); a influência do fator de configuração cavitária (Aksornmuang et al.¹⁶ 2011, Tay et al.⁸ 2005); o grau de conversão (Moraes et al.¹⁷ 2011) e acinética e propriedades do cimento resinoso (Braga e Ferracane¹⁸ 2004, Braga et al.¹⁹ 2005, Arrais et al.²⁰ 2008, Arrais et al.²¹ 2009, Ferrari et al.²² 2009, Spinell et al.²³ 2009) porém, pouco se conhece sobre o comportamento e a magnitude das deformações que ocorrem durante a polimerização *“in loco”* que atuam no interior do canal radicular. Isso ocorre devido à dificuldade de posicionamento de instrumentos de medição no interior do canal radicular por suas pequenas dimensões.

Os sensores de fibra óptica baseados em redes de Bragg são extensivamente utilizados para monitoramento das deformações dos materiais incluindo aplicações na área de resinas dentais (Milczewski et al.²⁴ 2007). Os sensores de fibra de Bragg possuem várias vantagens se comparados aos sensores convencionais, como sua pequena dimensão, não susceptibilidade à interferência eletromagnética e facilidade para colocação do sensor no interior da estrutura resinosa (Anttila et al.²⁵ 2008). Estes sensores foram utilizados no monitoramento *“in vitro”* da contração de polimerização e expansão de presa durante o processo de cura dos materiais dentários pelos autores citados anteriormente.

Este trabalho procurou explorar a lacuna de conhecimento que se apresenta ainda em aberto, pois não há estudos na literatura que avaliaram o comportamento e a magnitude das deformações que ocorrem durante a polimerização dos cimentos resinosos no interior dos canais radiculares. Portanto, o objetivo da pesquisa foi estudar as deformações que ocorrem durante a polimerização *“in loco”* dos agentes de cimentação por meio de sensores de fibra

óptica em rede de Bragg nos canais radiculares, além da avaliação do grau de conversão dos materiais estudados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cimentos resinosos – pinos intra-radiculares

Arrais et al.²⁰(2008) avaliaram os efeitos de diferentes condições de polimerização no grau de conversão (GC) de sistemas de cimentação dual utilizando a espectroscopia de luz infravermelha. Quatro sistemas de quarta geração [Scotchbond Multipurpose plus / RelyX (3M ESPE), Optibond / Nexus 2 (Kerr), All Bond2/Duolink (Bisco) e Bond-It! / Lute-It! (Pentron)] e três de quinta geração [Bond1/Lute-It! (Pentron), Prime & Bond NT Dual-Cure/Calibra (Dentsply) e Optibond Dual / Nexus 2 (Kerr)], foram aplicados na superfície de uma unidade horizontal com reflectância totalmente atenuada (ATR), e foram polimerizados usando uma de quatro condições : auto-polimerizável (SC), a exposição à luz direta por meio de lâmina de vidro (XL3000/3M ESPE) ou através de discos de resina pré-polimerizadas (tons A2 e A4/2mm de espessura/Z250/3M ESPE). Os espectros de infravermelho dos sistemas de cimentação sem polimerizar foram registrados imediatamente depois da aplicação na ATR; e para os que foram deixados para a auto-polimerização ou ativação por luz, os espectros foram obtidos 5 e 10 min mais tarde. O GC foi calculado usando técnicas convencionais de análise de mudanças nos índices de picos alifático-aromáticos para pré e pós-polimerização. Os dados (n=5) foram analisados por dois critérios de medidas repetidas de ANOVA e post-teste de Tukey (p=0,05). Todos os grupos apresentaram maior GC depois de 10 min do que depois de 5 min, com exceção do grupo do Bond-1 ! / Lute-It!. Não houve diferenças significativas no grau de conversão entre os grupos ativados com luz independentemente da cor do disco de resina em três dos quatros sistemas de cimentação de quarta geração. Os grupos de auto-polimerização exibiram menor GC do que os grupos de ativação por luz, tanto com os adesivos de quarta como com os de quinta geração, sem importar o tempo.

Acquaviva et al.²⁶(2009) avaliaram o grau de conversão (GC) contínuo dos materiais empregados na cimentação adesiva, procurando como a combinação de tempo e de energia de cura aplicado durante a polimerização, bem

como a temperatura do cimento fotopolimerizável influenciaram o grau de conversão. Cento e oitenta *onlays* de diferentes espessuras (2 mm, 3 mm e 4 mm) foram cimentadas com três composições diferentes: dois cimentos duais (Variolink II e Calibra) e um cimento fotopolimerizável (Vênus). A mesma lâmpada halógena foi utilizada com três modalidades diferentes selecionadas para fornecer uma quantidade de energia constante. As combinações de tempo/poder testadas foram de 400 mW/cm² para 120 s; 800 mW / cm² para 60 s e 1.200 mW / cm² para 40 s. O cimento fotopolimerizável foi utilizado à temperatura ambiente e após o pré-aquecimento a 54°C. Cada amostra foi analisada em três posições usando o espectrometro μ -Raman Dilor RH LabRam para avaliar o grau de conversão do polímero. Os dados foram analisados utilizando a análise de variância e teste de Student-Newman-Keuls ($p=0,05$). Os materiais duais apresentaram porcentagens médias de conversão perto de 64%; embora a espessura das *onlays* claramente influenciaram o grau de conversão. Os cimentos fotopolimerizáveis apresentaram resultados satisfatórios apenas quando a espessura das *onlays* era fina, no entanto o pré-aquecimento melhorou significativamente o desempenho do cimento fotopolimerizável sob *onlays* de grande espessura. A cimentação ideal de restaurações indiretas é claramente dependente do poder fonte de luz, tempo de irradiação e cimento resinoso escolhido.

Arrais et al.²¹(2009) avaliaram o grau de conversão contínua (GC), a taxa máxima de polimerização (R_p^{max}) e potencial de polimerização (razão de conversão em relação aos modos de polimerização dual e autopolimerização, (PC_{AD})) de 5 agentes cimentantes de polimerização dual aos 5 e 10 min, usando espectroscopia de infravermelho. Os cimentos avaliados foram Calibra, Duo-Link, Lute-It, Nexus 2 e RelyX ARC. Esses foram manipulados e aplicados na bancada óptica horizontal de um espectrofotometro infravermelho. Os materiais eram fotoativados por 40 s (modo polimerização dual) ou sem fotoativação (modo autopolimerizável). Os dados foram calculados usando técnicas convencionais de análise de mudanças nos índices de picos alifáticos-aromáticos, antes e depois da polimerização ($n=5$). Foram analisados por ANOVA e post test de Tukey ($\alpha=$

0,05). Todos os grupos de autopolimerização exibiram valores inferiores de GC e (R_p^{max}) do que os grupos de polimerização dual ($P < 0,001$), e os valores de GC foram mais elevados a 10 min do que a 5 min, apenas no modo de autopolimerização. Duo-Link apresentou os valores mais altos de (R_p^{max}) entre os grupos de polimerização dual, enquanto Lute-It e Calibra apresentaram os menores valores de (R_p^{max}) e maiores valores de ($PC_{A/D}$). Dentro dos grupos de autopolimerização, Nexus 2 e Lute-It exibiram os valores mais elevados de (R_p^{max}), enquanto RelyX ARC apresentou o menor (R_p^{max}), e ($PC_{A/D}$). Os valores de GC de todos os grupos de autopolimerização foram menores do que aqueles de polimerização dual, mas as diferenças de (R_p^{max}) e ($PC_{A/D}$) foram dependentes do produto. O grau de conversão de todos os produtos foi mais elevado no intervalo de 10 min do que no intervalo de 5 min, apenas nos de autopolimerização.

Kim et al.²⁷ (2009) avaliaram o grau de conversão de um cimento resinoso dual com três tipos de pinos de fibra de vidro em dentes humanos extraídos. Quinze pré-molares inferiores foram obturados e divididos em três grupos. O cimento Variolink II foi polimerizado através dos pinos: DT Light-Post (Bisco-LP); FRC Postec (Ivoclar-PP), e Snowpost (Carbotech-SP) dentro do canal radicular. O grau de conversão foi obtido com intervalos de 1 mm a 9 mm de profundidade dos canais radiculares longitudinalmente, através de um microscópio óptico ligado a um espectrofotômetro FTIR ($n = 10$). A transmissão de luz de cada pino testado foi também examinada utilizando a espectroscopia UV-Vis. Os dados foram analisados por ANOVA e teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Os pinos de LP e PP apresentaram uma transmissão de luz de 10,2% e 7,7%, respectivamente, enquanto que o pino de SP exibiu um valor significativamente mais baixo de 0,5%. O grau de conversão do valor médio variou de 32,78% a 69,73%, dependendo da profundidade e do tipo de pino. Para todos os grupos, houve diminuição significativa nos valores do grau de conversão para a região média, quando comparado com a região cervical ($P < 0,05$). Exceto a uma profundidade de 1 mm, o grupo de SP mostrou significativamente menor grau de conversão do que os outros grupos ($P < 0,05$). A análise de regressão linear mostrou uma forte

correlação entre a transmissão de luz dos pinos e o valor global do grau de conversão de cada grupo ($R^2 = 0,9888$). A diminuição do grau de conversão para Variolink II em relação à profundidade foi dependente da capacidade de transmissão de luz dos pinos testados.

Radovic et al.²⁸(2009) fizeram um estudo para determinar a transmissão de luz em diferentes níveis dos pinos e através da porção apical de 2 pinos que diferiam na condução da luz por meio de medição espectrofotométrica. Investigaram como o tipo de pino influencia na continuidade das interfaces cimento-dentina radicular e cimento-pino de fibra e avaliaram quanto o tipo de pino pode influenciar no módulo elástico e dureza da camada de cimento. Foram selecionados 2 tipos de pinos, sendo um opaco branco (Tech 21 X-OP/ Isasan, Rovello Poro, Italy) e outro translúcido (DT Light Post /RTD, St Egrevé, France) posicionados sobre um fundo preto. Uma fibra óptica de 50 μ m (P50-2-UV-VIS, Ocean Optics, FL, USA) conectada a um espectrofotômetro (PSD1000, Ocean Optics, FL, USA) foi posicionada perpendicularmente ao pino em diferentes níveis da raiz (2, 5 e 8 mm do ápice). A fibra óptica foi conectada a um programa de análise do espectro (OOI Base 32, Ocean Optics). Foi avaliada a amostra de fótons recebidos pelo espectrofotômetro a 470 nm. Posteriormente, foram selecionados 20 pré-molares, cujas coroas foram removidas e suas raízes tratadas endodonticamente com selador Acroseal (Septodont). Os pinos foram fixados com cimento resinoso dual Calibra (Dentsply Caulk) e sistema adesivo dual X-Bond e ativador de autopolimerização (Dentsply Caulk). O cimento resinoso foi introduzido com uma broca lentulo. Após 7 dias os espécimes foram cortados no eixo longitudinal, polidos, descalcificados e obtidas réplicas de resina epóxica. As réplicas foram submetidas ao MEV e as fendas e descontinuidades das interfaces medidas. As áreas de continuidade das interfaces foram expressas em porcentagens. Os espécimes foram submetidos ao teste de dureza Vickers para avaliar o módulo elástico e a dureza Vickers das camadas de cimento. Os resultados demonstraram que não houve transmissão de luz através do pino Tech 21 X-OP e que para o DT Light Post houve um pequeno decréscimo de luz de

cervical para apical. Os espécimes de Tech 21 X-OP apresentaram menor porcentagem de continuidade das interfaces, sendo menor no terço apical. Para ambos pinos houve presença de fendas na interface cimento-dentina e entre sistema adesivo e cimento. O módulo elástico e a dureza Vickers diminuíram do terço coronário para o apical em ambos os grupos. Para o pino Tech 21 X-OP houve redução do módulo elástico e da dureza Vickers do terço coronário para o apical, enquanto para o DT Light Post não houve diferenças significativas entre os terços. Quando comparados os 2 pinos, o Tech 21 X-OP apresentou propriedades menores que o DT Light Post para os terços médio e apical. Os autores concluíram que o pino de fibra opaco não apresentou capacidade de transmitir luz, resultando em menor porcentagem de continuidade das interfaces cimento-dentina e cimento-pino se comparado com o pino de fibra translúcido. O módulo elástico e a dureza Vickers da camada de cimento diminuiu significativamente do terço coronário para o apical, sendo os valores maiores para o pino translúcido.

