

Laís Rani Sales Oliveira Schliebe

**Análise da deformação de cúspide por micro-CT e de trincas por transiluminação em restaurações de resinas compostas incremental e bulk-fill em molares.**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia na Área de Clínica Odontológica Integrada.

Uberlândia,  
2017

Laís Rani Sales Oliveira Schliebe

**Análise da deformação de cúspide por micro-CT e de trincas por transiluminação em restaurações de resina composta incremental e bulk-fill em molares.**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia na Área de Clínica Odontológica Integrada.

Orientador: Prof. Dr. Carlos José Soares

Co-orientador: Prof. Dra. Aline Arêdes Bicalho

Banca examinadora:

Prof. Dr. Carlos José Soares

Prof. Dr. Paulo Cesar Freitas Santos-Filho

Prof. Dr. André Luis Faria e Silva

Uberlândia  
2017



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

- S344a  
2017      Schliebe, Laís Rani Sales Oliveira, 1991  
            Análise da deformação de cúspide por micro-CT e de trincas por  
transiluminação em restaurações de resina composta incremental e bulk-  
fill em molares / Laís Rani Sales Oliveira Schliebe. - 2017.  
            77 f. : il.
- Orientador: Carlos José Soares.  
            Coorientadora: Aline Arêdes Bicalho.  
            Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Odontologia.  
            Inclui bibliografia.
1. Odontologia - Teses. 2. Resinas compostas (Odontologia) - Teses.  
3. Polimerização - Teses. 4. Tomografia - Teses. I. Soares, Carlos José.  
II. Bicalho, Aline Arêdes, 1983. III. Universidade Federal de  
Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Odontologia. IV. Título.

---

CDU: 616.314



Ata da defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO junto ao Programa de Pós-graduação em Odontologia, Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia.

Defesa de: Dissertação de Mestrado Acadêmico nº310 – COPOD

Data: 13/02/2017

Discente: Laís Rani Sales Oliveira Schliebe Matrícula: 11512ODO009

Título do Trabalho: Análise da deformação de cúspide por micro-CT e de trincas por transluminação em restaurações de resinas compostas incremental e bulk-fill em molares.

Área de concentração: Clínica Odontológica Integrada.

Linha de pesquisa: Biomecânica aplicada à Odontologia.

Projeto de Pesquisa de vinculação: Biomecânica aplicada à Odontologia.

As quatorze horas do dia treze de fevereiro ano de 2017 no Anfiteatro Bloco 4L, Campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia, reuniu-se a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em janeiro 2017, assim composta: Professores Doutores: Paulo César de Freitas Santos Filho (UFU); André Luis Faria e Silva (UFS); e Carlos José Soares (UFU) orientador(a) do(a) candidato(a) Laís Rani Sales Oliveira Schliebe.


Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa Dr. Carlos José Soares apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor (a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos (às) examinadores(as), que passaram a arguir o (a) candidato (a). Após a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais.

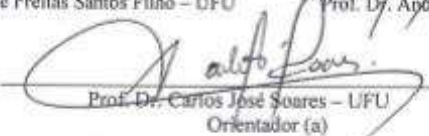
Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou o (a) candidato(a) AP provado(a).

Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos às 14:00 horas e 17:20 minutos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.

  
Prof. Dr. Paulo César de Freitas Santos Filho – UFU

  
Prof. Dr. André Luis Faria e Silva – UFS

  
Prof. Dr. Carlos José Soares – UFU  
Orientador (a)

## DEDICATÓRIAS

### **À Deus,**

Luz que guia meus passos, meu Salvador. Dele provém toda minha força e, pela fé no Seu amor e em Seus planos que sigo em frente.

### **Aos meus pais, Maria José e Luiz Carlos,**

meu porto seguro, meus maiores incentivadores, minha certeza de amor incondicional. Vocês são meu bem mais valioso. O que seria de mim sem toda a dedicação, apoio, educação e amor que me deram todos esses anos? Se hoje realizo mais esse sonho é porque vocês sonharam junto comigo, torceram por mim, acreditaram que eu seria capaz e, principalmente, entenderam e continuam entendendo minhas ausências pois sabem que é por um motivo lindo. Espero que sempre possam sentir orgulho de mim. Essa vitória é e sempre será nossa. Amo vocês.

### **Aos meus irmãos, Luiz Carlos, Igor, Irna, Hugo e Fábila,**

Meus companheiros de vida, mesmo que muitas vezes à distância. Vocês são meus amigos, incentivadores, verdadeiros presentes de Deus. Amo vocês. E amo do tamanho do universo. Isso inclui os sobrinhos lindos que vocês me deram de presente.

### **Ao meu marido, Brunno Schliebe,**

Meu amor, por esses quase 11 anos juntos, você acreditou no meu potencial mais do que eu mesma. Me incentivou sempre a ser melhor todos os dias. Lutou minhas lutas, sonhou meus sonhos, que hoje também são nossos. E por tudo isso, por todo amor, paciência, compreensão, carinho, companheirismo, cuidado, oração, enfim, por tudo mesmo, essa vitória é nossa. Obrigada por entender tantas ausências. Amo você.

**À toda minha família,** avós, tios, madrinhas, primos, sogros e cunhados. Amo todos vocês imensamente.

## **AGRADECIMENTOS**

**Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos José soares,**

Quando cheguei em Uberlândia o senhor me recebeu de braços abertos na sua família de pesquisa, me dando mais oportunidades do que poderia imaginar, depositando confiança, mesmo sem me conhecer. Cresci muito nesses dois anos de mestrado e graças ao senhor. Por isso sou muito grata e tenho comigo sempre a sensação de que posso ajudar mais e mais como forma de tentar retribuir.

Além de orientador, que ensina, corrige e dá direcionamentos, o senhor é um exemplo de profissional. E é esse exemplo, com todo amor pela pesquisa, seriedade, compromisso, dedicação total e competência em tudo que faz, que eu tento seguir todos os dias. O senhor me ensinou também a querer mais, me mostrou quantas possibilidades temos no mundo e que elas são sim possíveis de serem alcançadas, basta trabalhar duro e com dedicação.

Serei sempre grata por todo incentivo, oportunidades, confiança, apoio, paciência, disponibilidade, preocupação e amizade. Tenho muito orgulho de ser sua orientada e poder fazer parte do Biaor.

Obrigada pela oportunidade de desenvolver esse trabalho tão lindo, que me trouxe novos desafios e abriu meus horizontes. O senhor acreditou que eu seria capaz e por esse motivo eu também acreditei! Cada novo resultado era motivo pra comemorar e querer seguir em frente. Ver esse trabalho concluído é uma alegria imensa para mim. Que nesses novos 4 anos tenhamos outros projetos tão gratificantes quanto esse e que eu possa aprender mais e mais com o senhor. Muito obrigada, professor. Por tudo.

**À Prof. Dra. Aline Arêdes Bicalho,**

Muito obrigada por toda co-orientação e amizade nesses dois anos. Você também teve um papel fundamental em todo aprendizado. Serei eternamente grata por toda paciência, atenção e incentivo nesse período. Aprendi muito com você e me senti sempre muito querida e cuidada. Desde a primeira vez que nos encontramos, antes do Mestrado começar, já sentia que você seria especial

nessa trajetória! Espero continuar aprendendo, convivendo, sorrindo, absorvendo um pouco dessa sabedoria e calma, tendo a sua companhia. Você é muito querida e só te desejo sucesso e coisas boas na vida. Podes contar comigo sempre.

**Ao Prof. Dr. Crisnicaw Veríssimo,**

Aprendi tanto com você, pena não ter tido mais tempo pra tentar pegar mais um pouquinho desse seu conhecimento pra mim. Muito obrigada pela paciência ao ensinar, pelas críticas que sempre foram construtivas, por toda ajuda, pela amizade e parceria de sempre. Sua amizade foi mais um dos presentes que o mestrado me trouxe e torço muito pelo seu sucesso e felicidade.

**À Prof. Dra. Priscilla Soares,**

Por toda ajuda durante o desenvolvimento do trabalho. Suas contribuições foram essenciais. Obrigada pelas conversas, risadas, carinho e por me receber de portas abertas em sua casa. Você é muito especial e espero continuar aprendendo sempre com você.

**Aos professores do Departamento de Dentística da UFU,**

Todos vocês que direta ou indiretamente contribuíram para todo o aprendizado nesses dois anos. À professora Gisele Silva pelos ensinamentos durante o projeto Clarear, pelas conversas sempre tão maduras e sinceras e por todas as contribuições valiosas a este trabalho durante o Exame de Qualificação. Ao professor Paulo Vinícius Soares por lá atrás ter apresentado a UFU, ao programa e ter feito a ponte de comunicação com o professor Carlos Soares.

**Aos professores dos demais departamentos da UFU,**

Que tantos ensinamentos e contribuições trouxeram no decorrer das disciplinas cursadas. Ao professor Alfredo Júlio Fernandes Neto, pelas conversas, risadas e pelo privilégio de ter convivido e aprendido com ele nesses dois anos. Ao professor Flávio Domingues por todo aprendizado e pelas excelentes contribuições ao trabalho durante o Exame de Qualificação.

**Aos professores da Universidade Federal do Maranhão,**

Que tanto contribuíram para minha formação acadêmica e para que eu me tornasse a Cirurgiã-dentista que sou. Trago no peito o orgulho de ser fruto da UFMA e a vontade imensa de retornar um dia. Agradeço em especial ao professor Breno Mont'Alverne, orientador da graduação que me proporcionou o primeiro contato com a pesquisa na Dentística e materiais dentários, área pela qual sou apaixonada. Professor, muito obrigada pelas várias oportunidades, por acreditar que eu seria capaz de chegar até aqui e pela amizade de sempre. Serei eternamente grata por tudo e espero sempre representar bem a Universidade de onde vim e os excelentes professores que tive ao longo dessa jornada.

**Ao pós-doutorando Tales Candido,**

Por todo auxílio nessa fase final e pelas contribuições valiosas ao trabalho durante o Exame de Qualificação.

**À Stella Braga,**

Amiga que a pesquisa trouxe e que continuará pra vida. Muito Obrigada por toda ajuda, apoio, parceria, conversas, incentivos. Vivemos tantas coisas nesses dois anos, aprendemos tanto, compartilhamos tanto que chega ser difícil escrever para você. Você foi minha família, uma verdadeira irmã nesses dois anos e sou muito grata por isso. Torço muito por você e sei que tens um futuro brilhante pela frente, ainda verei muito Braga SSL por aí, tenho certeza. Obrigada de coração.

**Às amigas, Monise Rodrigues, Gabriela Mesquita, Valessa Carvalho,  
Luciana Barcelos, Renata Afonso,**

Meninas, vocês foram anjos que Deus colocou em meu caminho. Conviver com vocês é certeza de risadas e um ambiente feliz. Saber que posso contar com vocês sempre e para tudo é reconfortante. Obrigada pelo ombro amigo, pelas ajudas, pela torcida e apoio. Todos os dias aprendo algo novo com vocês e

isso me faz querer ser uma pessoa melhor a cada dia. Estou aqui para tudo e desejo todo sucesso do mundo para vocês.

**À Maria Tereza Hordones,**

Por toda ajuda no trabalho, pela disponibilidade de sempre, pelas risadas compartilhadas nas horas de laboratório e pela amizade. Passar pela minha primeira experiência de co-orientação com você foi um verdadeiro presente dado pelo professor Carlos e um aprendizado muito grande. Você é uma pessoa iluminada, de coração enorme e extremamente dedicada. Continue lutando pelos seus sonhos e saiba que estou aqui para o que precisar. Seu sucesso é certo.

**Ao grupo Biaor,**

Nosso grupo é tão grande e tão família que preciso agradecer a extamente todos pois todos vocês têm um papel importante nessa história e contribuíram direta ou indiretamente para o aprendizado nesses dois anos. Professora Dra. Camila Moura, Andomar Bruno, Erick Cerda, Manuela Verdinelli, Natércia, Lílian Oliveira, Suely Cunha, Márcio Alex, Gabriel Bragança, Lyvia Xavier, Raíssa Ramos, Patrícia, João Vitor, Gabriela Leite, Taís, Igor Leão. Além de todos com os quais convivi mas já seguiram outros caminhos.

**Aos colegas da turma de mestrado e da pós-graduação,**

Pela companhia nesse dois anos, pelas alegrias compartilhadas e momentos divididos. Vocês tornaram o dia a dia mais divertido.

**Ao mestrando Rafael Resende,**

Mais um presente que a pesquisa me trouxe e que vai ficar pra vida toda! Preciso agradecer por toda a parceria, preocupação, cuidado, bons momentos compartilhados e pelo apoio de sempre nesses dois anos. Nossa amizade me faz muito bem e eu desejo tudo de melhor pra você. Sei que tens um caminho lindo pela frente pois és muito competente e dedicado, além de teres nascido para isso! Obrigada por tudo e podes contar sempre comigo.

**Aos demais amigos,**

Novos e antigos, ludovicenses e uberlandenses, muito obrigada! Pela amizade, que sei bem que são todas sinceras, carinho, cuidado e companheirismo. Todos têm um lugar muito importante em meu coração e em minha vida. Sinto saudades da convivência diária, mas fico feliz pois sei que todos estão crescendo e a amizade continua a mesma.

**À Universidade Federal de Uberlândia e Faculdade de Odontologia (FOUFU),**

Por todas as oportunidades concedidas nesse dois anos. Tenho muito orgulho de fazer parte desta Instituição.

**Aos funcionários da FOUFU,**

A todos os funcionários que contribuíram de diversas maneiras e com os quais tive o prazer de conviver. Em especial, seu Advaldo, que tanto ajudou nas fases iniciais sempre tão prestativo.

**Ao Programa de Pós-graduação da FOUFU,**

Representado pela pessoa do coordenador Professor Dr. Paulo César Simamoto Júnior, por todas as oportunidades que o Programa tem nos oferecido. Muito obrigada.

**Às secretárias da Pós-Graduação,**

Graça e Brenda, por toda paciência, atenção e carinho, desde a etapa de inscrição para seleção do mestrado, quando eu ligava infinitas vezes por dia, até hoje, quando temos que resolver qualquer coisa, por mais elaborada que ela seja. Pelas conversas animadas quando nos encontramos. Muito obrigada por tudo.

**Ao CPBio (Centro de Pesquisa de Biomecânica, Biomateriais e Biologia Celular da FOUFU),**



espaço físico onde foi possível realizar todas as etapas do trabalho.

**Aos técnicos do CPBio,**

Eliete e John Douglas, por todas as vezes que ajudaram a resolver as diversas questões referentes ao bom funcionamento do laboratório, pela companhia diária e pelas risadas compartilhadas. Muito obrigada.

**Ao CNPq e à FAPEMIG,**

Pela bolsa de mestrado fornecida durante os dois anos de pós-graduação e o apoio financeiro fornecido por meio de edital universal.