Aguiar et al.²⁹(2010)avaliaram o efeito do modo de polimerização (modo auto polimerização e polimerização dual) no intervalo de tempo (5, 10 e 15 min) sobre o grau de conversão de cimentos resinosos. Um cimento resinoso convencional de polimerização dual (Panavia F 2.0 [Kuraray Medical Inc.]) e dois cimentos autoadesivos (RelyX Unicem [3M ESPE] e BisCem [Bisco, Inc.]) foram avaliados. Os produtos (n = 5) foram manipulados de acordo com as instruções do fabricante e avaliado o grau de conversão por FTIR. Os materiais foram fotopolimerizados por 40 s ou deixados para autopolimerizar. O modo de ativação por luz levou valores do grau de conversão mais elevados do que o modo de autopolimerização em cimentos autoadesivos (RelyX Unicem e BisCem), enquanto não houve diferença no grau de conversão entre grupos de Panavia F 2.0. Todos os produtos mostraram um grau mais elevado de conversão em 15 min após a polimerização do que qualquer outro intervalo de avaliação.

Moraes et al.¹⁷(2011)avaliaram a polimerização química e dual de cimentos resinosos auto-adesivos em camadas finas. Foram estudados os cimentos: BisCem (Bisco) , Maxcem Elite (Kerr) , RelyX Unicem clicker (3M

ESPE), SET (SDI) e SmartCem 2 (Dentsply). O cimento resinosoconvencional RelyX ARC (3M ESPE) foi testado como referência. O grau de conversão em função do tempo foi avaliado por espectroscopia infravermelha transformada de Fourier em (FTIR). Os cimentos resinosos foram fotoativados por 40 s (modo polimerização dual) ou não fotoativados (modo polimerização química). A espessura do cimento resinoso foi mensurada depois da polimerização, com uma média de $50 \pm 10 \mu\text{m}$. O grau de conversão foi avaliado 1, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 min após a colocação do cimento no equipamento. Os dados de grau de conversão foram analisados estatisticamente por análise de variância de medidas repetidas (ANOVA). Os valores do grau de conversão foram menores para os cimentos autoadesivos quando comparados com o cimento convencional independente do modo de polimerização.

Oliveira et al.³⁰(2012)avaliaram o grau de conversão (GC) e tempo de trabalho (WT) de dois cimentos resinosos duais, polimerizados em temperaturas diferentes e sob diferentes condições de luz, usando análise de luz infravermelha transformada de Fourier (FTIR).Os cimentos Calibra (Dentsply Caulk) e Variolink II (Ivoclar Vivadent) foram testados a 25°C ou pré-aquecidos a 37°C ou 50°C e aplicados a uma superfície horizontal de reflectância atenuada (ATR) ligado a um espectrometro de infravermelho. Os produtos foram polimerizados utilizando uma das quatro condições: a exposição à luz direta, apenas (600 mW / cm²), através de uma lâmina de vidro ou através de um disco cerâmico de 1,5 ou 3,0 mm de espessura (cor A2, IPS e.max, Ivoclar Vivadent) ou deixada para autopolimerização, na ausência de polimerização pela luz. Espectros de FTIR foram registrados por 20 min, imediatamente após a aplicação do ATR. O GC foi calculado usando técnicas convencionais de análise de mudanças nos índices de picos alifáticos-aromáticos. Análise de conversão dos monômeros à base de tempo foi usado para determinar a WT para cada temperatura. O GC e os dados WT (n = 6) foram analisados por análise de dois critérios de variância e teste post-hoc de Tukey (p=0,05).Concluíram que as temperaturas mais elevadas aumentaram o GC, independentemente do modo de polimerização do produto.

Para Calibra, apenas o grupo de cerâmica de 3 mm de espessura mostrou menor GC do que os outros grupos, a 25°C e não foi observada diferença significativa entre os grupos a 37°C e 50°C. Para Variolink II, o grupo de cerâmica de 3 mm de espessura mostrou menor GC do que o grupo de 1 mm de espessura, apenas a 25°C, enquanto que o grupo de auto-polimerização apresentou menor GC do que os outros em todas as temperaturas. O WT diminuiu com o aumento da temperatura: a 37°C houve redução de 70% e a 50°C houve redução de 90% para ambos os produtos testados.

2.2 Contração de polimerização

Sakaguchi et al.³¹(1991)desenvolveram o método de “*strain gage*” para estudar a contração de polimerização durante a fotoativação de resinas compostas. O método consiste em uma placa biaxial sensível a deformações e que registra mudanças em valores numéricos ($\mu\epsilon$). Foi comparado com outros métodos consolidados na literatura para sua validação, sendo muito útil para mensurar a contração em tempo real.

Watts e Cash³²(1991)desenvolveram o método de “*bonded-disk*” ou “*deflecting disk*” para mensurar o volume de contração de polimerização das resinas compostas. O aparelho é baseado em um transdutor sensível às deformações do compósito aderido a uma placa de vidro flexível. Com este método, conseguiram obter gráficos de deformação volumétrica (*strain* em percentagem) ao longo do tempo.

Sakaguchi et al.³³(1997)utilizaram o método de “*strain gage*” para mensurar a contração de polimerização de resinas compostas ($\mu\epsilon$) e isolar a contração pós-gel, identificando fatores que contribuíssem para as tensões geradas. A resina composta foi colocada em uma placa biaxial para a medição de *strain* e fotopolimerizada. Este método permitiu o registo em tempo real do progresso da contração de polimerização. Os dados a partir dos dois eixos do extensometro foram calculados e representados em função do tempo. Uma curva representativa foi calculada a partir da média de dez experimentos. Foram avaliados os seguintes fatores na medição total de contração: a expansão térmica do compósito devido a reação exotérmica, a exposição à luz de polimerização, e a aderência do compósito no medidor .

Atai et al.³⁴(2005)avaliaram a contração e velocidade de polimerização de diferentes monômeros, que são normalmente utilizados em resinas compostas. Foram avaliados Bis- GMA, TEGDMA, UDMA, MMA, HEMA, HPMA e diferentes proporções de Bis-GMA/TEGDMAos quais foram misturados com canforoquinona

e dimetil-aminoetil-metacrilato, como sistema iniciador. A contração de polimerização, foi mensurada com a técnica do “*bonded-disk*” e a velocidade de contração-deformação foi obtida por diferenciação numérica. A velocidade de contração-deformação subiu rapidamente até o máximo nos primeiros momentos para depois também cair rapidamente e se estabilizar. Os monômeros monofuncionais exibiram os dados de velocidade mais baixos. Entretanto, o UDMA, um monomero bifuncional de viscosidade média, mostrou a maior taxa de polimerização ($p < 0,05$). Concluíram assim, que a contração e velocidade de polimerização, depende da composição da resina composta.

Dewaele et al.³⁵(2006) estudaram a relação entre a contração de polimerização de resinas experimentais com o número de ligações duplas com o grau de conversão. Estudaram várias concentrações de Bis-GMA/TEGDMA. A contração dos polímeros foi determinada por picnometria e o grau de conversão foi determinado com a utilização de espectrometria μ -Raman. No grau de conversão, fizeram a contagem da quantidade de ligações duplas de carbono (mol/g) e a densidade das mesmas (mol/cm³). Encontraram que com maior concentração de TEGDMA, maior foi grau de conversão e a contração de polimerização; mas devido à diferença da massa molar entre o Bis-GMA e o TEGDMA, a concentração inicial de ligações duplas foi diferente entre os monômeros. Por isso, concluíram que existe uma relação entre grau de conversão e contração de polimerização e depende da concentração do TEGDMA.

Amirouche-Korichi et al.³⁶(2009) avaliaram o efeito de cargas minerais radiopacas e monomero sem diferentes concentrações, sobre o grau de conversão e contração de polimerização de compósitos experimentais com base de BisGMA/TEGDMA. A relação entre a contração de polimerização e do grau de conversão também foi investigada. O grau de conversão dos compósitos experimentais contendo diferentes teores de carga opaca foi medido através de espectroscopia FTIR. Os resultados revelaram que o grau de conversão e contração de polimerização diminuíram ligeiramente com o aumento das cargas opacas, mas esta redução não foi significativa. No entanto, estas duas

propriedades foram intimamente relacionadas com a concentração de monômero da matriz orgânica. Os resultados também mostraram uma correlação linear entre o grau de conversão e a contração de polimerização.

Spinell et al.²³(2009) avaliaram a contração de polimerização (*strain*) e a tensão de polimerização (*stress*) de seis cimentos resinosos, comparando o seu desempenho com o auxílio de dados de grau de conversão. Foram estudados os seguintes cimentos: Variolink 2 (VL2), Multilink Automix (MA), Multilink Sprint (MS, Ivoclar- Vivadent); Nexus 2 (NX2), Maxcem (MX, Kerr) e RelyX Unicem (RX, 3M-ESPE). Os cimentos MS, MX e RX eram autoadesivos; os outros requeriam de um agente adesivo. Todas as medições foram realizadas a 23°C durante 60 min (n=5). Os dados de volume de contração (percentagem de *strain*) foram medidos pelo método de “Bonded-disk”. O respectivo grau de conversão foi mensurado sob as mesmas condições por espectroscopia FTIR. Os valores de grau de conversão, foram menores para todos os cimentos autopolimerizados, quando comparados com seus pares fotopolimerizados. Não houve diferença estatisticamente significativa dos valores de contração, mas houve diferença na velocidade de polimerização e tensão de polimerização.

2.3 Redes de Bragg em fibras ópticas

A utilização de fibras ópticas limitou-se até metade do século passado à área das telecomunicações. Estas fibras não são mais que dois cilindros concêntricos (núcleo e bainha) feitos de fibras vítreas com índices de refração diferentes (sendo o do núcleo superior), pelo que se assegura a reflexão total da luz incidente e a transmissão da mesma (Figura 1).

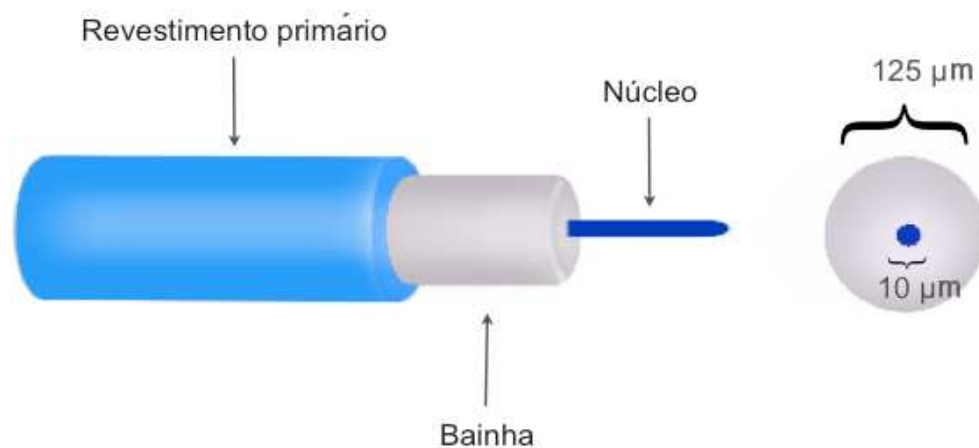


Figura 1 -Desenho esquemático de uma fibra óptica: componentes internos

Mas a descoberta por Hill et al.³⁷(1978), do fenômeno conhecido como fotossensibilidade impulsionou o uso de sensores em fibras ópticas em outras áreas de conhecimento. Eles utilizaram fibras ópticas de sílica dopadas com germânio, injetando radiação de um laser de íons de argônio (480 nm) no núcleo da fibra o que resultou durante a exposição, em um aumento na atenuação da fibra e com o decorrer do tempo, um aumento na refletividade da luz no interior da mesma (Othonos e Kalli³⁸ 1999).

O funcionamento das redes de Bragg em fibra óptica está baseado na criação de redes de interferência periódica desses índices de refração do núcleo

da fibra, por meio da absorção óptica de luz ultra-violeta (UV). A propriedade de fotossensibilidade permite que essas interferências sejam permanentes e atuem como filtro seletivo de determinados comprimentos de onda (Hill et al.³⁷ 1978). Por isto, pode-se verificar uma transmissão da maioria dos comprimentos de onda, e a reflexão de outros específicos.

A gravação das redes de Bragg pode ser feita por várias metodologias. Uma delas é a técnica direta com máscara de fase, que emprega elementos ópticos difrativos (máscara de fase) para modular espacialmente o feixe de UV de gravação (Kashyap³⁹ 1999). As fontes de luz UV mais comuns para gravar redes de Bragg com máscara de fase são os lasers excímeros (KrF). Ao passar pela máscara, o feixe de luz UV é difratado em direções simétricas apresentando a mesma potência, em seguida recombina-se gerando padrão de interferência sobre o núcleo da fibra, onde é formada a rede. A orientação dos espelhos que provocam a recombinação define o comprimento de onda desejado (Kashyap³⁹ 1999)(Figura 2).

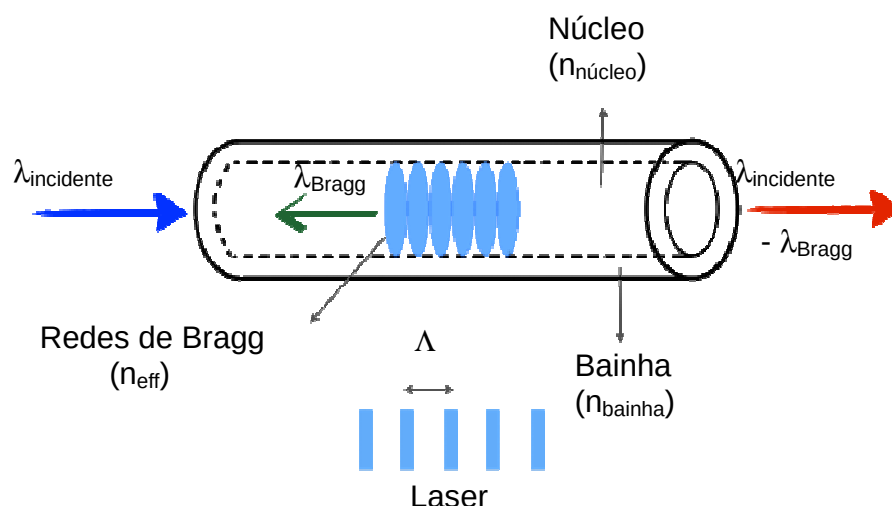


Figura 2-Desenho esquemático do funcionamento das Redes de Bragg

A radiação, ao longo da fibra, se encontra relacionada com a condição de Bragg, que impõe que o espectro de reflexão se encontre centrado no

comprimento de onda de Bragg, pela seguinte equação:

$$\lambda_B = 2\Lambda n_{eff}$$

Onde:

λ_B é o comprimento de onda de Bragg, para o qual ocorre o máximo das interações;

Λ é o período da rede de difração;

n_{eff} é o índice de refração efetivo da fibra; senão for satisfeita, a luz refletida por cada plano fica progressivamente fora de fase acabando, na eventualidade, por se anular (Othonos e Kalli³⁸ 1999).

O funcionamento dos sensores baseados nas redes de Bragg consiste na medição das variações espectrais do comprimento de onda de Bragg λ_B , quando a mesma é sujeita a perturbações externas, como deformações e alterações térmicas, regidos pela equação (Othonos e Kalli³⁸ 1999):

$$\begin{aligned}\Delta\lambda_B &= 2 \left(\Lambda \frac{\partial n}{\partial l} + n \frac{\partial \Lambda}{\partial l} \right) \Delta l + 2 \left(\Lambda \frac{\partial n}{\partial T} + n \frac{\partial \Lambda}{\partial T} \right) \Delta T \\ &= \Delta\lambda_{Bl} + \Delta\lambda_{BT}\end{aligned}$$

Onde:

$\Delta\lambda_{Bl}$ corresponde ao efeito da deformação, mudança do espaçamento da rede e variação fotoelástica induzida no índice de refração efetivo da fibra,

$\Delta\lambda_{BT}$ corresponde ao deslocamento do comprimento de onda de Bragg devido à expansão térmica que ocorre pela variação do espaçamento dos planos de alteração do índice de refração da rede e à alteração do índice de refração pelo efeito termo óptico (Othonos⁴⁰ 1997).

Usando os parâmetros de uma típica fibra óptica de sílica-germânio, a sensibilidade à deformação para um comprimento de onda de 1540nm é de 1.2picometros pormicrostrain ($\mu\epsilon$)(Othonos⁴⁰ 1997).

Os medidores de deformação são amplamente usados em estruturas civis, gasodutos e industria aeronáutica, mas devido ao tamanho foi até pouco tempo atrás, que começaram-se a usar nas áreas biomédicas.

Milczewski et al.²⁴(2007)avaliaram a contração de polimerização de duas resinas compostas: Freedom (SDI) e Z100 (3M). Cada amostra de resina composta foi preparada com uma fibra de Bragg incorporada. A unidade de fotopolimerização foi um aparelho LED de comprimento de onda entre 430 nm e 470 nm (Dabi Atlante). A posição do pico do comprimento de onda no espectro de reflexão óptica do sensor foi mensurado. O deslocamento do comprimento de onda foi relacionado com a deformação das amostras. Temperatura e deformação durante a fase de polimerização do material foi monitorado por 1h30. A contração de polimerização foi de $0,15 \pm 0,02\%$ para a resina composta Z100 e $0,06 \pm 0,01\%$ para a resina composta Freedom. Concluíram que as fibras de Bragg são uma boa opção para mensurar a contração de polimerização em função do tempo.

Anttila et al.²⁵(2008) avaliaram a contração de polimerização ($\mu\epsilon$) e a expansão higroscópica de quatro materiais dentários poliméricos, por meio de fibras ópticas com sensores de Redes de Bragg: resina abase de TEGDMA BisGMA (sem carga), resina composta Filtek Z250 (3M), e resinas compostas reforçadas com fibra de vidro unidirecional e bidirecional. As mudanças na contração de polimerização e expansão higroscópica foram monitoradas em tempo real usando sensores de fibra óptica com redes de Bragg (FBG). A contração de polimerização foi monitorada durante o processo de polimerização. Os sensores FBG também foram usados para registrar a expansão higroscópica das amostras que foram imersas na água até 132 dias. A resina composta sem carga teve a maior contração de polimerização (0,84%). A resina reforçada com fibras de vidro unidirecionais teve uma contração relativamente elevada em

sentido transversal em relação às fibras de reforço (0,41%), enquanto a contração ao longo das fibras de reforço foi pequena (0,02%). As resinas compostas com reforço bidirecional apresentaram um valor baixo de contração (0,03%). Para a maioria dos materiais testados a expansão higroscópica possivelmente compensou a contração de polimerização. Concluiu-se que os sensores de Redes de Bragg são adequados para a monitorização precisa em tempo real de propriedades internas dos biomateriais, por exemplo, contração de polimerização e expansão higroscópica.

Fresvig et al.⁴¹(2008) demonstraram que os sensores de fibra óptica de Bragg podem ser usados como ferramenta de medição de deformação óssea realizando medições tanto em um tubo acrílico quanto em uma amostra extraída da diáfise do fêmur humano. Em cada um deles foram utilizados quatro sensores de fibra óptica e quatro extensômetros (como método de referência). No entanto, não foram encontradas diferenças significativas entre os extensômetros e fibras ópticas, nem entre as medidas de tubos de acrílico e as das amostras ósseas. Concluíram que, as fibras ópticas de redes de Bragg são, portanto, adequadas para medidas dinâmicas de deformações no osso *in vitro*.

Alberto et al.⁴²(2011)avaliaram o impacto de cinco diferentes relações água/pó (a/p) na caracterização de gessos dentários, uma vez que as recomendações dos fabricantes não são sempre corretamente seguidas pelos técnicos e dentistas. Sensores de fibras com redes de Bragg foram usados para medir a expansão e variação de temperatura, que ocorreram durante a reação de presa para cada relação a/p, bem como o coeficiente de expansão térmica. Misturas grosseiras com baixos índices a/p tiveram mais cristais que incidiram sobre o outro durante o crescimento do cristal, resultando em maior expansão e maior calor liberado.

Bhalla et al.⁴³(2013)fizeram um estudo *in vitro* utilizando fibras de Bragg como sensores de tensão para avaliar a capacidade de absorção de choque de protetores bucais laminados personalizados em duas maloclusões diferentes em

comparação com oclusão normal. O impacto foi produzido utilizando um dispositivo de pêndulo personalizado com três objetos de impacto intercambiáveis em modelos com dois diferentes má oclusões e oclusão normal, de diferentes alturas. Os protetores bucais laminados apresentaram variação significativa na capacidade de absorção de choque quando comparadas as diferentes maloclusões. Assim, modificações no planejamento original dos protetores bucais laminados devem ser consideradas para os competidores de atletismo com má oclusão para fornecer proteção adequada contra impacto. A altura do impacto é uma variável importante na determinação da capacidade de absorção de choque dos protetores. Desta forma, conclui-se que as redes de Bragg são possíveis de serem utilizadas para verificação da tensão dos materiais.

3 PROPOSIÇÃO

3.1 Proposição geral

Avaliar a contração de polimerização dos cimentos resinosos que ocorre “*in loco*” nos canais radiculares durante a cimentação de pinos de fibra de vidro e relacioná-las com o grau de conversão.

3.2 Proposição específica

- Comparar a contração durante a polimerização e o grau de conversão de um cimento convencional com um cimento autoadesivo.
- Comparar a contração durante a polimerização e o grau de conversão de um cimento convencional nos terços apical e cervical do canal radicular.
- Comparar a contração durante a polimerização e o grau de conversão de um cimento autoadesivo nos terços apical e cervical do canal radicular.
- Verificar o Fator-C dos canais radiculares
- Avaliar a espessura dos cimentos resinosos nos diferentes terços.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Seleção dos dentes

A realização de toda a parte experimental desta dissertação foi aprovada por meio do parecer nº 159.525, pela Comissão de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Ponta Grossa – COEP. Para a realização deste estudo foram selecionados 30 caninos superiores permanentes, obtidos por meio, do Banco de Dentes Humanos (BDH) da Universidade Estadual de Ponta Grossa (Anexo A). Para a seleção dos dentes, foram obedecidos os seguintes critérios de exclusão: raízes com curvaturas severas, cáries radiculares, defeitos estruturais de esmalte ou cimento, tratamento endodôntico prévio e ápice incompleto. Os dentes selecionados tiveram comprimento radicular médio semelhante, pelo menos de 14 mm medidos da junção cimento-esmalte (JCE).