## EPÍGRAFE

*“Transportai um punhado de terra todos os dias e fareis uma montanha.”*  
(Confúcio)

## SUMÁRIO

|                       |    |
|-----------------------|----|
| LISTA DE ABREVIATURAS | 13 |
| RESUMO                | 15 |
| ABSTRACT              | 18 |
| 1. INTRODUÇÃO         | 20 |
| 2. PROPOSIÇÃO         | 24 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 26 |
| 4. RESULTADOS         | 50 |
| 5. DISCUSSÃO          | 57 |
| 6. CONCLUSÃO          | 63 |
| REFERÊNCIAS           | 65 |
| ANEXOS                | 71 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

% - Porcentagem  
 $\mu\text{S}$  – Unidade de microdeformação (microstrain)  
*et al.* – E colaboradores  
mm – Unidade de comprimento (milímetro)  
 $\text{mm}^2$  – Unidade de área (milímetro quadrado)  
 $\text{mm}^3$  – Unidade de área (milímetro cúbico)  
 $\text{mW/cm}^2$  – Unidade de irradiância (miliwatts por centímetro quadrado)  
Nº - Número  
°C – Unidade de temperatura (graus Celsius)  
P – Probabilidade  
 $\Omega$  – Unidade de resistência elétrica (Ohm)  
S – Unidade de tempo (segundo)  
Hz – Unidade de frequência (Hertz) x – Vezes  
CEP – Comitê de Ética em Pesquisa  
UFU – Universidade Federal de Uberlândia  
FOUFU – Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia  
micro-CT – Micro-tomografia computadorizada  
Z100 – Resina composta convencional Filtek Z 100  
XTRA – Resina *bulk-fill* X-tra fil  
Shr – Contração pós-gel das resinas compostas  
SG - Extensometria  
DC – Deformação de cúspide  
MOD – Cavidade classe II mésio-ocluso-distal  
LCU – Unidade de fotoativação, fonte de luz  
Cu - Cobre  
TEGDMA – Monômero de baixo peso molecular - dimetacrilato de trietilenoglicol  
UDMA – Monômero de alto peso molecular – Uretano dimetacrilato  
2D – Bidimensional  
3D - Tridimensional

Mp – megapixel

Nrecon – Software utilizado para reconstruir imagens de seção transversal a partir de imagens de projeção tomográfica

CtAn – Software de análise morfométrica

DATA VIEWER - software de visualização morfométrica

CTVOL – software de visualização e manuseio das imagens tridimensionais

KV – Kilovoltagem

Roi – Região de interesse.

ISO – mede a sensibilidade do sensor da luz da câmara fotográfica. Quanto menor o ISO, menor a sensibilidade da câmara à luz.

F – representação da abertura física do diafragma.

## **RESUMO**

---

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi propor um método para medir a deformação da cúspide utilizando tomografia micro-CT e a ocorrência e propagação de trincas em esmalte utilizando transiluminação de restaurações de resina composta inseridas incrementalmente ou em incremento único em molares. Vinte molares humanos receberam preparos de cavidade classe II MOD e foram restaurados com resina em incremento único (Xtrafil - XTRA) ou resina incrementalmente (Filtek Z100 - Z100). A contração pós-gel das resinas compostas utilizadas no estudo foi mensurada utilizando o método da Extensometria. As trincas no esmalte foram detectadas e mensuradas com auxílio do método de transiluminação e classificadas conforme sua localização e orientação. A deformação de cúspide foi mensurada por meio de novo protocolo, empregando micro-CT e, com as mesmas amostras, pelo método de extensometria. A contração pós-gel de Z100 foi superior a XTRA. A deformação de cúspide para Z100 foi superior do que para XTRA independentemente dos métodos utilizados. A cúspide lingual apresentou maior deflexão de cúspide do que a cúspide vestibular independentemente dos métodos avaliados. Foi encontrada alta correlação positiva ( $r = 0,78$ ) entre a deformação de cúspide medida pelos métodos de micro-CT e Extensometria. A expansão higroscópica recuperou significativamente a deformação de cúspide independentemente da resina composta e do tipo de cúspide. Nenhum dente mostrou trinca visível antes e depois do preparo cavitário. Z100 resultou em maior ocorrência de trincas com maior extensão que XTRA. As trincas foram predominantemente horizontais, localizadas na região correspondente à base da cavidade, envolvendo principalmente o centro e a região distal. Após expansão higroscópica, o tamanho das trincas em esmalte aumentou cerca de 17% para XTRA e 18% para Z100. Os métodos propostos utilizando micro-CT para avaliar a deformação de cúspide e a detecção de trincas no esmalte com auxílio da transiluminação provaram ser eficazes. A resina composta de incremento único testada apresentou diminuição dos efeitos negativos da contração de polimerização em comparação à resina composta na técnica incremental.

**Palavras-chave:** Polimerização; microtomografia computadorizada; resinas compostas; resinas bulk fill.



# ABSTRACT

---

## **ABSTRACT**

The purpose of this study was to measure cusp deformation using micro-computed tomography (micro-CT) and enamel crack propagation using transillumination of incremental or bulk-fill composite resin restorations in molars. Twenty human molars received Class II mesio-occlusal-distal cavity preparations and were restored with bulk-fill resin, X-tra fil (XTRA) or conventional composite, Filtek Z100 (Z100). The composite resins were tested for post-gel shrinkage using the strain gauge method. Enamel crack were detected using a standard transillumination method and classified. Cusp deformation was evaluated using the images obtained from a new micro-CT protocol and using strain-gauges method. Shr of Z100 was higher than XTRA. Cusp deformation of Z100 was higher than XTRA irrespective of measured methods. Lingual cusp had higher CD than buccal cusp irrespective of measured methods. Positive correlation ( $r = 0.78$ ) was found between cusp deformation measured by micro-CT and strain-gauge methods. Hygroscopic expansion recovered significantly the cusp displacement irrespective of composite resin and cusp type. No tooth demonstrated visible crack before and after cavity preparation. Z100 had more occurrence and larger cracks than XTRA. The crack tended to be horizontal, locate at the base of the cavity, involving mainly the center and the distal region. After hygroscopic expansion, the enamel crack size increased around 17% for XTRA and 18% for Z100. The proposed methods using micro-CT proved to be effective for evaluating the cusp deformation and the enamel crack detection using transillumination and might to help a development of new materials and techniques used in clinical practice. Bulk fill composite resin tested had lower negative effects of polymerization shrinkage than conventional composite resin.

**Key-words:** Polymerization; microcomputed tomography; composite resins; bulk fill composite resin.

# **INTRODUÇÃO**

---

## 1. INTRODUÇÃO

Resinas compostas são amplamente utilizadas devido a capacidade de se aderirem à estrutura dental, que resulta em conservação dessa estrutura e longevidade comprovada (Pallesen & Dijken, 2015; Heintze & Rousson, 2012). Apesar dos avanços nas técnicas e materiais, inclusive com o desempenho de resinas compostas de incremento único (Rosatto *et al.*, 2015; Dijken & Pallesen, 2016), as resinas compostas possuem ainda a limitação da contração de polimerização inerente ao material (Bicalho *et al.*, 2014a). Resinas convencionais precisam ser inseridas e fotoativadas em incrementos oblíquos com até 2 mm como meio de reduzir as tensões de contração e para garantir boas propriedades mecânicas (Bicalho *et al.*, 2014a; Bicalho *et al.*, 2014b). Por outro lado, as resinas compostas *bulk-fill* podem ser utilizadas em incrementos de até 5 mm de profundidade, alcançando propriedades mecânicas satisfatórias em toda extensão e com menor geração de tensões de contração do que as resinas convencionais (Rosatto *et al.*, 2015; Schliebe *et al.*, 2016). As resinas de incremento único podem ser classificadas como resina *bulk-fill* de consistência regular (Ilie & Stark, 2014) ou fluida (*flow*), que requer o recobrimento de resina convencional de maior viscosidade (Moorthy *et al.*, 2012).

A contração de polimerização pode ser afetada por vários fatores, como composição do material (Moorthy *et al.*, 2012), configuração da cavidade ou fator-C (Wang & Chiang, 2016) e a técnica restauradora (Bicalho *et al.*, 2014a). As tensões residuais geradas pela contração durante a polimerização podem causar deformação de cúspide e propagação de trincas no esmalte (Moorthy *et al.*, 2012). A sensibilidade pós-operatória, a microinfiltração, descoloração marginal, cárie recorrente, complicações da polpa e fratura dentária são outros sinais clínicos frequentes (Kramer *et al.*, 2015; Pallesen & Dijken, 2015; Dijken & Pallesen, 2016) e que podem estar associados ao efeito das tensões de contração geradas durante a polimerização (Soares *et al.*, 2013; Bicalho *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2015). Estas ocorrências têm sido descritas como algumas das prováveis causas de substituições de restaurações nas últimas décadas (Alvanforoush *et al.*, 2016). Por outro lado, ao entrar em contato com a

saliva, ocorre absorção de água pela resina com consequente expansão volumétrica que resulta em relaxamento das tensões (Suiter *et al.*, 2016). A absorção de água pelo material restaurador, denominada expansão higroscópica, pode compensar alguns efeitos causados pela contração de polimerização (Meriwether *et al.*, 2013). Embora este fator seja positivo para o complexo dente-restauração, se a expansão higroscópica for superior à contração de polimerização, serão geradas tensões de expansão (Park & Ferracane, 2014). Além disso, a água pode favorecer a propagação de trincas e potencializar as microtrincas em esmalte.

Vários dispositivos e métodos tem sido descritos para analisar a contração de polimerização (Kaisarly & Gezawi, 2016), seja volumétrica (Naoum *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2012) ou linear (Sakaguchi *et al.*, 1997; Loguercio *et al.*, 2004; Schliebe *et al.*, 2016). A medição da deformação de cúspide é um boa estratégia para analisar e prever efeitos da contração em dentes posteriores restaurados com resina composta (Meriwether *et al.*, 2013; Rosatto *et al.*, 2015), porque reflete claramente o nível de tensões geradas internamente na cavidade (Francis *et al.*, 2015). Medir a deformação de cúspide sob carga oclusal, seja por análise de deslocamento linear ou associado ao método de extensometria, também tem sido utilizado (Bicalho *et al.*, 2014a; Jantararat *et al.*, 2001) e trazem informações importantes para comparar técnicas e materiais restauradores.

O uso de metodologias não-destrutivas torna-se oportuno e favorece a combinação de potencialidades de métodos de investigação para se obter diferentes perspectivas sobre os efeitos da contração (Kaisarly e Gezawi, 2016). A análise de geração e propagação de trincas está diretamente relacionada com a deflexão de cúspide e a utilização das mesmas amostras facilita a interpretação e interrelação dos resultados (Rosatto *et al.*, 2015).

O micro-CT adquire imagens em duas e três dimensões com alta resolução espacial que permite a visualização da adaptação interna do material restaurador às estruturas dentárias (Hirata *et al.*, 2015). Este método tem demonstrado sua eficácia na análise de deslocamento de vetores de contração de polimerização (Chiang *et al.*, 2010); na avaliação da formação de fendas utilizando infiltração de nitrato de prata sem destruição das amostras (Kim &

Park, 2014; Carrera *et al.*, 2015). Este método também permite quantificar a contração volumétrica de polimerização dos compósitos (Hirata *et al.*, 2015; Algamaiah *et al.*, 2017), e caracterizar o padrão e volume da contração de polimerização (Sampaio *et al.*, 2017). Apesar das diversas aplicações do micro-CT, de acordo com o conhecimento dos autores, ainda não há estudos que analisem a deformação de cúspide e o efeito da expansão higroscópica nas restaurações de resinas compostas de molares de classe II empregando esta metodologia. Portanto, parece oportuno a busca por um método de medição da deformação de cúspide que utilize micro-CT e softwares dedicados e ainda por um processo de análise da propagação de trincas em esmalte causadas pela contração de polimerização e expansão higroscópica empregando a transiluminação de restaurações convencionais e *bulk-fill* em molares.

# PROPOSIÇÃO

---

## 2. PROPOSIÇÃO

Os objetivos deste estudo “*in vitro*” foram:

- desenvolver e avaliar método de medição da deformação de cúspide utilizando o micro-CT;
- correlacionar os dados obtidos com o método de medição de deformação de cúspide por micro-CT com os dados do método de extensometria;
- avaliar a ocorrência e depois a propagação de trincas em esmalte causadas pela contração de polimerização e expansão higroscópica com auxílio do método de transiluminação.



# **MATERIAIS E MÉTODOS**

---

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Delineamento experimental:

Variáveis respostas, unidades experimentais, fatores em estudo e forma de análise:

1. Contração Pós-gél (%):

*Unidade experimental:* amostras de resina composta (n=10) .

*Fator em estudo:* Resina composta (2 níveis).

*Forma de análise dos dados:* teste *t*-Student para comparar contração pós-gel dos dois compósitos testados ( $\alpha = 0,05$ ).

2. Deformação de cúspide durante procedimento restaurador ( $\mu S$ ):

*Unidade experimental:* molares inferiores com preparo MOD restaurados com resina composta (n=10)

*Fatores em estudo:* Resina composta (2 níveis). Cúspide (2 níveis).

*Forma de análise dos dados:* Análise de Variância em dois fatores para comparar o efeito da resina composta, tipo de cúspide para deformação de cúspide medida usando extensometria ( $\alpha = 0,05$ ).

3. Deformação de cúspide por micro-CT ( $mm^3$ ):

*Unidade experimental:* molares inferiores com preparo MOD restaurados com resina composta (n=5).

*Fatores em estudo:* Resina composta (2 níveis). Cúspide (2 níveis).

*Forma de análise dos dados:* Análise de Variância em dois fatores para comparar o efeito da resina composta, tipo de cúspide para deformação de cúspide medida usando micro-CT ( $\alpha = 0,05$ ).

4. Correlação entre os métodos de medição da deformação de cúspide

*Fatores em estudo:* método de Extensometria x método de Mico-CT.

*Forma de análise dos dados:* Correlação de Pearson.

5. Deformação no Micro-CT x Expansão higroscópica:

*Unidade experimental:* molares inferiores com preparo MOD restaurados com resina composta (n=5).

*Fatores em estudo:* Momento da condição experimental (2 níveis).

*Forma de análise dos dados:* Análise percentual.

#### 6. Tamanho das trincas em esmalte por transiluminação (mm):

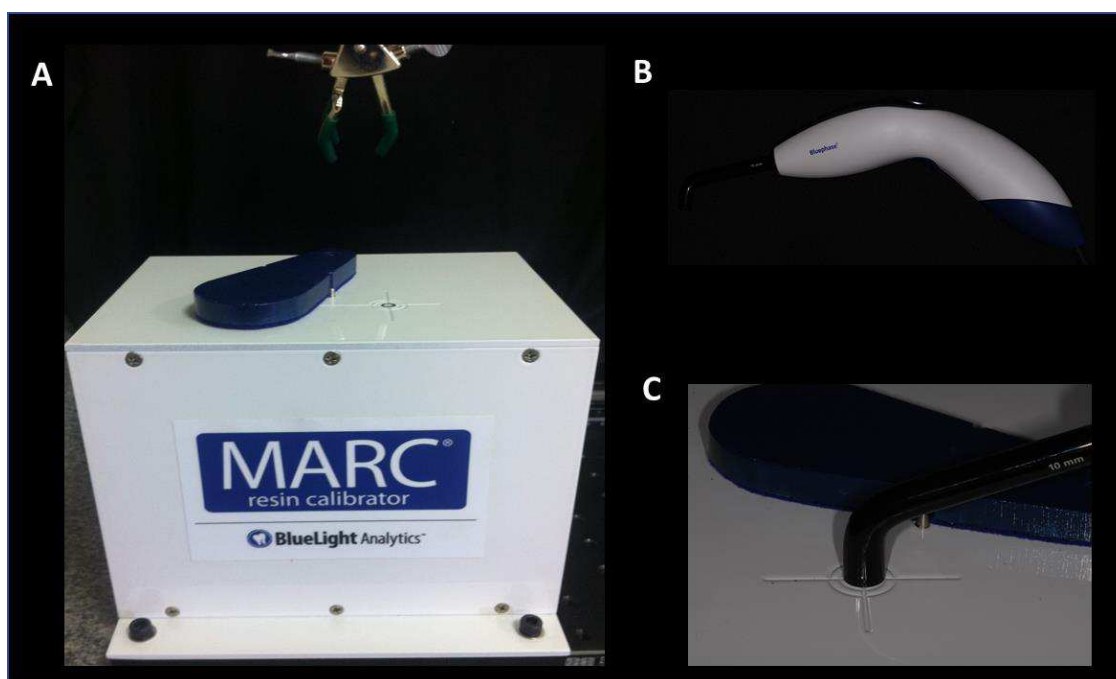
*Unidade experimental:* molares inferiores com preparo MOD restaurados com resina composta (n=10).

*Fatores em estudo:* Resina (2 níveis), Cúspide (2 níveis), momento (2 níveis).