4.1.1 Preparo dos dentes

Os dentes foram seccionados perpendicularmente em relação ao seu longo eixo, 2 mm acima da junção cimento-esmalte com um disco de diamante montado em uma máquina de corte ISOMET 1000 (Buehler, Lake Bluff, IL, EUA) com frequência de 300 rpm sob refrigeração com água constante, de modo a criar o acesso ao canal radicular. O comprimento das raízes foi aferido com uma régua milimetrada.

4.1.2 Tratamento endodôntico

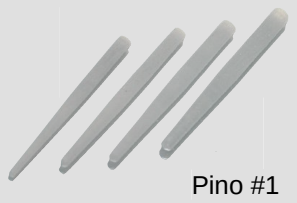
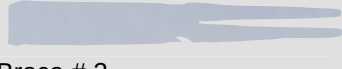
Os canais de todos os espécimes foram tratados conforme a técnica coroa-ápice, instrumentados com limas K (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Suíça) atingindo o diâmetro correspondente à lima #40. O limite apical do tratamento endodôntico foi determinado 1 mm aquém do forame apical. Foram utilizados como agentes de irrigação endodôntica o hipoclorito de sódio (NaOCl) 1% e solução de ácido etilenodiaminotetraacético (EDTA) 17% (Fórmula e Ação, São Paulo, SP, Brasil). As raízes foram secas com pontas de papel absorvente

(Dentsply, Maillefer, Petrópolis, RJ, Brasil) e obturadas usando a técnica da condensação vertical aquecida, utilizando cones de guta-percha aquecidos (Tanari, Manacapuru, AM, Brasil) e cimento obturador à base de resina epóxica (AH Plus, Dentsply Indústria e Comércio Ltda, Petrópolis, RJ, Brasil), o qual foi manipulado de acordo com as instruções do fabricante. A câmara pulpar foi selada com cimento provisório Coltosol (Vigodent, Rio de Janeiro, Brasil). Os espécimes foram armazenados em água destilada e mantidos a 37°C por 7 dias.

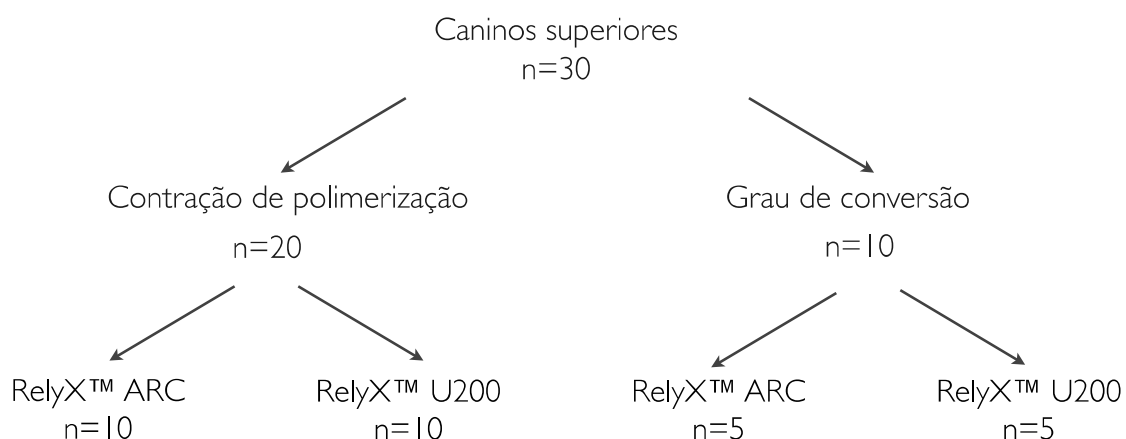
4.1.3 Preparo do canal radicular

A guta-percha foi removida usando fresas Gates Glidden e Peeso 2, 3 e 4, deixando pelo menos 4 mm do selamento apical e os canais foram preparados com uma broca de baixa rotação do sistema utilizado neste estudo (Whitepost DC, FGM #2, Joinville, SC, Brasil). A profundidade do preparo intrarradicular foi de 10 mm sendo padronizado para todos os espécimes. Em seguida, foram realizadas radiografias periapicais dos canais radiculares (películas radiográficas Agfa Dentus E Speed, NY, EUA) para verificação da completa ausência de material obturador além dos 4 mm apicais dos canais. Após o preparo foi realizada a prova e corte dos pinos de fibra de vidro duplo cônico (Whitepost DC, FGM #1, Joinville, SC, Brasil). Ressalta-se o uso da broca # 2 e a cimentação do pino #1(Quadro 1) a fim de ter a espessura necessária para a correta mensuração com fibras ópticas. A irrigação final foi realizada com solução de NaOCl 1% e água destilada e posteriormente, secos com pontas de papel absorvente (Dentsply, Petrópolis, RJ, Brasil). Os pinos de fibra de vidro foram limpos com álcool 70% e receberam a aplicação do agente silano Ceramic primer (RelyX, 3M/ESPE, St. Paul, MN, EUA).

Quadro 1 -Especificações do Fabricante do Pino de Fibra de Vidro Whitepost DC, FGM

Figura	Composição	Descrição	Lote
 Pino #1	80% Fibra de vidro 20% Resina Epóxica	Diâmetro coronário: 1,6 mm Diâmetro apical: 0,85 mm Comprimento: 20 mm	4267
 Broca # 2	-----	Diâmetro coronário: 1,8 mm Diâmetro apical: 1,05 mm Comprimento: 20 mm	2357

Os espécimes foram divididos aleatoriamente para cada um dos experimentos (Figura 3).

**Figura 3** - Fluxograma do desenho experimental

4.2 Preparo das fibras ópticas

A fibra óptica utilizada foi do tipo monomodo (padrão Draktel, ESMF) sem nenhum processo de tratamento para aumento da fotossensibilidade. O processo de gravação de redes de Bragg foi realizado por iluminação direta sobre máscara de fase, com laser de fluoreto de criptônio (Excímero) com comprimento de onda central de 248 nm, pulsos de 5 ns, ajustado para uma energia de pulso de 6 mJ e taxa de repetição de 500 Hz. Foi utilizada uma íris com abertura de 2 mm

definindo assim o comprimento da rede de Bragg. Todos os sensores foram gravados nas mesmas condições. Foi realizada a padronização da amplitude das redes de Bragg em aproximadamente 11 dB.

A fibra óptica foi descascada e clivada, seguindo o protocolo e materiais para emendar um cabo *pigtail* (Figura 4) e ligado a um acoplador que leva a informação dos sensores ao equipamento para medição (Figura 5).

Para as leituras dos sensores foi utilizado o sistema interrogador dinâmico Sm125 I-MON com a taxa de aquisição de 50 Hz. Este interrogador permite montar gráficos referentes a variação do comprimento de onda central das redes de Bragg em função do tempo em que ocorre a polimerização do material.

Antes da inserção do cimento resinoso no interior do canal radicular, se fez ademarkação e corte do pino (Figura 6A) para determinar a posição de dois sensores de fibra óptica de 2 mm aproximadamente, gravados com redes de diferentes comprimentos de onda (1537 nm e 1542 nm); sendo um deles na parte mais apical do pino e o outro na parte mais coronária (Figura 7). Depois de posicionar os sensores, as fibras foram coladas com cianoacrilato (Superbonder, Loctite, Rocky Hill, CT, USA) na parte do pino que ficava fora do canal (Figura 6B).

Por meio de um acoplador, os dois sensores foram ligados ao interrogador Sm125, que junto com o *software Sm125* que permitiu a obtenção de um gráfico com os comprimentos de onda (Figura 8A). A variação dos comprimentos de onda (Figura 8B) no tempo foi registrada e salva em um arquivo em formato .txt para a posterior tabulação e obtenção dos dados em *microstrain*. As medições foram iniciadas junto com a polimerização do cimento resinoso e durante 1 hora.

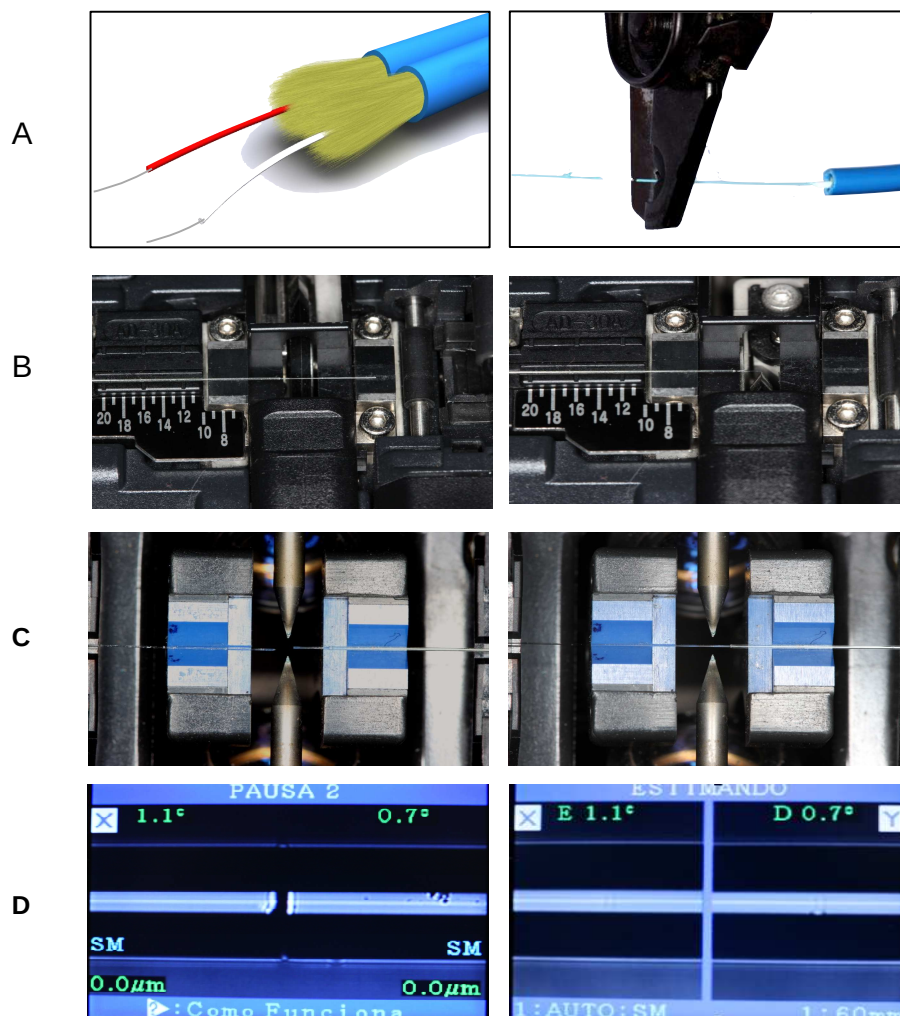


Figura 4 -Processo de emenda de uma fibra óptica com um *pigtail* ou com outra fibra
A-Remoção do polímero-fibra descascada;**B** -Clivagem da fibra óptica;
C-Emenda de duas fibras ópticas e **D** -Tela do ARC Splicer