*Forma de análise dos dados:* Análise de Variância em três fatores para comparar o efeito da resina composta, tipo de cúspide e o momento da condição experimental para o tamanho das trincas ( $\alpha = 0,05$ ) .

### 3.2 Caracterização da fonte de luz – Irradiância e espectro irradiante

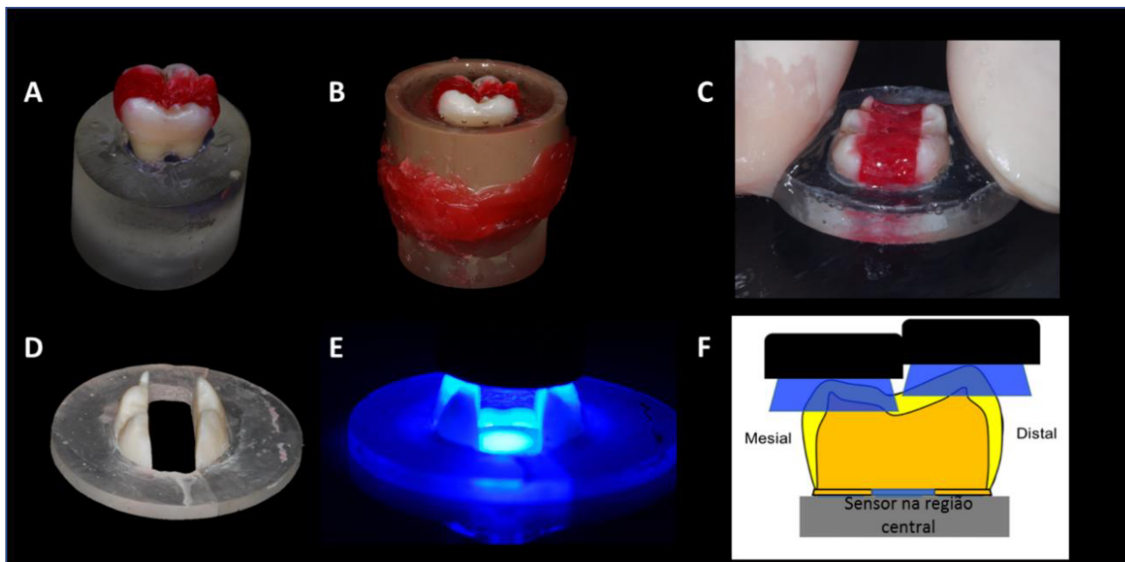
Mediu-se a irradiância ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ) e o espectro Irradiante ( $\text{mW}/\text{cm}^2/\text{nm}$ ) da fonte de luz BluePhase G2 (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) utilizando sensor MARC® Resin Calibrator (BlueLight Analytics, Halifax, NS, Canada). Inicialmente, foi medida a energia luminosa total emitida pela ponta da fonte de luz fotoativadora (LCU) colocada diretamente na superfície do sensor “top” do espectrofotômetro portátil e então a luz foi ativada por 20 s (Bucuta & Ilie, 2014) (Figura 1).



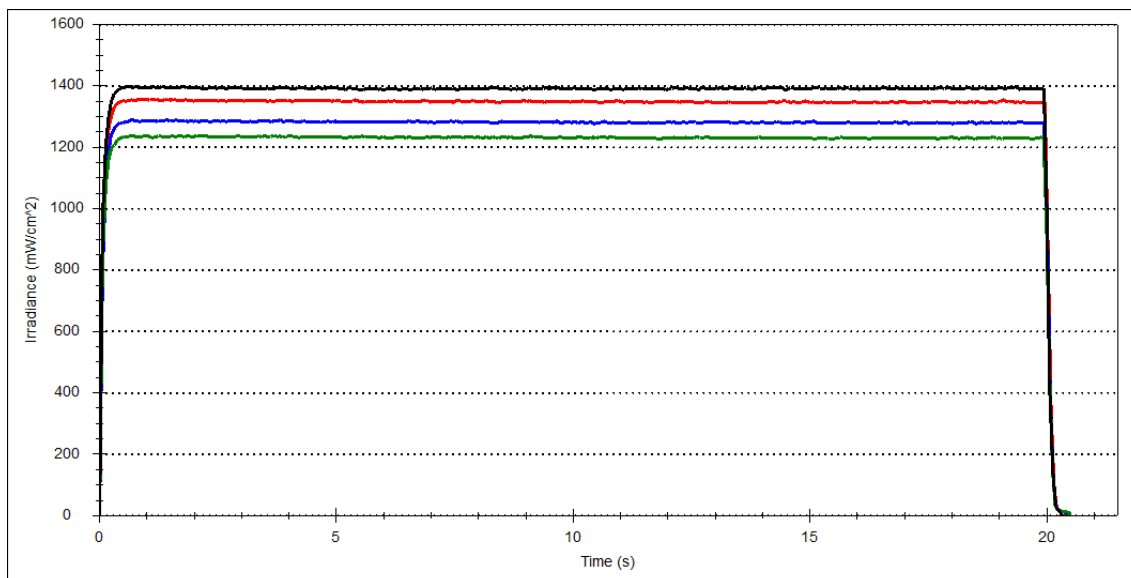
**Figura 1:** A – Dispositivo Marc resin Calibrator para medição da irradiância e espectro irradiante da LCU; B – Fonte de luz BluePhase G2; C – Ponta ativadora da fonte de luz posicionada sobre o sensor “top”.

Para calcular o efeito da atenuação da luz em posição, da distância da base do preparo à ponta de cúspide, um dente molar com dimensões representativas da média dos dentes selecionados recebeu a cavidade MOD e foi incluído em resina de poliestireno. A raiz do dente foi removida, expondo a base da cavidade, distando 4,0 mm da ponta de cúspide. As medições foram realizadas posicionando a ponta da LCU sobre a cúspide e o sensor localizado no centro do fundo da cavidade. A posição da LCU variava de mesial para distal,

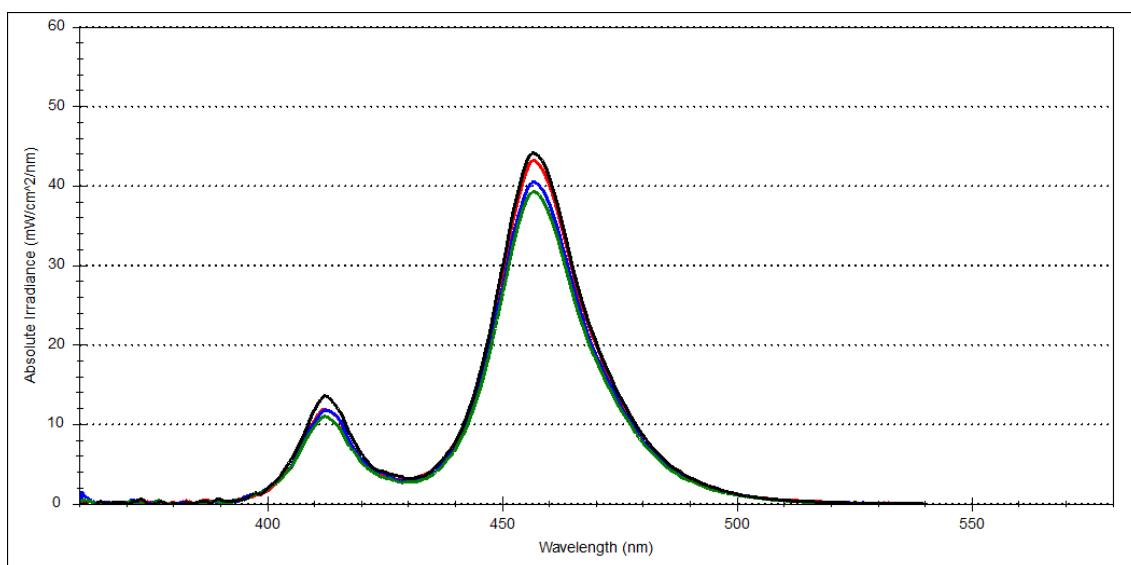
assim como foi realizada a fotoativação das resinas no decorrer do trabalho (Figura 2). Após as medições, os valores de irradiância (Figura 3) e os espectros irradiantes (Figura 4) obtidos no programa foram plotados em forma de gráficos para melhor visualização.



**Figura 2:** A – Dente selecionado com preparo MOD representativo e preenchido com cera utilidade; B – Dente após posicionado em tubo pvc e vertido resina de poliestireno na coroa até próximo a região de ponta de cúspide; C – Após seccionamento, amostra sendo lixada para planificação da base; D – Amostra pronta para o teste, com seccionamento em base de cúspide e preparo com dimensão padrão de 4 mm de profundidade; E – Amostra posicionada sobre o sensor “top” do dispositivo Marc e sendo fotoativada com LCU BluePhase G2; F – Esquema explicativo da forma de fotoativação do teste: ponta da LCU na região distal e mesial com sensor posicionado na região central do preparo.



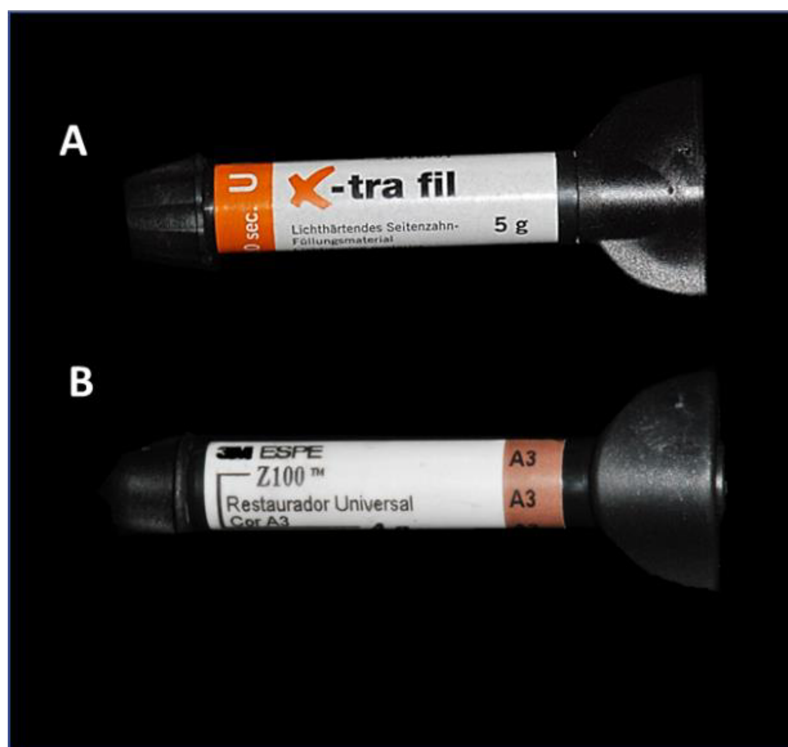
**Figura 3:** Irradiâncias da fonte de luz nos diferentes momentos: Preto – ponta ativa da LCU em contato com o sensor do MARC; Vermelho – Quando a ponta da LCU estava posicionada sobre a cúspide na região central, assim como o sensor na base do preparo; Azul – Ponta da LCU na cúspide distal; Verde – Ponta da LCU na cúspide mesial.



**Figura 4:** Espectros irradiantes da fonte de luz nos diferentes momentos: Preto – ponta ativa da LCU em contato com o sensor do MARC; Vermelho – Quando a ponta da LCU estava posicionada sobre a região central da amostra, assim como o sensor na base do preparo; Azul – Ponta da LCU na cúspide distal; Verde – Ponta da LCU na cúspide mesial.

### 3.3 Contração pós gel das resinas compostas

A contração pós-gel foi determinada usando o método da extensometria (Sakaguchi *et al.*, 1997). Foram testados dez espécimes para cada tipo de material restaurador: resina bulk-fill, XTRA (X-tra fil, VOCO, Cuxhaven, Germany) e resina incremental, Z100 (Z100 Restorative, 3M ESPE, St. Paul, MN USA) (Figura 5) (Tabela 1). Os materiais foram inseridos em porções de resina de 2 mm x 2 mm com 1 mm de espessura, pelo mesmo operador, sobre o extensômetro bidirecional (CEA-06-032WT-120f) (Figura 6) que mediu as tensões de contração em duas direções perpendiculares x e y. Uma placa de aquisição de dados condicionadora de tensão (ADS0500IPg) converteu as mudanças de resistência elétrica no extensômetro em relação às mudanças de tensão através de um circuito de  $\frac{1}{4}$  de ponte com uma resistência de referência interna (120  $\Omega$ ). Os valores de deformação medidos ao longo dos dois eixos foram calculados em média, uma vez que as propriedades do material eram homogêneas e isotrópicas numa escala macro. Os materiais foram ativados por luz utilizando a mesma unidade fotoativadora BluePhase G2 durante 20 segundos, com a ponta de luz mantida a distância de 1 mm da superfície do compósito. Os valores de deformação foram recolhidos durante 10 minutos após concluída a ativação por luz. Os dados foram exportados para planilha em Excel e estes convertidos em arquivo.txt. A deformação média de contração, que é a contração pós-gel, foi convertida em percentagem e multiplicada por três para obter o valor de contração volumétrico (Bicalho *et al.*, 2014a).

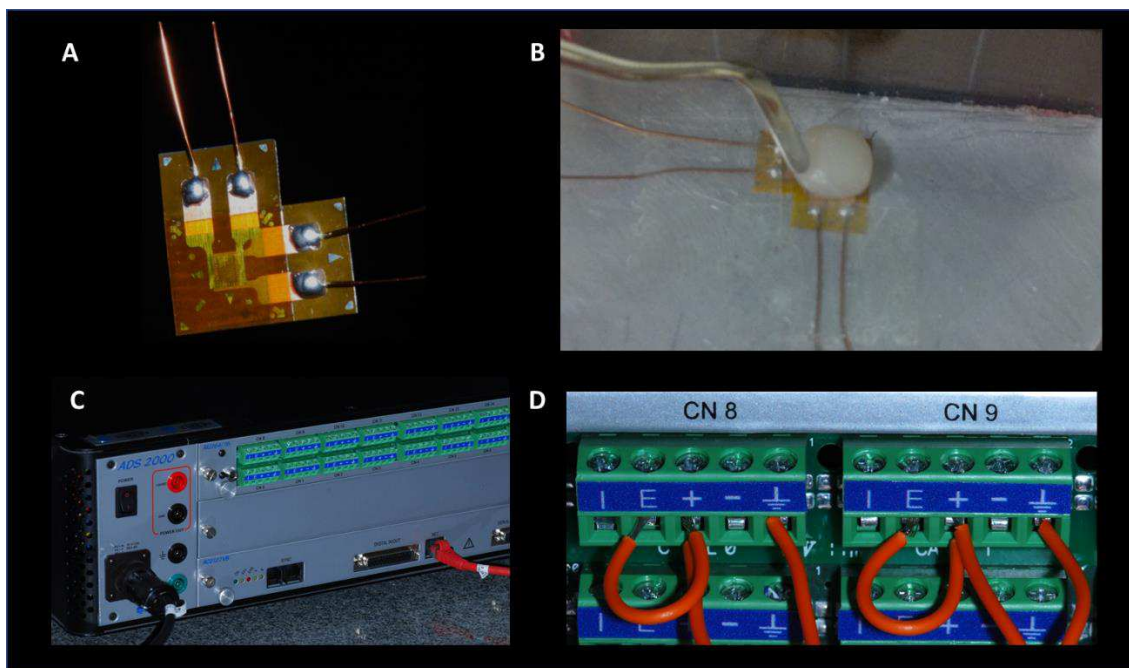


**Figura 5.** Resinas utilizadas no estudo, sendo uma bulk-fill (A) e uma convencional (B).

**Tabela 1:** Informações das resinas compostas fornecidas pelos fabricantes.

| Material  | Código | LOTE     | Cor       | Tipo do compósito            | Tamanho do incremento e tempo de ativação | Matriz orgânica        | Carga                                 | % carga peso/vol |
|-----------|--------|----------|-----------|------------------------------|---|------------------------|---------------------------------------|------------------|
| Z100      | Z100   | 472109   | A3        | Compósito microhibrido       | Até 2.0 mm – 40 segundos                  | Bis-GMA, TEG-DMA       | Zirconia e sílica                     | 85/66            |
| X-tra Fil | XTRA   | 15300244 | Universal | Compósito Bulk-fill em pasta | 4.0 mm – 20 segundos                      | Bis-GMA, UDMA, TEG-DMA | Vidro de bário-boro-alumina-silicato. | 86/70            |





**Figura 6:** A – Extensômetro bidirecional (120  $\Omega$ ); B – Inserção do material restaurador sobre o extensômetro; C – Placa de aquisição de dados; D – Ligação de  $\frac{1}{4}$  de ponte utilizada no teste.