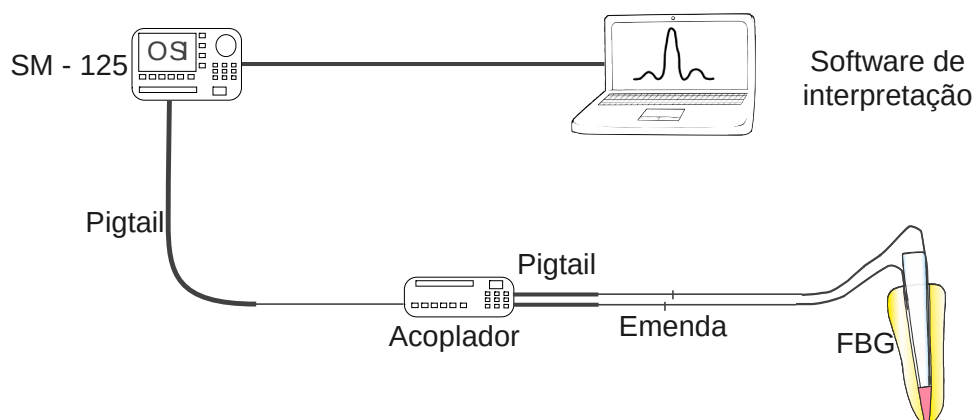


Figura 5- Desenho esquemático do experimento

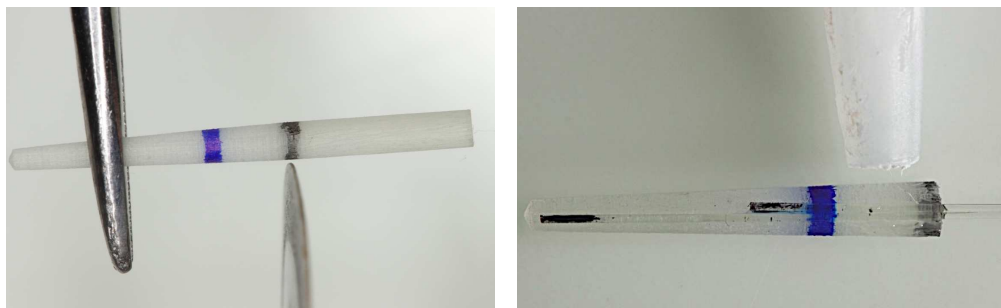


Figura 6A -Demarcação e corte do pino;**B**-Colagem dasFibras de Bragg (FBGs)

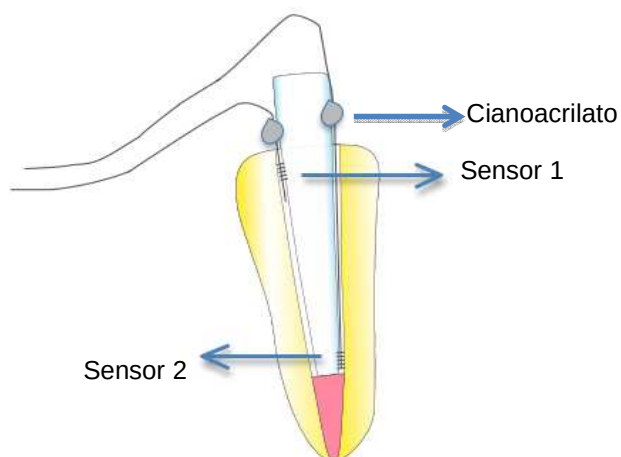


Figura 7-Desenho esquemático do posicionamento dos sensores no canal radicular

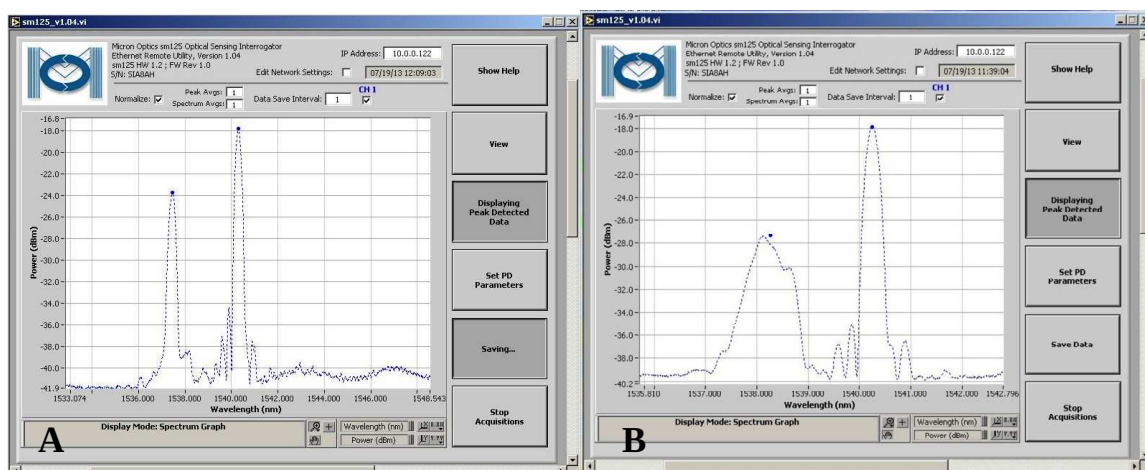


Figura 8 -Imagem gerada pelosoftware SM-125.**A** -Intensidade dos sensores com comprimentos de onda diferentes e**B** - Variações nos comprimentos de onda

4.3 Cimentação dos pinos

Para a cimentação dos pinos, os dentes foram divididos aleatoriamente em 2 grupos, segundo o cimento resinoso utilizado: Grupo ARC(n=15): cimento resinoso dual RelyX™ ARC (3M/ESPE, St. Paul, MN, EUA) e Grupo U200(n=15): cimento resinoso dual RelyX™ U200(3M/ESPE, St. Paul, MN, EUA).

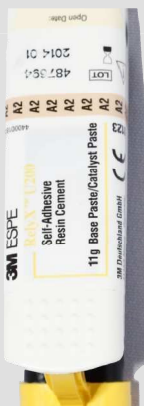
No grupo ARC, os canais foram condicionados com ácido fosfórico 37% Dental Gel (Dentsply, Petrópolis, RJ, Brasil) por 15 s, lavados com água destilada por 30 s, e secos com pontas de papel absorvente. Em seguida, foi aplicado o sistema adesivo Adper Scotchbond™ Multipurpose Plus (3M/ESPE, St. Paul, MN, EUA), levando primeiro o ativador no interior do canal, logo o primer e por último o catalisador, por meio de uma ponta aplicadora específica para canais radiculares (Points SDI Limited, Cologne, Alemanha) e secando durante 5 s, depois de cada aplicação. O excesso de adesivo foi removido utilizando pontas de papel absorvente e fotoativado por 20 s, por meio de um aparelho fotopolimerizador com luz emitida por diodo (Radii Plus /SDI, Bensenville, IL, EUA), com densidade de potência de 1.200 mW/cm². A intensidade de luz era monitorada por meio de um radiômetro (Curing radiometer Model 100, Demetron Research Corp., Danburg, CT, EUA). Os pinos foram seccionados transversalmente, por meio de um disco flexível diamantado de dupla face (KG Sorensen, São Paulo, SP, Brasil) sob refrigeração com água constante, resultando em 13 mm de comprimento, de maneira que 10 mm do pino atingisse o comprimento de trabalho radicular, e os outros 3 mm servissem como guia para a distância do aparelho fotoativador durante os procedimentos de fotoativação dos espécimes. Em seguida, os pinos foram tratados com silano pré-hidrolizado RelyX Ceramic Primer 3M/ESPE, St. Paul, MN, EUA) e depois com catalisador do sistema adesivo. O cimento foi manipulado de acordo com as instruções do fabricante e aplicado com a seringa Centrix (DFL, Rio de Janeiro, RJ, Brasil) no interior do canal radicular, sendo os pinos de fibra de vidro posicionados e assentados no interior do canal radicular, e

estabilizados com pressão digital. O cimento resinoso foi fotoativado através do pino por 40 s (Radii Plus /SDI, Bensenville, IL, EUA).

No grupo U200, as paredes dos canais radiculares foram lavadas com água destilada e secas com pontas de papel absorvente. Os pinos foram limpos com álcool 70%. O cimento resinoso foi manipulado de acordo com as instruções do fabricante e aplicado com a seringa Centrix (DFL, Rio de Janeiro, RJ, Brasil) no interior do canal radicular, sendo os pinos de fibra de vidro posicionados e assentados no interior do canal radicular, e estabilizados com pressão digital. O cimento resinoso foi fotoativado através do pino por 40 s (Radii Plus /SDI, Bensenville, IL, EUA).

A composição dos materiais utilizados no estudo está especificada no Quadro 2.

Quadro 2 - Materiais utilizados, fabricante e composição.

Figura	Material/Fabricante	Composição*
	Ácido fosfórico / Dental Gel / Dentsply	Ácido fosfórico 37%
	Adesivo Adper Scotchbond™ Multi- Purpose Plus / 3M ESPE	<u>Ativador:</u> solução etílica de um sal de ácido sulfínico e um componente fotoiniciador. <u>Primer:</u> solução aquosa HEMA e copolímero do ácido polialcenóico. <u>Catalisador:</u> HEMA e Bis-GMA, BPO.
	RelayX™ ARC / 3M ESPE	<u>Pasta A:</u> Bis-GMA, TEGDMA, partículas inorgânicas de zircônia e sílica (68% em peso), fotoiniciadores, amina e pigmentos. <u>Pasta B:</u> Bis-GMA, TEGDMA, peróxido de benzoíla, partículas inorgânicas de zircônia e sílica (67% em peso).
	RelayX™ U200 / 3M ESPE	<u>Pasta Base:</u> fibra de vidro, ésteres, ácido fosfórico, metacrilato, dimetacrilato de trietilenoglicol, sílica tratada com silano e persulfato de sódio. <u>Pasta Catalisadora:</u> fibra de vidro, dimetacrilato substituto, sílica tratada com silano, p-toluenosulfonato de sódio e hidróxido de cálcio.

* Nota: Composição de acordo com o fabricante

4.4 Preparo para espectroscopia μ -Raman

Os espécimes foram seccionados perpendicularmente em relação ao seu longo eixo com um disco de diamante montado na máquina de corte ISOMET 1000 (Buehler, Lake Bluff, IL, EUA) em fatias com espessura média de 1 mm. Foram descartadas as fatias dos extremos (a mais apical e a mais coronária) com o intuito de obter as fatias que representassem as regiões onde foram colocados os sensores no teste realizado anteriormente. Foram obtidas assim, uma fatia correspondente a cada terço radicular em estudo: apical (TA) e cervical (TC). Logo após o corte, os discos receberam uma marcação no lado coronário com tinta permanente.

Para avaliação do grau de conversão do cimento resinoso nos diferentes terços, foram feitas três leituras em três pontos aleatórios e diferentes de cada disco, 1 hora após à cimentação do pino. A média das três leituras foi utilizada no cálculo de porcentagem do grau de conversão (GC) de cada disco.

4.5 Análise do grau de conversão

O espectroscópio μ -Raman (modelo Senterra, Brucker Optics, Ettlingen, Alemanha) foi utilizado para verificação do grau de conversão do cimento resinoso. O aparelho consiste de um microscópio óptico e um *stage* de posicionamento, em que um feixe de laser verde de 532 nm é aplicado sobre a amostra, o qual retornou pelo mesmo caminho óptico, e apenas 1 em 10⁸ dos fótons emitidos sofre desvio e, conseqüente espalhamento inelástico. Esse espalhamento é detectado em um sensor tipo CCD a 65°C, e o espectro Raman de interesse foi obtido pela relação entre a intensidade obtida para cada pico e o comprimento de onda do pico, dado em cm^{-1} .

Cada espécime (fatia) foi posicionada no foco da objetiva (aumento de 100X). Um sistema de imagem foi acoplado ao μ -Raman, por onde se pode

verificar o correto posicionamento do laser. Foram realizadas 3 leituras aleatorizadas por espécime, com tempo de integração de 60 s cada. A abertura confocal do laser (Spot) foi de 25 μm , sob potência de 20 mW. A região espectral analisada foi entre 1785-875 cm^{-1} . Para investigar as diferenças no grau de conversão de cada espécime, espectros Raman foram obtidos, onde: o pico encontrado em 1,637 cm^{-1} indicou as duplas ligações do cimento resinoso não reativas (C=C), e o pico de 1,608 cm^{-1} representou a ligação carbono-carbono nos anéis aromáticos das moléculas de Bis-GMA do cimento resinoso. Foi realizada a integração dos picos, para delimitação das áreas de cada um. A razão das áreas encontradas em cada pico, tanto para o cimento resinoso polimerizado e não-polimerizado foi utilizada para as equações:

$$R_{\text{polimerizado}} = \frac{\text{Área } 1,637 \text{ cm}^{-1}}{\text{Área } 1,608 \text{ cm}^{-1}} \quad R_{\text{sem-polimerizar}} = \frac{\text{Área } 1,637 \text{ cm}^{-1}}{\text{Área } 1,608 \text{ cm}^{-1}}$$

sendo a mensuração do cimento resinoso sem polimerizar, realizada no cimento resinoso disposto sobre uma placa de vidro. O grau de conversão (GC) do cimento resinoso pode então ser calculado, usando-se a equação:

$$GC = (1 - R_{\text{polimerizado}} / R_{\text{sem-polimerizar}})$$

4.6 Fator de configuração cavitária (Fator-C)

O fator de configuração cavitária dos espécimes foi calculado após a mensuração da espessura do cimento nas regiões apical e cervical. A mensuração foi feita com ajuda do software Image Tool 2.0®.

O Fator-C foi calculado seguindo o modelo matemático proposto por (Tay et al.⁸ 2005), que consiste em calcular a área dos cones truncados (pino e canal) extendendo-os até o ponto mais apical do dente, criando assim um cone convencional. Primeiro é calculada a área desse cone e depois é subtraída a área do cone imaginário X (Figura 9), tendo como resultado a área do cone truncado.

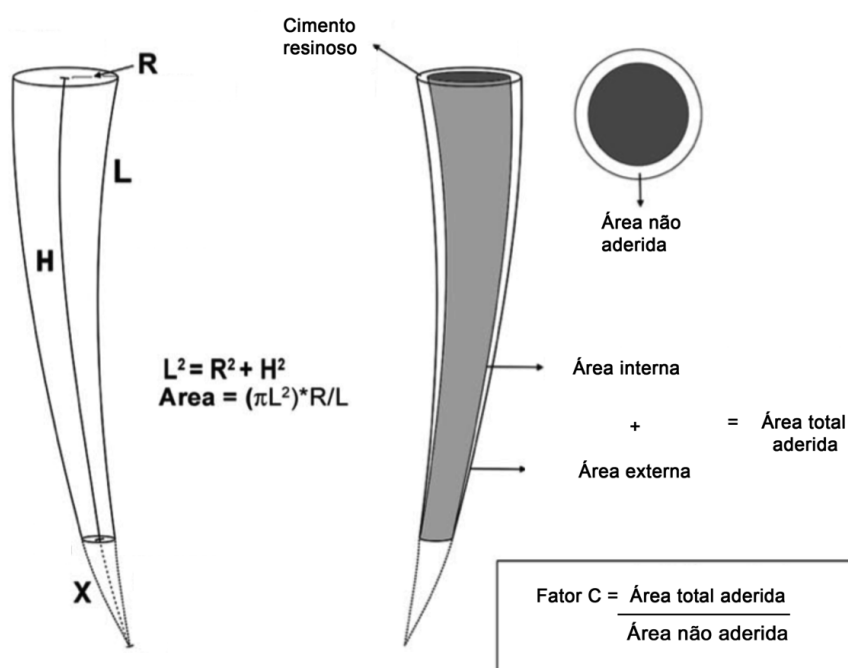


Figura 9 - Representação do modelo matemático para calcular o fator de configuração cavitária na cimentação de um pino no canal radicular com cimentos resinosos. Adaptado de Tay et al., 2005.

Os valores obtidos das áreas do canal e do cone (área interna e externa) constituem a área total aderida.

A área não aderida é a área cervical do cimento resinoso, pois é a porção livre do material e vai servir como via para relaxar as tensões produzidas durante a polimerização.

4.7 Análise estatística

Os resultados obtidos com as variáveis contínuas contração de polimerização e grau de conversão foram submetidos à análise de variância (ANOVA) de 2 fatores, sendo considerados como fatores fixos o cimento resinoso (RelyX™ARC e RelyX™U200), região radicular (cervical e apical) e interação dos fatores (cimento e região radicular). A distribuição da normalidade foi verificada por meio da assimetria e curtose.

A homogeneidade das variâncias foi testada com o teste de Levene. O nível de significância adotado foi de 5%, desta forma se $p > 0,05$ a hipótese nula(H_0), na qual não haveria diferença significativa entre os grupos seria aceita. Caso $p \leq 0,05$, H_0 não seria aceita, indicando diferenças significativas entre os grupos.

Todos os cálculos foram realizados por meio do programa estatístico IBM SPSS® (Statistical Package for the Social Science, 21.0 Mac version, IBM SPSS Inc. Chicago, Illinois, USA).

5 RESULTADOS

5.1 Contração de polimerização

A partir dos dados obtidos da contração de polimerização ($\mu\epsilon$) de cada cimento ($n=10$), foi feita uma média e foram construídos gráficos mostrando a deformação dos cimentos resinosos nas regiões radiculares (terços apical e cervical) em função do tempo (Gráficos 1 e 2).

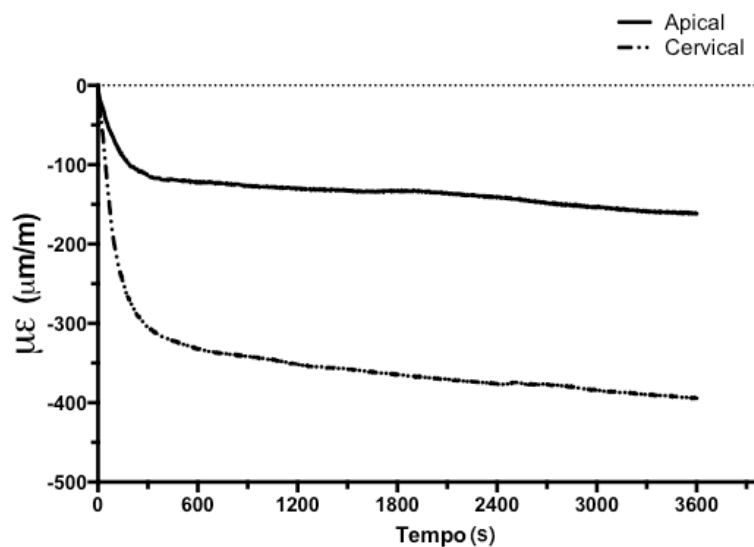


Gráfico 1 -Contração de polimerização ($\mu\epsilon$) do cimento resinoso RelyX™ ARC

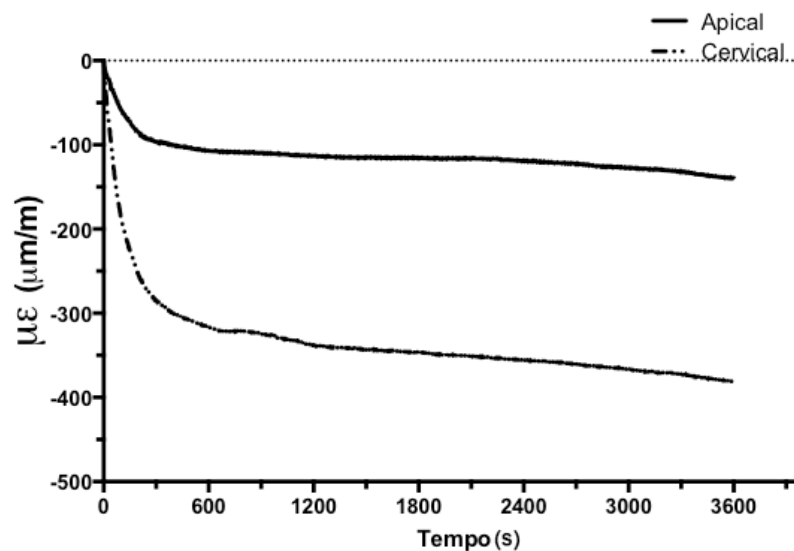


Gráfico 2 -Contração de polimerização ($\mu\epsilon$) do cimento resinoso RelyX™ U200

A média e desvio padrão de contração de polimerização ($\mu\epsilon$) para cada cimento resinoso estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1- Média e desvio padrão da contração de polimerização ($\mu\epsilon$) dos cimentos resinosos, levando em consideração as regiões radiculares (terço cervical e apical).

Cimento	Região	Média ($\mu\epsilon$)	Desvio padrão
ARC	Cervical	-351,09	51,80
	Apical	-133,31	22,02
U200	Cervical	-334,47	49,82
	Apical	-113,61	18,38

A fim de entender melhor o comportamento dos cimentos resinosos, estes foram estudados separadamente em dois momentos: após 5 min da ativação e após 60 min da ativação (Gráfico 3).

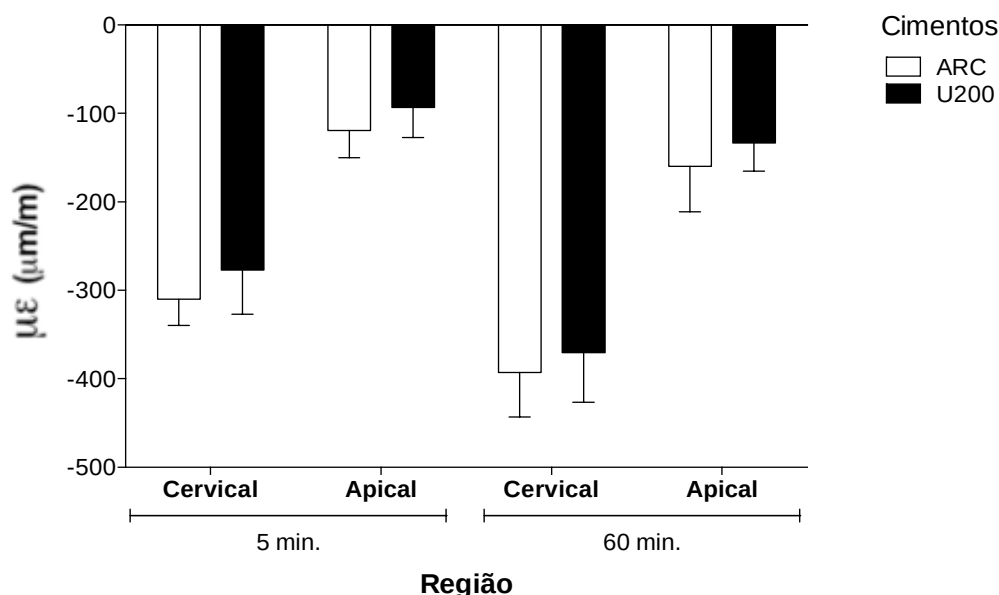


Gráfico3 -Média e desvio padrão dos valores de contração de polimerização dos cimentos resinosos RelyX™ARC e RelyX™U200, após 5 min e 60 min de ativação. Após 5 min: Fator cimento ($p=0,017$) e região ($p<0,0001$), diferença significativa. Interação (cimento e região) diferença não significativa

($p=0,759$). Após 60 min: Fator região ($p<0,0001$), diferença significativa. Fator cimento ($p=0,119$) e Interação ($p=0,889$) diferença não significativa.