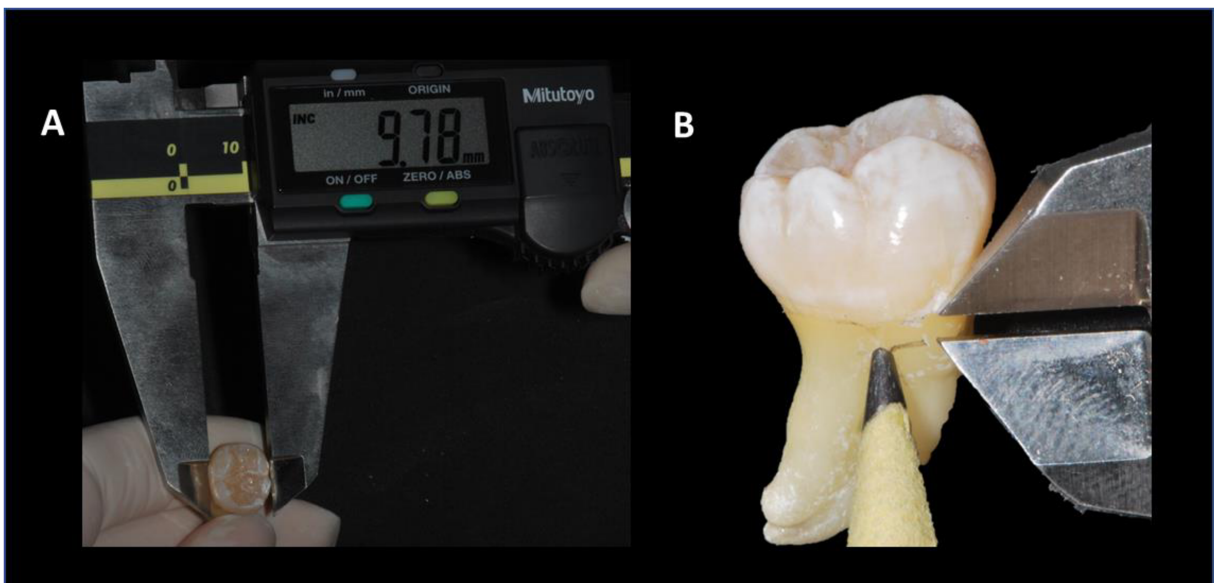
### 3.4 Seleção dos dentes e preparo das amostras

Foram utilizados vinte terceiros molares humanos inferiores hígidos com características anatômicas próxima às de primeiros molares inferiores. Os dentes deveriam estar livres de cárie, trincas, defeitos estruturais ou restaurações (Projeto aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de Uberlândia CEP/UFU: 1.372.102) (Figura 7).



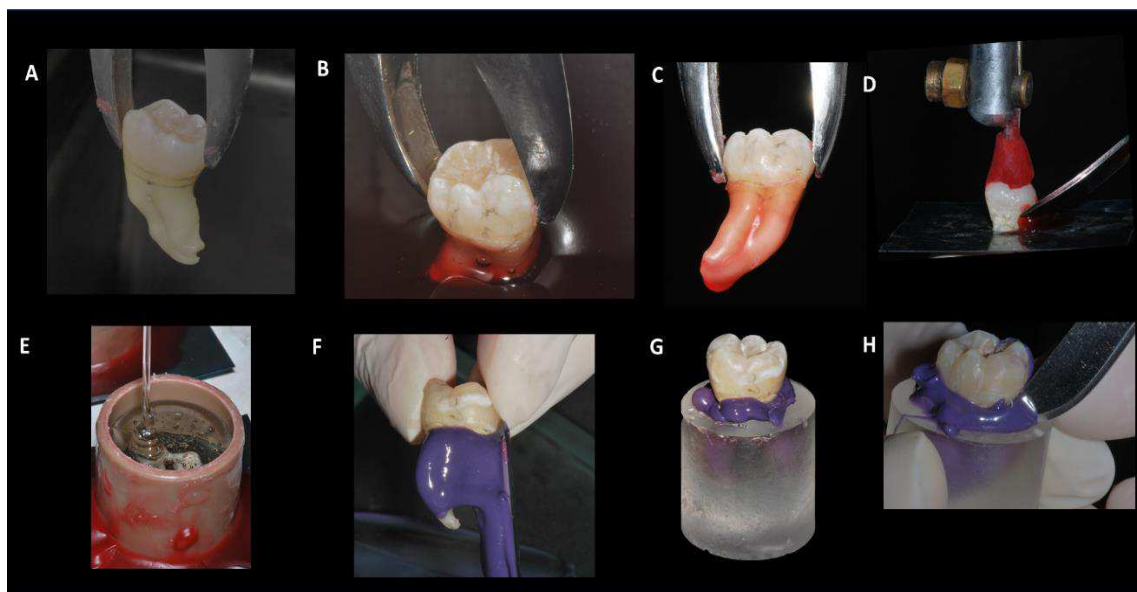
**Figura 7:** Molares inferiores selecionados para o desenvolvimento do estudo.

No processo de seleção, as dimensões de cada dente foram mesuradas empregando paquímetro digital (Absolute AOS, Mitutoyo Sul Americana Ltda., Suzano, SP, Brasil) e a variabilidade de dimensões foram controladas para padronizar as amostras (Figura 8). Os dentes foram selecionados para ter uma largura intercuspíde com um desvio máximo de 10% da média determinada. Cinco medidas da coroa foram feitas para calcular seus volumes: altura das cúspides vestibular e lingual, distância intercúspide, largura vestibular / lingual e mesio / distal. O volume da coroa medido antes do preparo ( $\text{mm}^3$ ) dos dentes alocados aleatoriamente para XTRA ( $762,9 \pm 183,4$ ) e para Z100 ( $748,0 \pm 107,2$ ) foram estatisticamente semelhantes (Teste T:  $P = 0,827$ ).



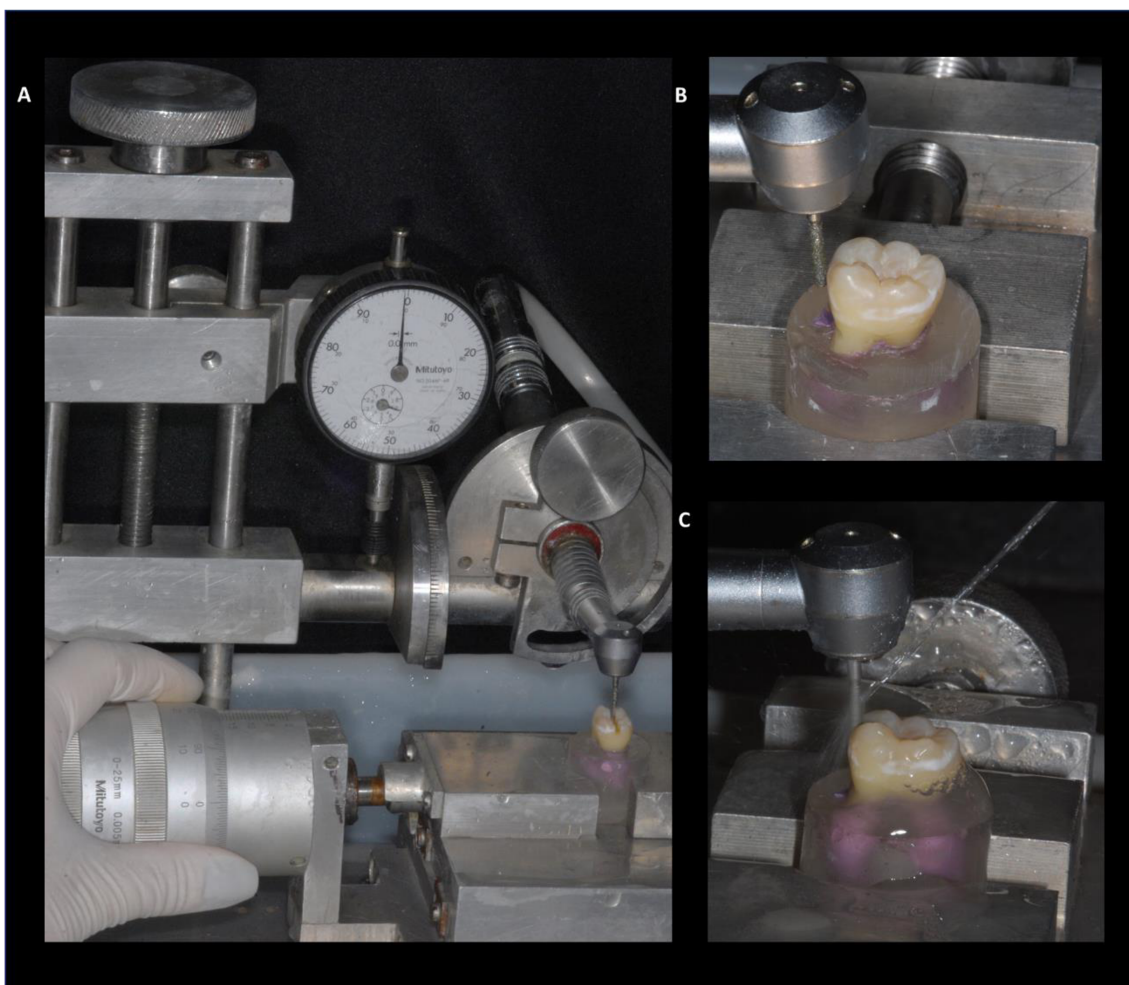
**Figura 8:** A – Medição da coroa dentária; B – Marcação da distância de 2 mm abaixo da junção cimento-esmalte.

Com objetivo de manter a liberdade de movimento, simulando melhor o deslocamento da raiz e da coroa, as raízes foram cobertas com camada de 0,3 mm de material de impressão a base de poliéter (Impregum F, 3M-ESPE, St Paul, MN EUA). Este processo visou simular o ligamento periodontal e as amostras foram incluídas em resina de poliestireno (Cristal, Piracicaba, SP) até 2 mm abaixo da junção cimento-esmalte para simular o osso alveolar (Soares *et al.*, 2005) (Figura 9).



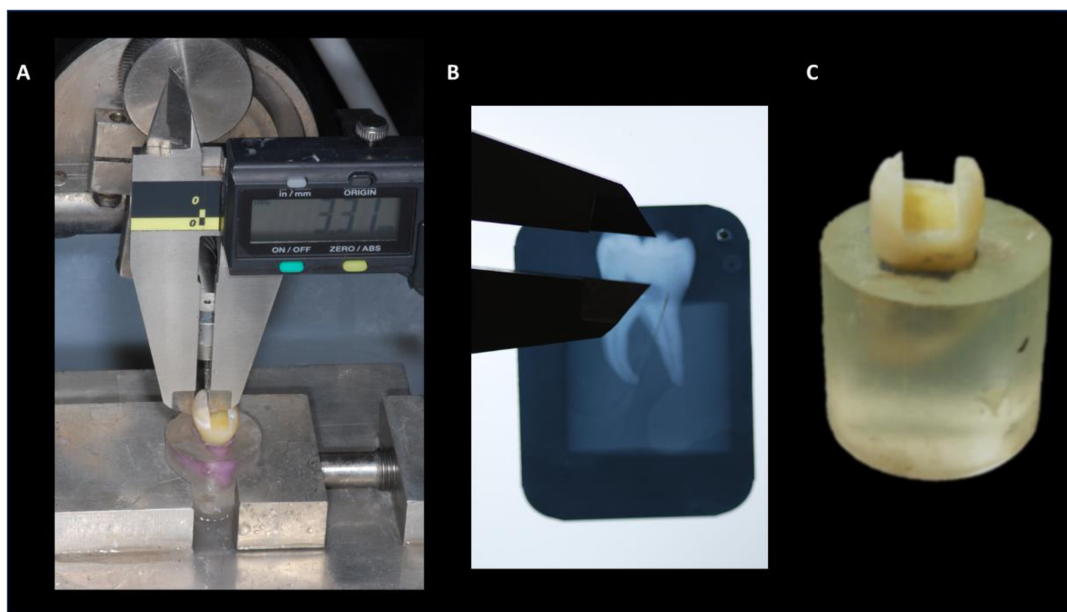
**Figura 9:** A – Dente demarcado com o limite da inclusão sendo levado para colocar a cera; B – Dente com as raízes mergulhadas em cera; C – Simulação da espessura do ligamento periodontal com cera; D – Amostra posicionada no centro da película radiográfica, em delineador para confirmação da posição do dente durante inclusão; E – Fixação com cera do cilindro de PVC e resina de poliestireno vertida no cilindro; F – Inserção do material de moldagem à base de poliéter na raiz para simular o ligamento periodontal; G – Dente incluído após material de moldagem tomar presa; H – Remoção dos excessos do material.

As cavidades MOD foram preparadas de forma similar em todos os espécimes. Para ajustar a dimensão vestibulo/lingual do preparo ao volume coronário de cada dente a cavidade foi preparada com abertura de 4/5 da distância intercuspídia e 4 mm de profundidade da caixa oclusal com ponta diamantada #3099 (KG Sorensen, Cotia, SP) em máquina padronizadora de preparo de cavidades (Soares *et al.*, 2008) (Figura 10).



**Figura 10:** A – Máquina padronizadora de preparo de amostra com dente posicionado; B – Broca posicionada no centro da coroa para início do preparo; C – Preparo sendo realizado sob irrigação de água filtrada.

A espessura de cúspide remanescente de cada cúspide foi medida durante o preparo e a posição dos cornos pulpares foi avaliada por meio de raio X, na tentativa de padronizar os preparos para todos os dentes (Figura 11).



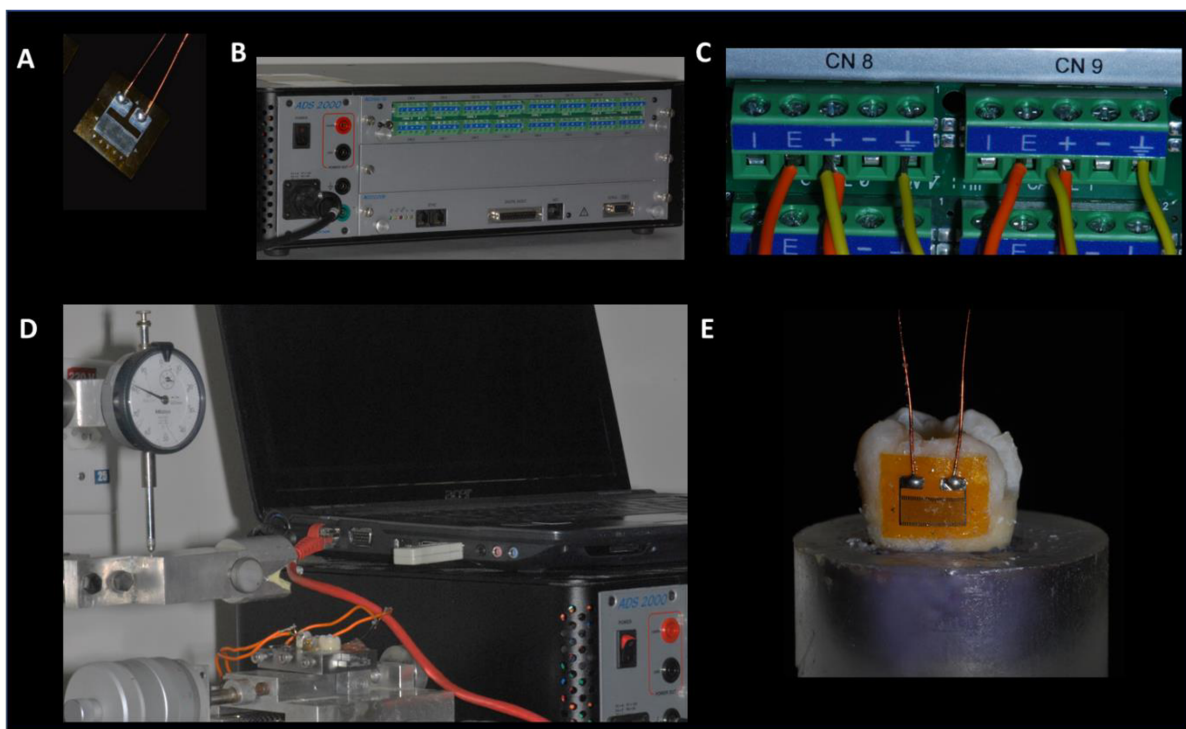
**Figura 11:** A – Medição da quantidade remanescente de estrutura dental durante o preparo; B – Avaliação da distância dos cornos pulpares em imagem radiográfica; C – Preparo MOD finalizado.