5.2 Grau de conversão

Foram feitas 3 leituras de grau de conversão em cada fatia, dando uma média representativa da região por cada cimento resinoso ($n=5$). Os dados obtidos estão apresentados no Gráfico 4.

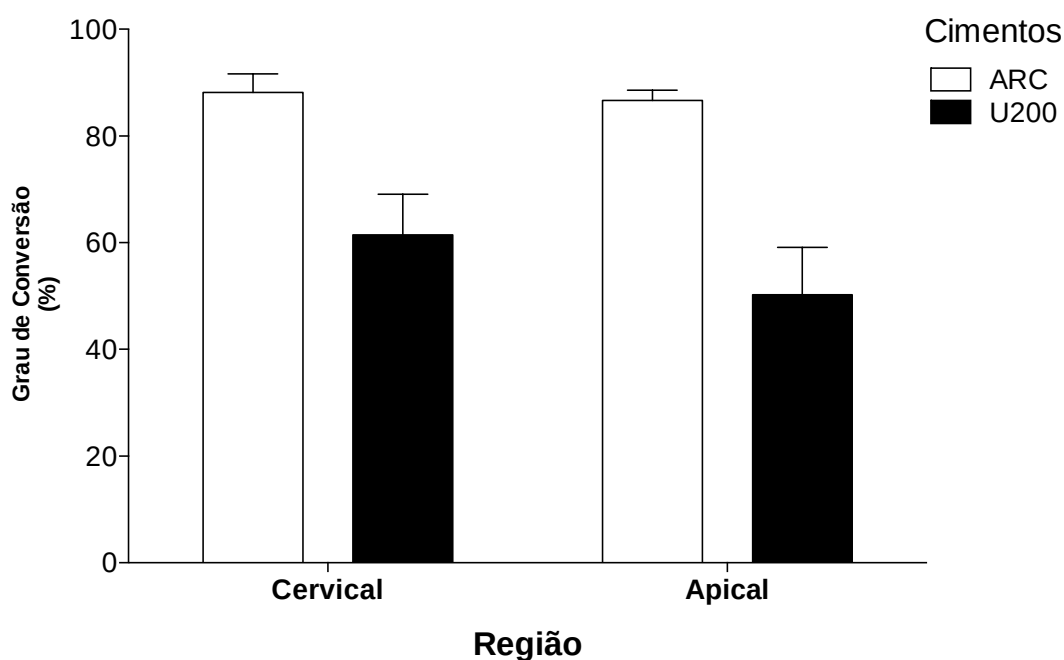


Gráfico 4 - Média e desvio padrão dos valores de grau de conversão (%) dos cimentos resinosos (RelyX ARC e RelyX U200) em diferentes regiões do canal radicular. Diferença significativa entre os cimentos ($p<0,0001$) e região radicular ($p=0,035$). Diferença não significativa ($p=0,096$) na interação dos fatores (cimento e região).

5.3 Fator de configuração cavitária

Foram realizados os cálculos baseados nas médias de espessura dos cimentos resinosos (mm) nas diferentes regiões em estudo. Os valores estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Média e desvio padrão (mm) das espessuras dos cimentos resinosos, levando em consideração as regiões radiculares (terço cervical e apical).

Cimento	Região	Média (mm)	Desvio padrão
ARC	Cervical	0,224	0,028
	Apical	0,155	0,014
U200	Cervical	0,226	0,048
	Apical	0,158	0,026

Posteriormente, foram calculadas as áreas do canal e do pino, para obter a área total aderida:

$$\text{Área interna (pino)} = 29,88 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área externa (canal)} = 37,86 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área total aderida} = 67,74 \text{ mm}^2$$

A área não aderida foi obtida subtraindo a área cervical do pino da área cervical do canal:

$$\text{Área cervical do pino} = 2,01 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área cervical do canal} = 3,29 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área não aderida} = 1,28 \text{ mm}^2$$

O fator C é razão entre a área total aderida e a área não aderida:

$$\text{Fator C} = \frac{\text{Área total aderida}}{\text{Área não aderida}} = \frac{67,74 \text{ mm}^2}{1,28 \text{ mm}^2}$$

$$\text{Fator C} = 52,92$$

6 DISCUSSÃO

A reação de polimerização baseia-se na conversão de monômeros em cadeias poliméricas, o que conduz a uma contração intrínseca do material. Os cimentos resinosos utilizados no estudo sofrem uma polimerização dual: química (dada pela reação durante a mistura do catalisador e a base) e física (produzida pela interação do material com uma unidade fotoativadora). A ativação física é diretamente proporcional à intensidade da fonte de luz; se diminuir a intensidade com que a luz interage com o material, a polimerização será menor (Davidson e Feilzer⁴⁴ 1997). Com isso, pode-se explicar os menores valores de contração de ambos os cimentos resinosos na região apical, pois ao estar mais longe da fonte de luz, houve uma menor polimerização; e, como consequência, menor contração de polimerização (Silikas et al.⁴⁵ 2000).

As curvas de contração de polimerização de todas as amostras tiveram um comportamento similar ao relatado na literatura com outros métodos de mensuração (El-Korashy⁴⁶ 2010), onde os maiores valores de contração foram encontrados nos primeiros 5 min, e após este período houve uma tendência a estabilizar-se.

No geral, o cimento resinoso RelyX™ ARC, apresentou maiores valores de contração nas duas regiões estudadas, quando comparado com o RelyX™ U200. Uma possível explicação pode ser pelo maior teor polimérico (Bis-GMA/TEDGMA) do cimento RelyX™ ARC; ou seja, a maior quantidade de monômeros susceptíveis a reagir e formar cadeias poliméricas, maior contração de polimerização (Feilzer e Dauvillier⁴⁷ 2003).

Os resultados mostraram também, que após 5 min houve diferença entre os cimentos resinosos independente da região radicular, sendo que o RelyX™ ARC apresentou maior contração, porém essa diferença não foi observada em 60 min.

No grau de conversão que foi mensurado 60 min após a ativação, houve diferença entre os cimentos independente da região, sendo que o RelyX™ ARC apresentou maior grau de conversão do que RelyX™ U200. A diferença no grau

de conversão nas diferentes regiões independente do cimento também foi significativa, sendo maior na cervical. Isso confirma a hipótese anterior, onde se esperava que pela deficiência na ativação física na região apical, houvesse uma menor conversão de monômeros o que conseqüentemente diminuiria a contração de polimerização (Cerutti et al.⁴⁸ 2011).

Uma possível explicação para os valores altos do grau de conversão do cimento RelyX™ ARC, é o uso de co iniciadores do sistema adesivo utilizado Adper Scotchbond™ Multi-Purpose Plus. Arrais et al.⁴⁹ (2009) avaliaram a inclusão de sais de sulfinato de sódio aromáticos na composição de agentes adesivos. A adição desses sais permitiu que os componentes de autopolimerização iniciassem a reação química mesmo quando a luz não estava disponível.

Mas a contração de polimerização, não depende unicamente do grau de conversão; é um fenômeno multifatorial que pode ser afetado pela configuração cavitária e a espessura do cimento resinoso (Braga et al.¹⁹ 2005). O fator de configuração cavitária (fator-C), que representa a área de confinamento da cavidade, aumenta enormemente na cimentação de pinos de fibra de vidro quando comparado com uma restauração em uma cavidade intracoronária. Tem sido relatado que o fator-C no canal radicular com pino cimentado pode apresentar valores acima de 200, enquanto que o fator-C de uma restauração intracoronária está na gama de 1- 5 (Aksornmuang et al.¹⁶ 2011). Pode-se pensar que um valor tão elevado do fator-C, teria um efeito catastrófico nas propriedades dos cimentos resinosos. No entanto, Miguel e de la Macorra⁵⁰ (2001) relataram uma relação não linear e inversa entre o fator-C e a tensão produzida pela contração. Mas também analisam os problemas intrínsecos que devem ser estudados a esse fenômeno isolado, pois geralmente são ignoradas as características do material.

Por outro lado, a espessura do cimento também afeta seu comportamento durante a polimerização. Braga et al.⁵¹ (2006) relatam maiores valores de tensão na contração de polimerização, com maiores espessuras de cimento. Isto pode-se

explicar porque tendo maior quantidade de monômeros reagindo, a contração de polimerização é maior, e com isso também a contração e tensão de polimerização.

Neste estudo a espessura da região coronária, teve uma média de 225 μm de espessura para os dois cimentos em estudo, comparada com 125 μm na região apical. As diferenças das espessuras nas diferentes regiões, pode explicar também os maiores valores de contração na região cervical.

No entanto, o presente estudo avaliou somente um cimento resinoso de cada tipo (convencional dual e autoadesivo dual), o que não necessariamente reflete o comportamento do grupo de cimentos como tal. Com as limitações do estudo, abre-se uma nova linha de conhecimento, pois não tem sido relatado na literatura, o comportamento “in loco” dos cimentos resinosos na cimentação de pinos de fibra de vidro.

7 CONCLUSÕES

De acordo com a proposição do estudo e com os resultados obtidos pode-se concluir que:

- Os sensores de fibra óptica com redes de Bragg mostraram-se eficientes na demarcação da magnitude das deformações nos cimentos resinosos testados;
- O cimento resinoso convencional testado neste estudo apresentou maiores valores de contração de polimerização e grau de conversão, quando comparado com o cimento resinosos autoadesivo.;
- Os valores de contração de polimerização e do grau de conversão foram maiores na região cervical, quando comparados com a região apical do canal radicular , nos dois cimentos resinosos estudados.

REFERÊNCIAS*

1. Akkayan B, Gulmez T. Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. *J Prosthet Dent*. 2002 Apr;87(4):431-7.
2. Asmussen E, Peutzfeldt A, Heitmann T. Stiffness, elastic limit, and strength of newer types of endodontic posts. *J Dent*. 1999 May;27(4):275-8.
3. De Santis R, Mollica F, Prisco D, Rengo S, Ambrosio L, Nicolais L. A 3D analysis of mechanically stressed dentin-adhesive-composite interfaces using X-ray micro-CT. *Biomater*. 2005 Jan;26(3):257-70.
4. Goracci C, Tavares AU, Fabianelli A, Monticelli F, Raffaelli O, Cardoso PC, et al. The adhesion between fiber posts and root canal walls: comparison between microtensile and push-out bond strength measurements. *Eur J Oral Sci*. 2004 Aug;112(4):353-61.
5. Schwartz RS, Fransman R. Adhesive dentistry and endodontics: materials, clinical strategies and procedures for restoration of access cavities: a review. *J Endod*. 2005 Mar;31(3):151-65.
6. Bitter K, Paris S, Pfuertner C, Neumann K, Kielbassa AM. Morphological and bond strength evaluation of different resin cements to root dentin. *Eur J Oral Sci*. 2009 Jun;117(3):326-33.
7. Van Meerbeek B, Van Landuyt K, De Munck J, Hashimoto M, Peumans M, Lambrechts P, et al. Technique-sensitivity of contemporary adhesives. *Dent Mater J*. 2005 Mar;24(1):1-13.
8. Tay FR, Loushine RJ, Lambrechts P, Weller RN, Pashley DH. Geometric factors affecting dentin bonding in root canals: a theoretical modeling approach. *J Endod*. 2005 Aug;31(8):584-9.
9. Prisco D, De Santis R, Mollica F, Ambrosio L, Rengo S, Nicolais L. Fiber post adhesion to resin luting cements in the restoration of endodontically-treated teeth. *Oper Dent*. 2003 Sep-Oct;28(5):515-21.
10. Bonfante EA, Pegoraro LF, de Goes MF, Carvalho RM. SEM observation of the bond integrity of fiber-reinforced composite posts cemented into root canals. *Dent Mater*. 2008 Apr;24(4):483-91.