Os dentes foram restaurados por cada resina composta, medindo a deformação de cúspide por meio de extensometria e em seguida, os mesmos dentes foram utilizados para detectar e mensurar trincas em esmalte utilizando a transiluminação. Cinco dentes por grupo foram selecionados aleatoriamente para avaliar a deformação da cúspide usando micro-CT.

### **3.5 Deformação de cúspide utilizando extensometria**

A deformação de cúspide foi medida utilizando extensômetros unidirecionais (PA-06-060CC-350L, Excel Sensores, Embú, SP, Brasil), com resistência elétrica interna de 350 V, um fator de sensibilidade de 2,14 e tamanho de grelha de 21,02 mm<sup>2</sup> (Figura 12).



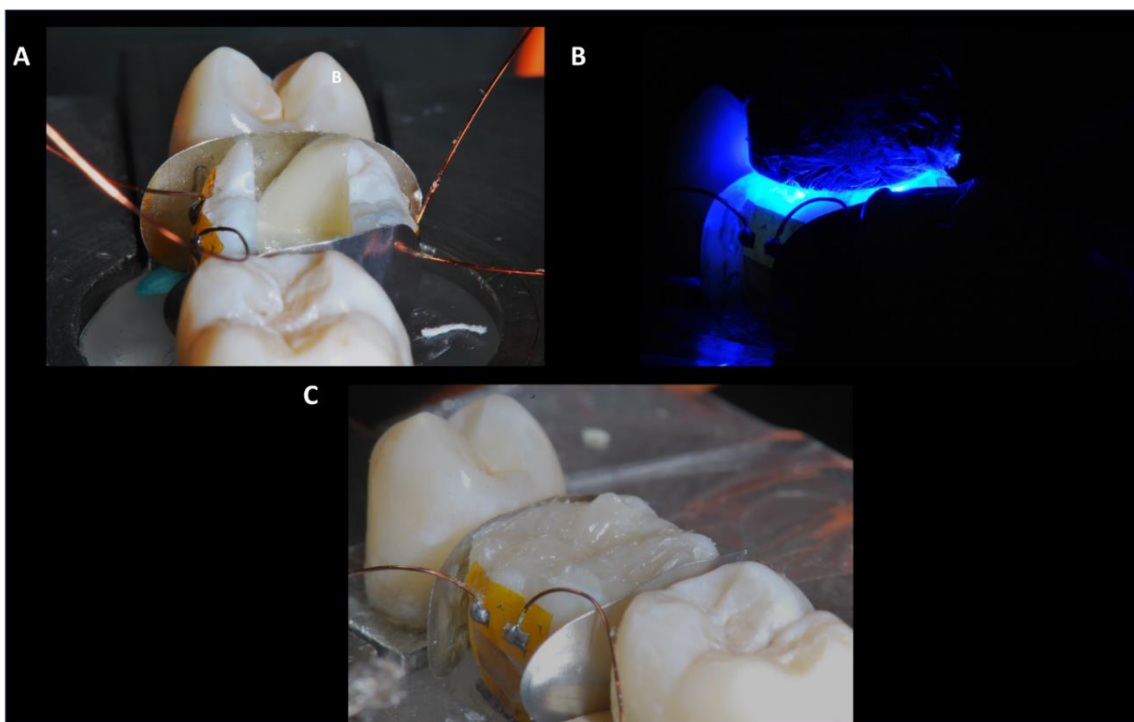


**Figura 12:** A – Extensômetro unidirecional (350  $\Omega$ ); B – Placa de aquisição de dados; C – Ligação de  $\frac{1}{2}$  ponte utilizada no teste; D – Dente posicionado durante teste com extensômetro conectado à placa de extensometria e esta conectada ao computador; E – Extensômetro colado na cúspide, na direção da base de preparo.

Após o preparo da cavidade, os dentes foram hibridizados por meio de condicionamento seletivo do esmalte por 30 segundos com ácido fosfórico a 37% (Fusion Duralink 37%, Angelus, Londrina, PR, Brasil). Após lavagem com spray de água por 30 segundos, secou-se a cavidade com papel absorvente e aplicou-se o sistema auto-adesivo de dois passos (Clearfil SE Bond, Kuraray, Japão). Os extensômetros foram fixados na região onde um estudo anterior indicou a presença de maior concentração de tensões de polimerização utilizando modelo de elementos finitos (Bicalho *et al.*, 2014a). Dois extensômetros foram colocados na superfície externa das cúspides vestibular e lingual, alinhados à direção da base do preparo MOD (Figura 12). Além disso, dois extensômetros foram fixados a outro dente com o mesmo preparo de cavidade (amostra passiva) para compensar os desvios dimensionais devido a efeitos de temperatura. Os extensômetros foram colados com adesivo à base de

cianoacrilato (Super Bonder, Loctite, Itapeví, SP, Brasil) e conectados a um dispositivo de aquisição de dados (ADS2000, São Paulo, SP) (Bicalho *et al.*, 2014b) (Figura 12).

As restaurações foram feitas com uma das resinas compostas empregadas na caracterização da contração pós-gel. A resina de incremento único *bulk-fill* - XTRA, foi usada em incremento único de 4,0 mm de espessura preenchendo área de dentina e esmalte. As cavidades no grupo Z100 foram preenchidas em oito incrementos. Os compósitos foram ativados por luz utilizando uma LCU BluePhase G2 (Ivoclar Vivadent) de acordo com as instruções do fabricante: 20 segundos para XTRA em mesial / distal e 40 s para cada incremento de Z100. As amostras foram restauradas em dispositivo criado para simular a presença de dentes adjacentes para permitir contato interproximal durante a restauração (Rosatto *et al.*, 2015) (Figura 13). A deformação de cúspide foi adquirida a 4 Hz durante os procedimentos de restauração e continuou por 10 minutos após a fotoativação do último incremento (AqDados 7.02 e software de aquisição de dados AqAnalysis, Lynx).



**Figura 13:** A – Amostra posicionada em dispositivo de simulação de contato

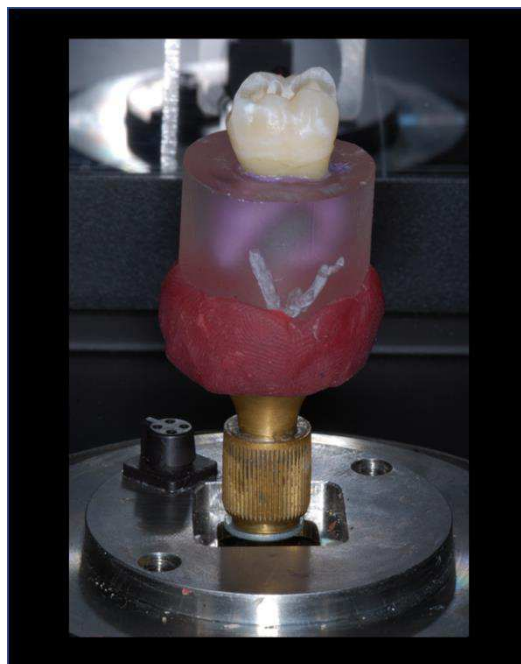


interproximal, grupo Z100; B – Fotoativação da amostra; C – Restauração finalizada.

### **3.6 Deformação de cúspide no micro-CT**

A Microtomografia computadorizada (micro-CT) permite visualizar seções transversais de um objeto (cortes internos) de forma não destrutiva. Seu princípio de funcionamento é baseado nas diferenças entre os níveis de absorção de radiação por cada material, o que é dependente da sua composição química. A micro-CT divide virtualmente o objeto em cortes que são visualizados na forma de imagem bidimensional, podendo ser transformada em imagem tridimensional a partir de softwares associados. Para obtenção da imagem tomográfica são necessárias duas etapas, primeiramente por meio da aquisição da imagem tomográfica e, posteriormente, a reconstrução dessa imagem por software específico utilizando o sistema de *cluster* dos computadores. A partir da imagem reconstruída, é possível realizar diversas análises da microestrutura interna da amostra (Fernandes, 2014).

Para avaliar a deformação de cúspide nas restaurações, cinco dentes de cada grupo foram escaneados utilizando um dispositivo de micro-CT (Skyscan 1272, Bruker, Bélgica) em três momentos: (1) Preparado, com os dentes molares após o preparo da cavidade; (2) Restaurado, após a fotoativação dos materiais restauradores; (3) armazenados em água, após os dentes restaurados armazenados em água a 37 ° C durante 7 dias. Os dentes foram colocados no micro-CT na mesma posição, com a face vestibular voltada para a porta, para padronizar e facilitar a sobreposição das imagens 2D. As amostras foram fixadas no porta-amostra com cera utilidade, para evitar movimentações durante o escaneamento (Figura 14).

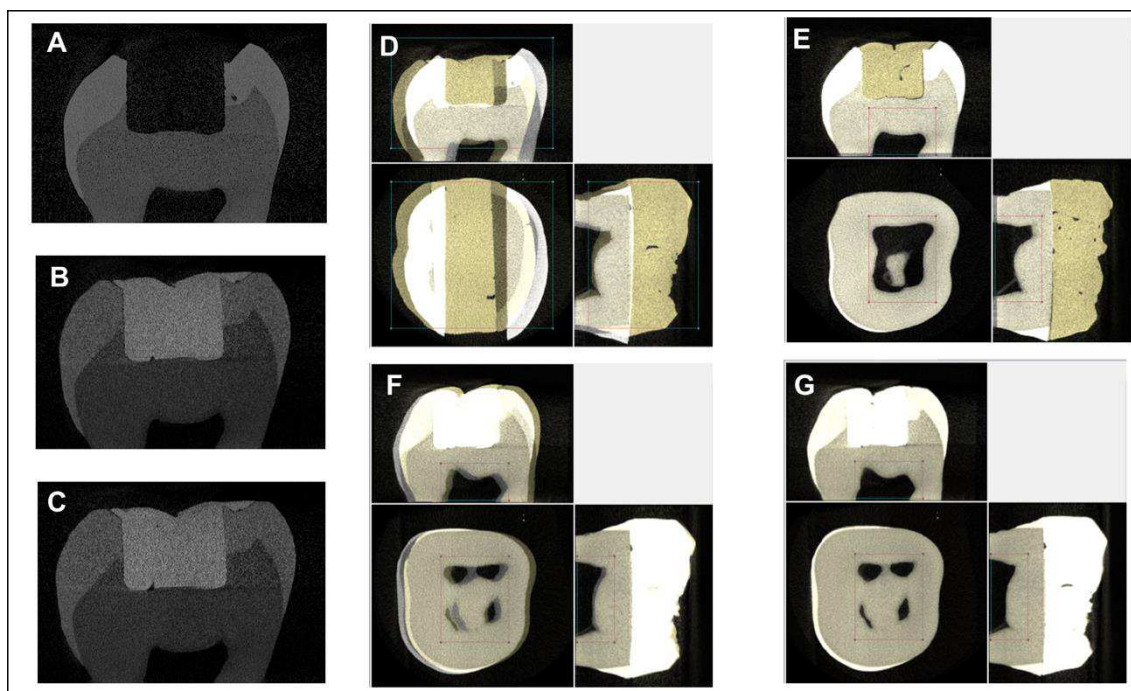


**Figura 14:** Amostra fixada em dispositivo próprio, no micro-CT, com cera utilidade e com a face vestibular voltada para o operador.

As imagens foram obtidas sob os mesmos parâmetros de escaneamento, com tempo de exposição de 1000 milissegundos, filtro de Cu de 0,11 mm de espessura, tamanho de voxel de 10  $\mu\text{m}$ , 100 KV, 100  $\mu\text{A}$ , em 180 ° com ângulo de rotação de 0,400.

As imagens escaneadas foram importadas para uma estação de trabalho e reconstruídas no software Nrecom (versão 1.6.10.1, Skyscan, Bruker, Bélgica) em cerca de 1.000 fatias, respeitando os limites anatômicos das amostras necessários para as análises futuras. As imagens 2D reconstruídas foram visualizadas e sobrepostas no software Dataviewer (versão 1.5.1.2, Skyscan, Bruker, Bélgica) nos três eixos, coronal, sagital e transaxial. Para alinhar as diferentes imagens de preparado, restaurado e armazenado em água do mesmo dente, foi selecionada uma área distante da área afetada pelo processo de contração. O volume da porção radicular do dente que envolve a câmara pulpar foi utilizado como referência (Figura 15). Inicialmente, a imagem do dente preparado (referência) e a imagem restaurada do dente (alvo) após serem sobrepostas geraram um volume de imagem de diferença (Diff). A imagem

Diff significa o volume da deformação de cúspide causado pela contração de polimerização da restauração.

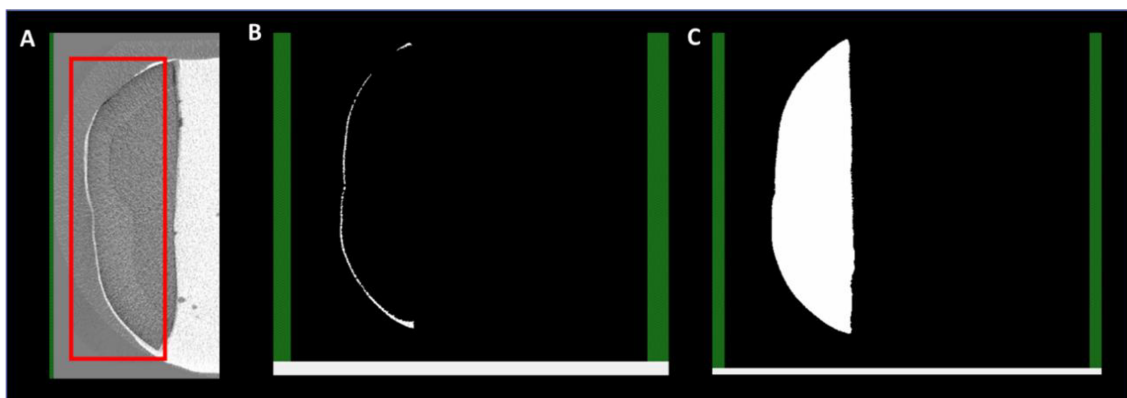


**Figura 15:** Método desenvolvido para medir a deformação da cúspide utilizando micro-CT; A - imagem do dente preparado; B - imagem imediatamente após a restauração do dente; C - imagem após o armazenamento em água durante 7 dias - expansão higroscópica; D - sobreposição dos dentes preparados e restaurados demonstrando imagens desalinhadas; E – alinhamento das imagens de dentes restaurado sobre dente preparado usando a região da raiz dos dentes como referência; F. Sobreposição dos dentes restaurados e dentes com expansão higroscópica demonstrando imagens desalinhadas; G - alinhamento das imagens de dentes após expansão higroscópica sobre dente restaurado usando a região da raiz dos dentes como referência.

Utilizando o software de análise CTAn (versão 1.13, Skyscan, Bruker, Bélgica), foi selecionado na região de interesse através da binarização (*threshold*), a diferença das imagens 2D sobrepostas. O número de cortes foi o mesmo para todas as imagens Diff analisadas, 600 slices, uma vez que para todas as imagens foi utilizado os mesmo início e fim (*top* e *bottom*), primeiro slice

do *top* sendo um acima do início da visualização de ponta de cúspide. Inicialmente, as regiões de interesse (ROI) foram representadas pela figura geométrica do retângulo, posicionadas na mesma área da cúspide onde o extensômetro foi colado na amostra. Na aba *custom processing* foi feita a delimitação do volume da área de interesse (VOI) usada para calcular o volume de diferença entre as cúspides geradas pela contração de polimerização. A mesma análise foi feita para a sobreposição das imagens restauradas do dente e dente após o período de armazenamento em água para o cálculo da expansão higroscópica. Todas as análises foram realizadas de acordo com a região selecionada. A análise 2D é realizada dentro de um ROI, enquanto o VOI é a soma de todos os ROI's de todos os slices presentes na região selecionada, representando um volume 3D.

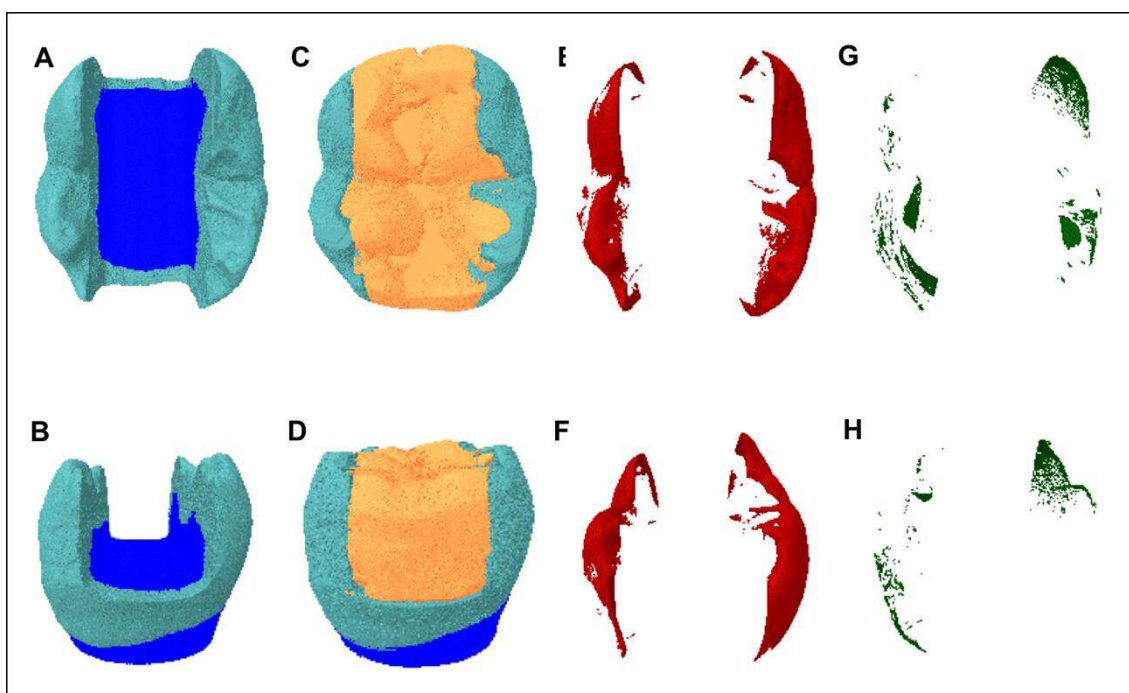
Após delimitação do ROI, foi realizada a binarização da diferença gerada pela deformação da cúspide após a sobreposição das imagens. Foram, então, escolhidos valores máximos e mínimos para os pixels (*threshold*) na escala de cinza (0-255), onde 0 representa preto e 255 totalmente branco. Para cada grupo foi utilizado uma binarização, respeitando as diferenças entre os dois materiais utilizados. Seguiu-se a binarização de todas as amostras, onde a área de interesse selecionada era visualizada na cor branca e todo o resto na cor preta. Em seguida, na mesma ferramenta e da mesma maneira, foi realizada a seleção do volume total cada cúspide (Figura 16).



**Figura 16:** A – ROI retângulo na área de interesse da cúspide da imagem diff; B – Binarização da diferença entre preparado/restaurado (área em branco); C – Binarização da cúspide total (área em branco).

Os valores de volume de deformação de cúspide foram obtidos em  $\text{mm}^3$  e a percentagem desta deformação foi calculada em função do volume total de cada cúspide. Os volumes medidos pelo micro-CT dos dentes preparados e restaurados com Z100 e XTRA foram semelhantes para a cúspide vestibular (Teste T:  $P = 0,582$ ) e lingual (Teste T:  $P = 0,365$ ).

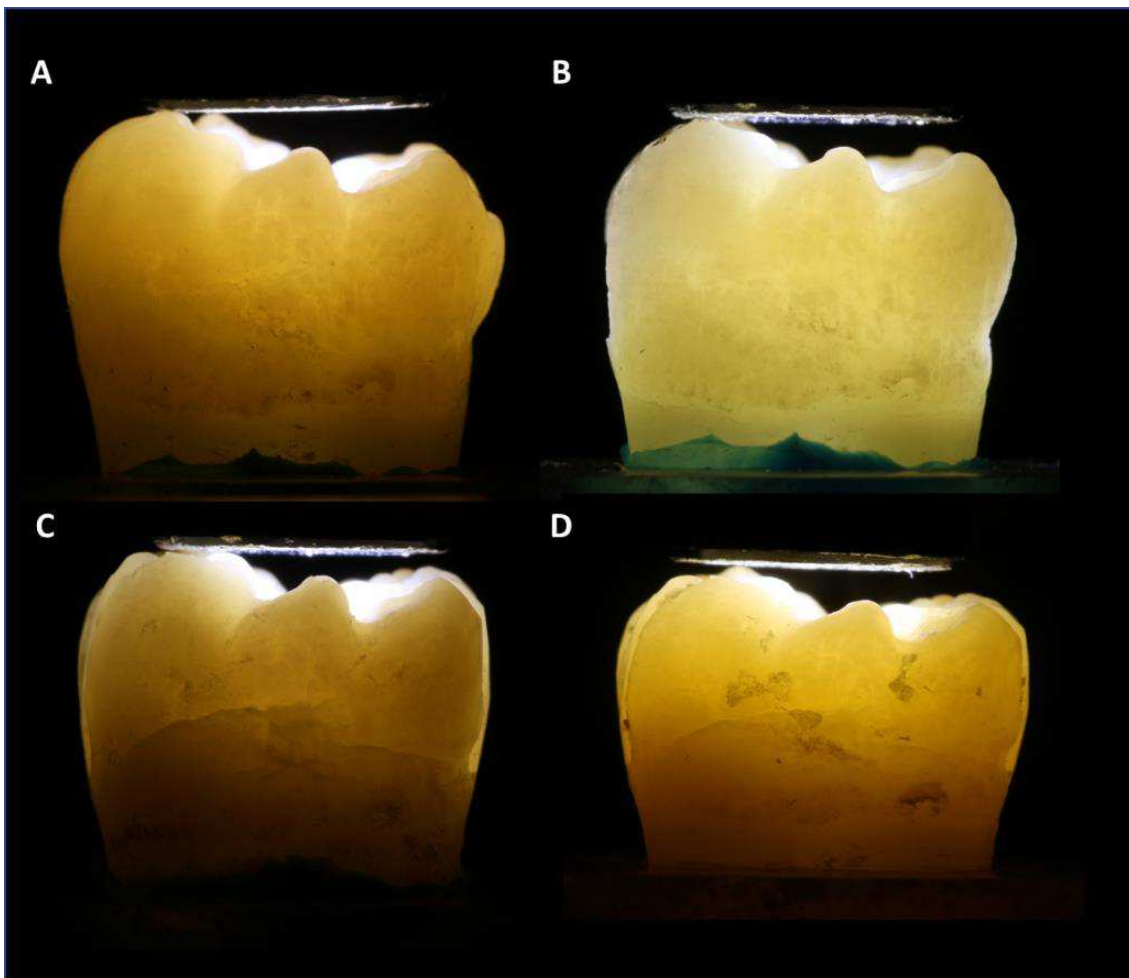
No software CT Vol (versão 2.0, Skyscan, Bruker, Bélgica) foram geradas as imagens 3D dos volumes das diferenças de deformação de cúspide causadas pela contração da resina e após a expansão higroscópica (Figura 17).



**Figura 17:** Cálculo do volume da deformação da cúspide e expansão higroscópica utilizando micro-CT; A - visão oclusal do dente preparado; B - Visão proximal do dente preparado; C - visão oclusal do dente restaurado; D - visão proximal do dente restaurado; E - visão oclusal do volume de deformação da cúspide após a contração de polimerização da resina composta; F - Visão proximal do volume de deformação da cúspide após a contração de polimerização da resina composta; G - visão oclusal do volume de expansão higroscópica da cúspide após armazenamento em água por 7 dias; H - visão proximal da expansão higroscópica da cúspide após armazenamento em água por 7 dias.

### 3.7 Análise de trincas em esmalte

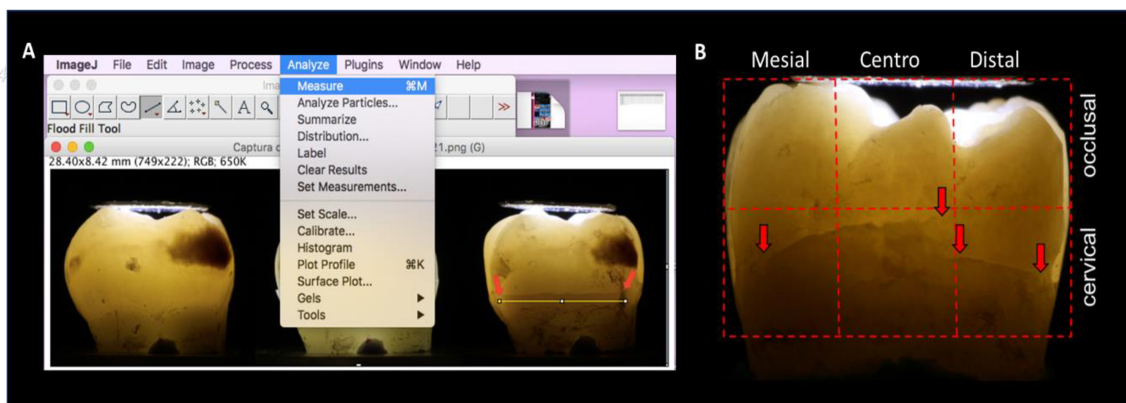
As mesmas amostras utilizadas na mensuração da deformação de cúspide foram avaliadas em quatro momentos durante o experimento para detectar a presença e a propagação de trincas em esmalte nas cúspides vestibular e lingual: (A) dente intacto antes do preparo; (B) após o preparo da cavidade; (C) 24 h após a restauração e (D) após expansão higroscópica correspondente a armazenamento em água por 7 dias (Figura 18). As imagens da amostra foram capturadas sob condições padronizadas, com câmera fotográfica profissional (Canon EOS REBEL T5i, Canon Inc., Tóquio, Japão) acoplada com lente macro Tokina AT-X 100 mm f / 2.8D (Kenko Co. Ltd., Tóquio, Japão), com as mesmas configurações (ISO 200, f / 18, 1/200 segundos). Utilizando a luz LED de transiluminação (Photonita, P1050, Florianópolis, SC, Brasil), com o iluminador de fibra óptica posicionado na superfície oclusal do dente (Rosatto *et al.*, 2015). As amostras foram posicionadas em dispositivo desenvolvido especificamente para este estudo (registro de patentes em processo).



**Figura 18:** Exame de detecção de trincas: A – dente intacto antes do preparo; B – após o preparo da cavidade; C – imediatamente após a restauração de resina composta; D – imediatamente após 7 dias imerso em água – expansão higroscópica.

As trincas foram avaliadas observando-se a extensão em mm, a localização: base do preparo ou ponta de cúspide; mesial, distal ou medial; e a direção: vertical, horizontal e oblíqua. A imagem foi carregada e o tamanho da trinca determinado usando o software ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA). Para tanto, primeiramente uma distância mensurada inicialmente da coroa dentária foi fornecida ao software, utilizando a ferramenta “set scale” da aba “analyze”. A partir desta distância conhecida, ao selecionar a trinca escolhida, era possível medir o seu tamanho na ferramenta “measure” (Figura 19).





**Figura 19:** A - Software ImageJ usado para medir o comprimento das trincas; B - localização cérvico-oclusal e méso-distal da trinca. As setas vermelhas indicam os limites da trinca.

### 3.8 Análise estatística

O volume da coroa dentária ( $\text{mm}^3$ ), a contração pós-gel, a deformação da cúspide ( $\mu\text{S}$ ), o volume da deformação da cúspide após a restauração e os dados de expansão higroscópica ( $\text{mm}^3$ ) foram testados para distribuição normal (Shapiro-Wilk,  $P > 0.05$ ) e igualdade de variâncias (teste de Levene), seguido de testes estatísticos paramétricos. O teste  $t$ -Student foi utilizado para comparar o volume da coroa ( $\text{mm}^3$ ) dos dentes alocados aleatoriamente em XTRA ou Z100 e a contração pós-gel dos dois compósitos testados. A Análise de Variância em dois fatores foi utilizada para comparar o efeito da resina composta e tipo de cúspide para deformação de cúspide medida usando extensometria e micro-CT. A Análise de Variância em dois fatores foi também utilizada para comparar o efeito da resina composta, momento da medição (restaurado e expansão higroscópica) e tipo de cúspide sobre a dimensão das trincas em esmalte medidos usando transiluminação. A correlação de Pearson foi utilizada para correlacionar a deformação de cúspide medida usando micro-TC e método de extensometria. Todos os testes empregaram nível de significância de 5% e foram realizadas com o pacote estatístico Sigma Plot versão 13.1 (Systat Software Ins, San Jose, CA, USA).



# RESULTADOS

---

## 5. RESULTADOS

### 4.1 Contração pós-gél

Os valores de média e desvio padrão da contração pós-gel dos dois compósitos são apresentados na Tabela 2. O teste *t*-student revelou diferença estatística entre os compósitos ( $P < 0,001$ ). A resina Z100 apresentou contração volumétrica significativamente maior do que XTRA.