* De acordo com a norma do Programa de Pós-graduação em Odontologia Stricto-sensu da UEPG, baseada no modelo Vancouver. Abreviaturas dos periódicos em conformidade com o *Medline*

11. Ferrari M, Vichi A, Garcia-Godoy F. Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores. *Am J Dent*. 2000 May;13:15B-18B.
12. Ferrari M, Vichi A, Grandini S. Efficacy of different adhesive techniques on bonding to root canal walls: an SEM investigation. *Dent Mater*. 2001 Sep;17(5):422-9.
13. Vichi A, Grandini S, Ferrari M. Comparison between two clinical procedures for bonding fiber posts into a root canal: a microscopic investigation. *J Endod*. 2002 May;28(5):355-60.
14. Monticelli F, Grandini S, Goracci C, Ferrari M. Clinical behavior of translucent-fiber posts: a 2-year prospective study. *Int J Prosthodont*. 2003 Nov-Dec;16(6):593-6.
15. Teixeira CS, Silva-Sousa YC, Sousa-Neto MD. Effects of light exposure time on composite resin hardness after root reinforcement using translucent fibre post. *J Dent*. 2008 Jul;36(7):520-8.
16. Aksornmuang J, Nakajima M, Senawongse P, Tagami J. Effects of C-factor and resin volume on the bonding to root canal with and without fibre post insertion. *J Dent*. 2011 Jun;39(6):422-9.
17. Moraes RR, Boscato N, Jardim PS, Schneider LF. Dual and self-curing potential of self-adhesive resin cements as thin films. *Oper Dent*. 2011 Nov-Dec;36(6):635-42.
18. Braga RR, Ferracane JL. Alternatives in polymerization contraction stress management. *Crit Rev Oral Biol Med*. 2004 15(3):176-84.
19. Braga RR, Ballester RY, Ferracane JL. Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: a systematic review. *Dent Mater*. 2005 Oct;21(10):962-70.
20. Arrais CA, Rueggeberg FA, Waller JL, de Goes MF, Giannini M. Effect of curing mode on the polymerization characteristics of dual-cured resin cement systems. *J Dent*. 2008 Jun;36(6):418-26.
21. Arrais CA, Giannini M, Rueggeberg FA. Kinetic analysis of monomer conversion in auto- and dual-polymerizing modes of commercial resin luting cements. *J Prosthet Dent*. 2009 Feb;101(2):128-36.

22. Ferrari M, Carvalho CA, Goracci C, Antoniolli F, Mazzoni A, Mazzotti G, et al. Influence of Luting Material Filler Content on Post Cementation. *J Dent Res*. 2009 Oct;88(10):951-56.
23. Spinell T, Schedle A, Watts DC. Polymerization shrinkage kinetics of dimethacrylate resin-cements. *Dent Mater*. 2009 Aug;25(8):1058-66.
24. Milczewski MS, Silva JC, Paterno AS, Kuller F, Kalinowski HJ. Measurement of composite shrinkage using a fibre optic Bragg grating sensor. *J Biomater Sci Polym Ed*. 2007 18(4):383-92.
25. Anttila EJ, Krintila OH, Laurila TK, Lassila LV, Vallittu PK, Hernberg RG. Evaluation of polymerization shrinkage and hygroscopic expansion of fiber-reinforced biocomposites using optical fiber Bragg grating sensors. *Dent Mater*. 2008 Dec;24(12):1720-7.
26. Acquaviva PA, Cerutti F, Adami G, Gagliani M, Ferrari M, Gherlone E, et al. Degree of conversion of three composite materials employed in the adhesive cementation of indirect restorations: A micro-Raman analysis. *J Dent*. 2009 Aug;37(8):610-15.
27. Kim YK, Kim SK, Kim KH, Kwon TY. Degree of conversion of dual-cured resin cement light-cured through three fibre posts within human root canals: an ex vivo study. *Int Endod J*. 2009 Aug;42(8):667-74.
28. Radovic I, Corciolani G, Magni E, Krstanovic G, Pavlovic V, Vulicevic ZR, et al. Light transmission through fiber post: the effect on adhesion, elastic modulus and hardness of dual-cure resin cement. *Dent Mater*. 2009 Jul;25(7):837-44.
29. Aguiar TR, Francescantonio MD, Arrais CAG, Ambrosano GMB, Davanzo C, Giannini M. Influence of Curing Mode and Time on Degree of Conversion of One Conventional and Two Self-adhesive Resin Cements. *Oper Dent*. 2010 May-Jun;35(3):295-99.
30. Oliveira M, Cesar PF, Giannini M, Rueggeberg FA, Rodrigues J, Arrais CA. Effect of Temperature on the Degree of Conversion and Working Time of Dual-Cured Resin Cements Exposed to Different Curing Conditions. *Oper Dent*. 2012 Jul-Aug;37(4):370-79.
31. Sakaguchi RL, Sasik CT, Bunczak MA, Douglas WH. Strain gauge method for measuring polymerization contraction of composite restoratives. *J Dent*. 1991 Oct;19(5):312-6.

32. Watts DC, Cash AJ. Determination of Polymerization Shrinkage Kinetics in Visible-Light-Cured Materials - Methods Development. *Dent Mater.* 1991 Oct;7(4):281-87.
33. Sakaguchi RL, Versluis A, Douglas WH. Analysis of strain gage method for measurement of post-gel shrinkage in resin composites. *Dent Mater.* 1997 Jul;13(4):233-9.
34. Atai M, Watts DC, Atai Z. Shrinkage strain-rates of dental resin-monomer and composite systems. *Biomater.* 2005 Aug;26(24):5015-20.
35. Dewaele M, Truffier-Boutry D, Devaux J, Leloup G. Volume contraction in photocured dental resins: the shrinkage-conversion relationship revisited. *Dent Mater.* 2006 Apr;22(4):359-65.
36. Amirouche-Korichi A, Mouzali M, Watts DC. Effects of monomer ratios and highly radiopaque fillers on degree of conversion and shrinkage-strain of dental resin composites. *Dent Mater.* 2009 Nov;25(11):1411-8.
37. Hill K, Johnson D, Kawasaki B. Photosensitivity in optical fibre waveguides application to reflection filter fabrication. *App Phys Lett.* 1978 Nov;32(1):647-49.
38. Othonos A, Kalli K. *Fiber Bragg gratings: fundamentals and applications in telecommunications and sensing*; Artech House; 1999.
39. Kashyap R. *Fiber Bragg Grating*. San Diego: Academic Press; 1999.
40. Othonos A. Fiber Bragg gratings. *Rev Sci Instrum.* 1997 Jul;68(12):4309-41.
41. Fresvig T, Ludvigsen P, Steen H, Reikeras O. Fibre optic Bragg grating sensors: An alternative method to strain gauges for measuring deformation in bone. *Med Eng Phys.* 2008 Jan;30(1):104-08.
42. Alberto N, Carvalho L, Lima H, Antunes P, Nogueira R, Pinto JL. Characterization of different water/powder ratios of dental gypsum using fiber Bragg grating sensors. *Dent Mater J.* 2011 30(5):700-6.
43. Bhalla A, Grewal N, Tiwari U, Mishra V, Mehla NS, Raviprakash S, et al. Shock absorption ability of laminate mouth guards in two different malocclusions using fiber Bragg grating (FBG) sensor. *Dent Traumatol.* 2013 Jun;29(3):218-25.
44. Davidson CL, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent.* 1997 Nov;25(6):435-40.

45. Silikas N, Eliades G, Watts DC. Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. *Dent Mater.* 2000 Jul;16(4):292-6.
46. El-Korashy DI. Post-gel shrinkage strain and degree of conversion of preheated resin composite cured using different regimens. *Oper Dent.* 2010 Mar-Apr;35(2):172-9.
47. Feilzer AJ, Dauvillier BS. Effect of TEGDMA/BisGMA ratio on stress development and viscoelastic properties of experimental two-paste composites. *J Dent Res.* 2003 Oct;82(10):824-8.
48. Cerutti F, Acquaviva PA, Gagliani M, Ferrari M, Mangani F, Depero LE, et al. Degree of conversion of dual-cure resins light-cured through glass-fiber posts. *Am J Dent.* 2011 Feb;24(1):8-12.
49. Arrais CA, Giannini M, Rueggeberg FA. Effect of sodium sulfinate salts on the polymerization characteristics of dual-cured resin cement systems exposed to attenuated light-activation. *J Dent.* 2009 Mar;37(3):219-27.
50. Miguel A, de la Macorra JC. A predictive formula of the contraction stress in restorative and luting materials attending to free and adhered surfaces, volume and deformation. *Dent Mater.* 2001 May;17(3):241-6.
51. Braga RR, Boaro LC, Kuroe T, Azevedo CL, Singer JM. Influence of cavity dimensions and their derivatives (volume and 'C' factor) on shrinkage stress development and microleakage of composite restorations. *Dent Mater.* 2006 Sep;22(9):818-23.

ANEXO A

Aprovação do projeto pela Comissão de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Ponta Grossa. COEP - UEPG

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Estudo das deformações de cimentos resinosos utilizados na fixação de pinos intrarradiculares por meio de sensores de fibra óptica

Pesquisador: Osnara Maria Mongruel Gomes

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 08903112.6.0000.0105

Instituição Proponente: Universidade Estadual de Ponta Grossa

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 159.525

Data da Relatoria: 29/11/2012

Apresentação do Projeto:

Trata-se de estudo "in vitro" utilizando dentes caninos do banco de dentes humanos da UEPG para observar se existem diferenças entre as deformações que ocorrem no canal radicular in loco dos cimentos resinosos o que pode prejudicar a retenção do material no interior do mesmo.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Estudar as deformações que ocorrem durante a polimerização in loco dos agentes de cimentação por meio de sensores de fibra ótica de Bragg

Objetivo Secundário:

- Mensurar as deformações do cimento resinoso, quando aplicadas cargas de compressão.
- Verificar qual dos cimentos resinosos apresenta maior deformação em 1h e 24h.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

Fratura durante o processamento das amostras ou fratura dos pinos intra-canais utilizados

Benefícios:

Benefícios em futuros tratamentos de canais intra radiculares de dentes, que receberão pinos intra

Endereço: Av. Gen. Carlos Cavalcanti, nº 4748 bl M sala 12

Bairro:

CEP: 84.030-900

UF: PR

Município: PONTA GROSSA

Telefone: (42-)3220-3108

Fax: (42-)3220-3102

E-mail: seccoep@uepg.br

radiculares, por meio da investigação das deformações dos cimentos resinosos na cimentação destes pinos intra-radiculares e na longevidade dos mesmos.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trabalho adequadamente delineado que não fere aspectos éticos de pesquisa envolvendo seres humanos e cujo objetivo é relevante para a prática clínica. A metodologia apresentada é executável porque a instituição apresenta infra-estrutura necessária para a realização dos testes propostos. O cronograma de execução está adequado ao período necessário para o estudo.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Folha de rosto e termo de doação o banco de dentes adequadamente preenchidos. Dispensa TCLE.

Recomendações:

Não há.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não há.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

PONTA GROSSA, 30 de Novembro de 2012

Assinador por:
ULISSES COELHO
(Coordenador)

Endereço: Av. Gen. Carlos Cavalcanti, nº 4748 bl M sala 12

Bairro: **CEP:** 84.030-900

UF: PR **Município:** PONTA GROSSA

Telefone: (42-)3220-3108 **Fax:** (42-)3220-3102 **E-mail:** seccoe@uepg.br