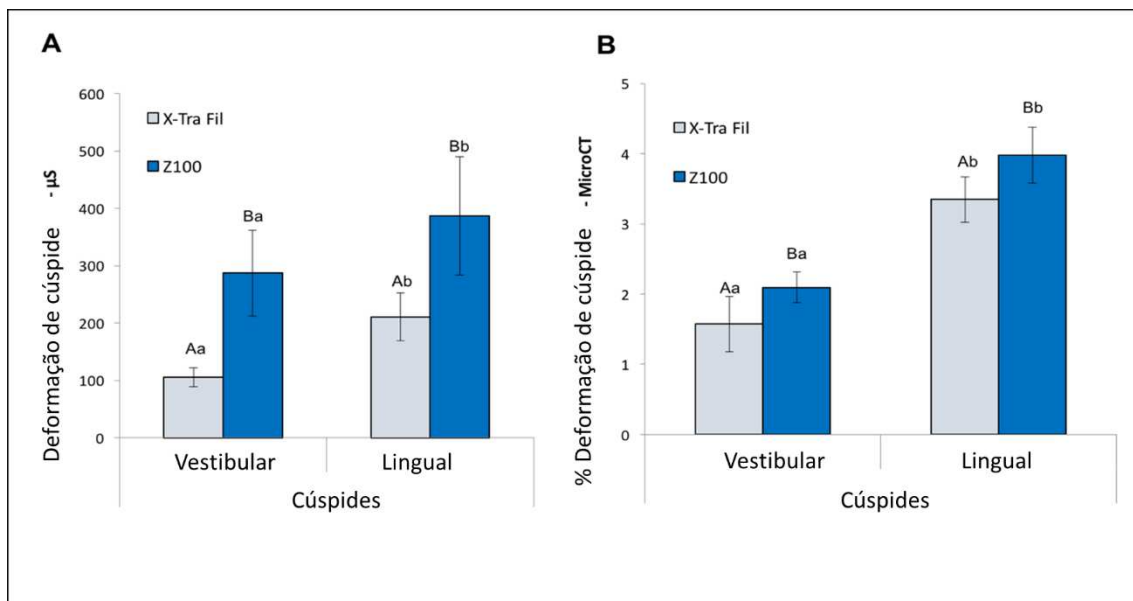
**Tabela 2.** Média (desvio padrão) da contração pós-gel volumétrica

| Resina composta | Contração pós-gel volumétrica - % |
|-----------------|-----------------------------------|
| XTRA            | 0.39 (0.04) A                     |
| Z100            | 0.94 (0.04) B                     |

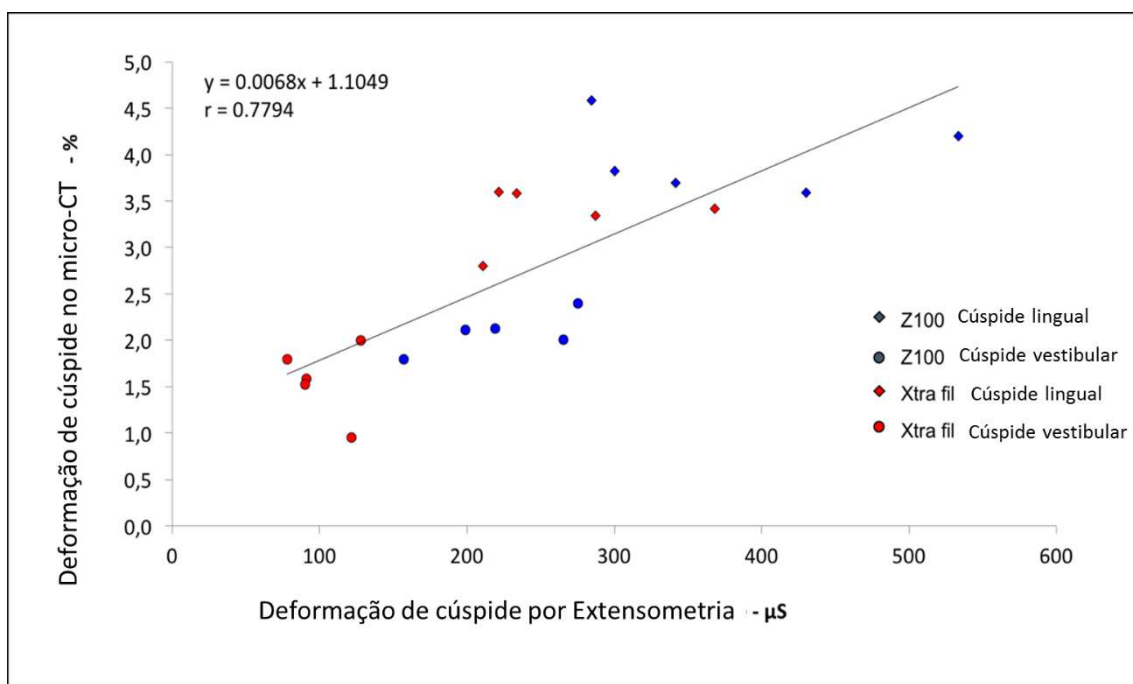
Diferentes letras maiúsculas indicam diferença significativa entre os compósitos ( $P < 0,05$ ).

### 4.2 Deformação de cúspide – medição por extensometria e micro- CT

Os valores de deformação da cúspide para os dois compósitos (Z100 e XTRA) e os dois métodos de medição (extensometria e micro-CT) são mostrados na Figura 20. A Análise de Variância em dois fatores mostrou efeito significativo da resina composta ( $P < 0,001$ ) e tipo de cúspide ( $P < 0,001$ ), porém não foi encontrada significância para a interação entre cúspide e resina composta ( $P = 0,905$ ). Z100 teve maior deformação de cúspide do que XTRA quando medida usando extensometria ( $P < 0,001$ ) e também quando medida usando micro-CT ( $P < 0,001$ ). A cúspide lingual apresentou maior deformação do que a cúspide vestibular quando medida usando extensometria ( $P < 0,001$ ) e também quando medida usando micro-CT ( $P < 0,001$ ). A correlação de Pearson mostrou alta correlação ( $r = 0,78$ ) entre a deformação de cúspide medida pelos métodos de micro-CT e de extensometria (Figura 21).



**Figura 20:** A. Médias e desvio padrão da deformação de cúspide causada pela contração de polimerização dos compósitos Z100 e XTRA medidos por extensometria (μS); B. Médias e desvio padrão da deformação de cúspide causada pela contração de polimerização dos compósitos Z100 e XTRA medidos utilizando micro-CT (%). Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre as resinas compostas e letras minúsculas são utilizadas para comparar o tipo de cúspide ( $p < 0,05$ ).



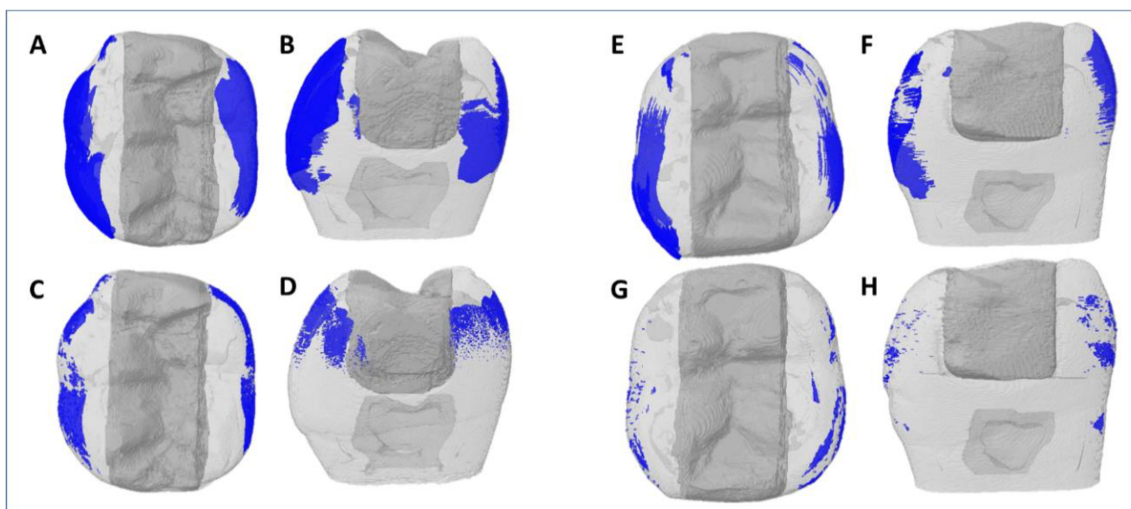
**Figura 21:** Parcelas de correlação para todos os compósitos dentários, cúspides

dos dentes e da deformação de cúspide medidos usando o teste de extensometria e micro-CT; O valor  $r$  ( $r = 0,79$ ) demonstrou alta correlação entre os dois métodos de medição.

A variação da expansão higroscópica medida no micro-CT para Z100 e XTRA para ambas as cúspides é mostrada na Tabela 3. A análise dos percentuais mostrou que a expansão higroscópica recuperou o deslocamento da cúspide para ambas as resinas compostas e ambas as cúspides. O volume de deformação de cúspide e expansão higroscópica calculado com Micro CT em 3D é mostrado na figura 22.

**Tabela 3:** Médias (DP) da variação da deformação de cúspide causada pela contração de polimerização X expansão higroscópica das resinas compostas e percentual de recuperação de deflexão.

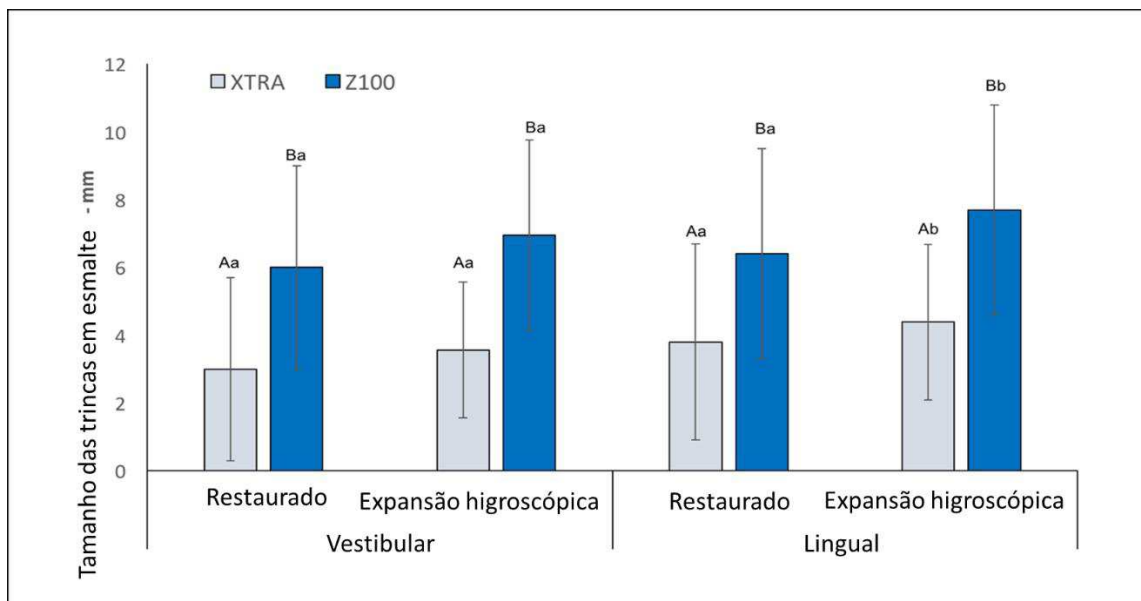
| Resina<br>composta/cúspide | Após restauração -<br>mm <sup>3</sup> | Expansão higroscópica-<br>mm <sup>3</sup> após 7 dias | % recuperação<br>da cúspide |
|----------------------------|---------------------------------------|---|-----------------------------|
| XTRA - Vestibular          | - 1,57 (0,39)                         | - 0,50 (0,24)   | 79%                         |
| XTRA - Lingual             | - 2,09 (0,22)                         | - 0,42 (0,26)   | 80%                         |
| Z100 - Vestibular          | - 3,35 (0,32)                         | - 0,31 (0,61)   | 94%                         |
| Z100 - Lingual             | - 3,98 (0,41)                         | - 0,42 (0,43)   | 86%                         |



**Figura 22:** Volume de deformação de cúspide e expansão higroscópica calculado com Micro CT – em 3D: Diferença da sobreposição das imagens preparado com restaurado da resina Z100 em vista oclusal (A) e proximal (B); Diferença da sobreposição das imagens restaurado com higroscópica da resina Z100 em vista oclusal (C) e proximal (D). Diferença da sobreposição das imagens preparado com restaurado da resina XTRA em vista oclusal (E) e proximal (F); Diferença da sobreposição das imagens restaurado com higroscópica da resina XTRA em vista oclusal (G) e proximal (H).

#### 4.3 Análise de trincas no esmalte

Os resultados da análise de trincas nos dentes são mostrados nas Figura 23 e Tabela 4. Nenhum dente apresentou trincas visíveis antes e depois do preparo da cavidade. A ocorrência de trincas foi maior após a restauração, independentemente da cúspide. Z100 apresentou maior ocorrência significativa de formação de trincas com maior tamanho do que XTRA ( $P = 0,012$ ). A formação de trincas tende a ser horizontal, localizada na base do preparo, envolvendo principalmente as regiões central e distal da cervical em ambas as cúspides. A propagação de trincas foi maior após expansão higroscópica.



**Figura 23:** Médias e desvio padrão do tamanho das trincas em esmalte (mm) causadas pela contração de polimerização dos compósitos Z100 e XTRA medidos por transiluminação após restauração e expansão higroscópica. Diferentes letras indicam uma diferença significativa – letras maiúscula usada para comparar as resinas compostas e letras minúsculas usadas para comparar o momento de medição ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 4.** Incidência de trincas, tamanho e localização em dentes intactos, após prepare cavitário, após técnica restauradora e após expansão higroscópica.

| Resina composta | Cúspide Vestibular                      |   |   |    | Orientação das trincas  | Cúspide Lingual                         |   |   |    | Orientação das trincas   |
|-----------------|---|---|---|----|---|---|---|---|----|--|
|                 | Número de dentes com trincas em esmalte |   |   |    |   | Número de dentes com trincas em esmalte |   |   |    |  |
|                 | I                                       | P | R | HE |   | I                                       | P | R | HE |  |
| XTRA            | 0                                       | 0 | 4 | 4  | 3 - base do preparo (2 - Centro/Distal e 1 - Mesial/Centro/Distal);<br><br>4 – Horizontal<br><br>1 - topo de cuspid e (Centro).   | 0                                       | 0 | 6 | 6  | 5 - base do preparo (4 - Centro/Distal e 1 - Mesial/Centro/Distal).<br><br>5 – Horizontal<br>1 – Oblíqua |
| Z100            | 0                                       | 0 | 7 | 7  | 5 – base do preparo (3 - Mesial/Centro/Distal e 2 - Centro/Distal);<br><br>6 - Horizontal<br><br>1 – topo de cúspide (Centro);<br><br>1- Oblíqua<br><br>1 - base do preparo e topo de cúspide (Mesial/Centro/Distal). | 0                                       | 0 | 9 | 9  | 9 - base de preparo (6 - Mesial/Centro/Distal e 3 - Centro/Distal).<br><br>9 - Horizontal                |

I, dente intacto; P, dente preparado; R, dente restaurado; HE, expansão higroscópica.

## **DISCUSSÃO**

---



## 5. DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo demonstraram alta correlação entre a deformação da cúspide avaliada pelo método de micro-CT com os dados obtidos com método de extensometria. Os resultados relataram ainda diferenças significativas para contração pós-gel, deformação de cúspide e propagação de trincas para resinas compostas convencionais e bulk-fill.

Para garantir a polimerização adequada do material restaurador, é necessária energia luminosa suficiente liberada pela LCU em combinação com as características do material (Ilie & Stark, 2014). As resinas bulk-fill podem ser fotoativadas de maneira a manter as propriedades mecânicas satisfatórias em incrementos de até 4 ou 5 mm devido alterações em sua composição (Bucuta & Ilie, 2014). Assim como a resina convencional, se usada com a técnica incremental oblíqua apropriada pode também atingir adequada qualidade de polimerização (Bicalho *et al.*, 2014a; Bicalho *et al.*, 2014b). A polimerização inadequada do material causa diminuição de suas propriedades mecânicas (Ilie & Stark, 2014) e menor contração volumétrica do material (Sampaio *et al.*, 2017). Com isso influencia diretamente na quantidade de tensão de contração gerada, na deformação da cúspide e geração de trincas. Por essa razão, a caracterização da irradiância e espectro irradiante das fontes de luz e, a consequente polimerização adequada de ambos os materiais na parte superior e inferior da cavidade foram essenciais para as comparações estabelecidas neste estudo (Bucuta & Ilie, 2014), diminuindo a possibilidade de viés.

As tensões geradas durante a fase pós-gel podem ser mensuradas usando o método de extensometria (Sakaguchi *et al.*, 1997; Bicalho *et al.*, 2015). A composição dos materiais é um dos fatores que podem influenciar a quantidade de tensões geradas durante este processo. O aumento no volume de carga geralmente leva à redução na contração volumétrica de polimerização (Soares *et al.*, 2013). A resina XTRA é uma resina bulk-fill de viscosidade regular, com alterações no sistema de carga, particularmente no tamanho destas. Este compósito possui quantidade de carga semelhante ao da resina Z100, no entanto, estas cargas têm algumas diferenças de tamanho e composição, como por exemplo a presença das partículas de sílica, que podem ter uma ligeira

participação na diminuição da contração volumétrica (Ilie & Stark, 2014). Por outro lado, a resina Z100 apresenta, em combinação à grande quantidade de carga inorgânica, altos valores de módulo de elasticidade e microdureza Vickers, fatores contribuintes para alta tensão de contração (Schliebe *et al.*, 2016). Além das alterações relacionadas à parte inorgânica dos materiais, as diferenças na matriz orgânica desempenham papel marcante nas diferenças encontradas neste estudo. XTRA, além de dimetacrilato de trietilenoglicol (TEGDMA) e bis-GMA também presentes em Z100, contém monômero adicional de maior peso molecular - UDMA (895 g / mol) (Ferracane, 2011). Um maior peso molecular diminui o número de sítios reativos por unidade de volume, contribuindo para a redução das tensões de contração (Ferracane, 2011), bem como a redução da quantidade de TEGDMA na composição da resina (Moorthy *et al.*, 2012; Braga & Ferracane, 2004).

As altas tensões de contração podem levar à deformação de cúspide após a polimerização das restaurações (Francis *et al.*, 2015). A contração volumétrica e a vitrificação durante o processo de polimerização de compósitos restauradores, somados ao fato de estarem unidos às paredes da cavidade, resultam na geração de tensão e deformação dessas paredes (Soares *et al.*, 2013). Esses fatos levam a uma deformação da cúspide e formação de trincas pela elevada concentração de tensão em determinadas áreas da cúspide e liberdade de movimento em outras áreas. Z100 resultou em DC superior a XTRA independentemente dos métodos de medição; este achado é semelhante ao observado em estudos anteriores que compararam técnicas incrementais com técnica de incremento único (Rosatto *et al.*, 2015; Moorthy *et al.*, 2012; Francis *et al.*, 2015; Furnes *et al.*, 2014). Este aspecto confirma indiretamente a eficácia do novo protocolo de deformação da cúspide e expansão higroscópica medida por micro-CT.

O volume de coroa e o volume de cúspides vestibular e lingual após preparo cavitário foram estatisticamente semelhantes para ambos os grupos XTRA e Z100. Esses fatos eliminam a influência da variabilidade no dente remanescente nos valores de deformação da cúspide registrados, uma vez que a quantidade de estrutura dentária remanescente influencia o fator-C, o

“*compliance*” e o nível de deformação da cúspide (Wang & Chiang, 2016). A cúspide lingual apresentou maior deformação que a cúspide vestibular independente dos métodos avaliados, estes resultados estão de acordo com estudos recentes que utilizam diferentes métodos de análise (Rosatto *et al.*, 2015; Bicalho *et al.*, 2015). Esse achado pode ser explicado pelo volume de dentina na região cervical, pois a espessura da cúspide não é uniforme da área cervical à oclusal. A região cervical das cúspides lingual era geralmente mais estreita devido sua conformação anatômica, o que pode estar relacionado com os maiores valores de deformação dessas cúspides (Rosatto *et al.*, 2015; Bicalho *et al.*, 2014b). Além dos fatores mencionados, o deslocamento da ponta de cúspide foi perceptível por meio da análise das imagens em 3D.

A deformação de cúspide medida por meio do método de micro-CT e pelo método de extensometria demonstrou alta correlação ( $r = 0,78$ ). A deformação de cúspide foi associada à contração pós-gel (Bicalho *et al.*, 2014a). Métodos de medição linear de contração (Sakaguchi *et al.*, 1997) são menos dispendiosos, no entanto, o micro-CT proporciona a visualização dos efeitos ao longo de toda a cúspide e também leva em consideração as condições de contorno da cavidade no dente (Kaisarly & Gezawi, 2016). Portanto, a quantificação da deformação da cúspide causada pela contração da polimerização no micro-CT é um método eficaz para visualizar os seus efeitos. Além disso, a imagem 3D permite análise volumétrica mais precisa, com isso o dente pode ser visto internamente e de vários ângulos. O micro-CT é uma metodologia não-destrutiva que pode ser utilizada para vários aspectos nas mesmas amostras (Kaisarly & Gezawi, 2016). Este trabalho concentrou-se na análise da deformação de cúspide. No entanto, com as mesmas imagens é possível complementar a análise da contração de polimerização medindo a geração de fendas internas entre o teto da câmara pulpar e o material restaurador (Kim & Park *et al.*, 2014); a microinfiltração usando nitrato de prata também é uma estratégia que pode ser feita nas mesmas amostras utilizadas no micro-CT (Carrera *et al.*, 2015). Usando a mesma amostra para várias análises, o custo/benefício deste protocolo de pesquisa é substancial e a resposta para as perguntas de pesquisa é melhorada. Além das possibilidades de utilização

citadas, o micro-CT também pode fornecer a imagem de escaneamento a ser utilizada na metodologia de Elementos Finitos (Jaques et al 2004; Rodrigues et al 2009).

A expansão higroscópica e o relaxamento das tensões são mecanismos que podem compensar alguns efeitos gerados pela contração de polimerização (Meriwether *et al.*, 2013). A expansão higroscópica depende da quantidade de exposição à água, da espessura do remanescente dental e da restauração (Suiter *et al.*, 2016). Outros estudos também mediram a expansão higroscópica e a deformação de cúspide ao longo de um período de tempo e verificaram resultados semelhantes deste estudo, com a deformação de cúspide demonstrando redução significativa (Meriwether *et al.*, 2013; Versluis *et al.*, 2011). O deslocamento de cúspide reduziu significativamente após o armazenamento em água, independente da resina composta e tipo de cúspide. Este achado observado pela análise de micro-CT ressalta o efeito da expansão higroscópica para compensar os efeitos das altas tensões de contração. O impacto clínico da expansão higroscópica é dependente das características do material e, em materiais hidrofílicos, esta expansão pode exceder a contração, o que pode ser tão negativo quanto os efeitos da contração pois essa expansão também pode gerar tensão na estrutura dental (Versluis *et al.*, 2011). Após a expansão higroscópica, o tamanho das trincas em esmalte aumentou cerca de 17% para XTRA e 18% para Z100, demonstrando que o benefício deste fenômeno é controverso e limitado. A absorção de água pelos compósitos é um processo controlado por difusão (Braden & Clarke, 1984; Oysaed & Ruyter, 1986), e depende da fração volumétrica da matriz polimérica, que influencia significativamente as propriedades mecânicas das resinas compostas (Zhang e Darvell, 2012). Com isso, desenvolver resinas que apresentem menor contração de polimerização e ao mesmo tempo menor capacidade de absorção de água deve ser perseguida pelos fabricantes.

A contração induz à formação de microtrincas em esmalte após a polimerização (Rosatto *et al.*, 2015; Batalha-Silva *et al.*, 2013). Quando uma quantidade significativa de estrutura dentária é perdida, há aumento na fragilidade e susceptibilidade à fratura (Nam *et al.*, 2010). Neste estudo, a resina

Z100 apresentou maior ocorrência de formação de trincas e propagação do que a resina XTRA, após restaurações. A contração pós-gel e a deformação de cúspide estão diretamente relacionados às trincas em esmalte, que também foram sempre maiores para Z100. A formação de trincas tendeu a ser de orientação horizontal, localizadas na base do preparo cavitário e envolvendo as regiões cervical central e distal em ambas as cúspides. As trincas horizontais na base de preparo podem ter se formado por causa da alta concentração de tensões nas áreas cervicais (Rosatto *et al.*, 2015; Bicalho *et al.*, 2012a). Adicionalmente isso pode também ser explicado pela menor espessura do esmalte nesta região (Segarra *et al.*, 2016). Esses achados são de extrema importância clínica, uma vez que as forças oclusais atuam de formas diferentes em diferentes áreas do dente, o que também afeta a propagação de trincas (Segarra *et al.*, 2016) e a propagação de trincas aumenta o risco de fratura no dente (Moorthy *et al.*, 2012). Além disso, a presença de trincas em esmalte pode estar relacionada com a sensibilidade pós-operatória, que é uma das várias causas comuns de falha restauradora (Alvanforoush *et al.*, 2016). Mesmo que a sensibilidade pós-operatória não determine a substituição das restaurações em todas as ocorrências, ela se caracteriza com insucesso relativo por causar grande desconforto ao paciente. A relação dos dados obtidos pelas três metodologias realizadas neste estudo torna mais fácil extrapolá-los para a realidade clínica demonstrando que o uso de associação de metodologias para estudar o fenômeno da contração de polimerização deve ser estimulado. A busca por metodologias complementares, que se validam mutuamente, pode melhor esclarecer o caminho da falha e como elas podem ser minimizadas ou eliminadas. Outro aspecto importante extraído deste estudo é que o uso de resinas compostas bulk fill deve ser continuamente estudado e aperfeiçoado, pois demonstram resultados laboratoriais altamente promissores quando comparada à técnica incremental.

# CONCLUSÕES

---

## **6. CONCLUSÕES**

Frente as limitações metodológicas impostas pelo delineamento deste estudo as seguintes conclusões podem ser estabelecidas:

1. O método proposto utilizando micro-CT é um método viável para avaliar a deformação de cúspide de restaurações.
2. A correlação entre os métodos utilizados para medir a deformação de cúspide neste estudo demonstrou correlação positiva entre os dois métodos.
3. A análise da propagação das trincas em esmalte utilizando um dispositivo de transiluminação em conjunto com a análise no software ImageJ provou ser um método viável.
4. A resina de incremento único XTRA apresentou menores valores de contração pós-gél, menor deformação de cúspide e menor geração de trincas e de menor extensão quando comparada à resina composta convencional Z100.

## REFERÊNCIAS

---



## REFERÊNCIAS

1. Algamaiah H, Sampaio CS, Rigo LC, Janal MN, Giannini M, Bonfante EA, et al. Microcomputed Tomography Evaluation of Volumetric Shrinkage of Bulk-Fill Composites in Class II Cavities. **J Esthet Restor Dent**. 2017;29: in press.
2. Alvanforoush N, Palamara J, Wong R, Burrow MF. A Comparison between published clinical success of direct resin composite restorations in vital posterior teeth in 1995-2005 and 2006-2016 periods. **Aust Dent J**. 2016 16. doi: 10.1111/adj.12487.
3. Batalha-Silva S, Andrada MA, Maia HP, Magne P. Fatigue resistance and crack propensity of large MOD composite resin restorations: direct versus CAD/CAM inlays. **Dent Mater**. 2013;29(3):324-31.
4. Bicalho AA, de Souza SJ, de Rosatto CM, Tantbirojn D, Versluis A, Soares CJ. Effect of temperature and humidity on post-gel shrinkage, cusp deformation, bond strength and shrinkage stress - Construction of a chamber to simulate the oral environment. **Dent Mater**. 2015;31(12):1523-32.
5. Bicalho AA, Pereira RD, Zanatta RF, Franco SD, Tantbirojn D, Versluis A, et al. Incremental filling technique and composite material--Part I: Cuspal Deformation, Bond Strength, and Physical Properties. **Oper Dent**. 2014;39(2):E71-82.
6. Bicalho AA, Valdívia AD, Barreto BC, Tantbirojn D, Versluis A, Soares CJ. Incremental filling technique and composite material--part II: shrinkage and shrinkage stresses. **Oper Dent**. 2014;39(2):E83-92.
7. Braden M, Clarke RL. Water absorption characteristics of dental microfine composite filling materials. I. Proprietary materials. **Biomaterials**. 1984;5(6):369-72.
8. Braga RR, Ferracane JL. Alternatives in polymerization contraction stress management. **Crit Rev Oral Biol Med**. 2004;15(3):176-84.
9. Bucuta S, Ilie N. Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites. **Clin Oral Invest**. 2014;18(8):1991-00.

10. Carrera CA, Lan C, Escobar-Sanabria D, Li Y, Rudney J, Aparicio C, et al. The use of micro-CT with image segmentation to quantify leakage in dental restorations. **Dent Mater.** 2015;31(4):382-90.
11. Chiang YC, Rösch P, Dabanoglu A, Lin CP, Hickel R, Kunzelmann KH. Polymerization composite shrinkage evaluation with 3D deformation analysis from microCT images. **Dent Mater.** 2010;26(3):223-31.
12. Fernades PG. **Aplicação da Microtomografia Computadorizada para a análise morfométrica Bi e Tridimensional na avaliação da perda óssea experimental em ratos.** [tese] Ribeirão Preto: FORP/USP; 2014.
13. Ferracane JL. Resin composite -state of the art. **Dent Mat.** 2011;27(1):29-38.
14. Francis AV, Braxton AD, Ahmad W, Tantbirojn D, Simon JF, Versluis A. Cuspal Flexure and Extent of Cure of a Bulk-fill Flowable Base Composite. **Oper Dent.** 2015;40(5):515-23.
15. Furness A, Tadros MY, Looney SW, Rueggeberg FA. Effect of bulk/incremental fill on internal gap formation of bulk-fill composites. **J Dent.** 2014;42(4):439-49.
16. Heintze SD, Rousson V. Clinical effectiveness of direct class II restorations - a meta-analysis. **J Adhes Dent.** 2012;14(5):407-31.
17. Hirata R, Clozza E, Giannini M, Farrokhmanesh E, Janal M, Tovar N, et al. Shrinkage assessment of low shrinkage composites using micro-computed tomography. **J Biomed Mater Res B Appl Biomater.** 2015;103(4):798-06.
18. Ilie N, Stark K. Curing behavior of high-viscosity bulk-fill composites. **J Dent.** 2014;42(8):977–85.
19. Jaecques SVN, Van Oosterwyck H, Muraru L, Van Cleynenbreugel T, De Smet E-Wevers, M Naert I, et al. Individualised, micro CT-based finite element modelling as a tool for biomechanical analysis related to tissue engineering of bone. **Biomaterials.** 2004;25(9):1683–96.
20. Jantararat J, Panitvisai P, Palamara JE, Messer HH. Comparison of methods for measuring cuspal deformation in teeth. **J Dent.** 2001;29(1):75-82.
21. Kaisarly D, Gezawi ME. Polymerization shrinkage assessment of dental resin composites: a literature review. **Odontology.** 2016;104(3):257-70.

22. Kim RJ, Kim YJ, Choi NS, Lee IB. Polymerization shrinkage, modulus, and shrinkage stress related to tooth-restoration interfacial debonding in bulk-fill composites. **J Dent**. 2015;43(4):430-9.
23. Kim HJ, Park SH. Measurement of the internal adaptation of resin composites using micro-CT and its correlation with polymerization shrinkage. **Oper Dent**. 2014;39(2):E57-70.
24. Kramer N, Reinelt C, Frankenberger R. Ten-year Clinical Performance of Posterior Resin Composite Restorations. **J Adhes Dent** 2015;17:433–41.
25. Lee LB, Min SH, Seo DG. A new method to measure the polymerization shrinkage kinetics of composites using a particle tracking method with computer vision. **Dent Mat**. 2012;28(2):212-8.
26. Loguercio AD, de Oliveira Bauer JR, Reis A, Grande RH. In vitro microleakage of packable composites in Class II restorations. **Quintessence Int**. 2004;35(1):29-34.
27. Meriwether LA, Blen BJ, Benson JH, Hatch RH, Tantbirojn D, Versluis A. Shrinkage stress compensation in composite-restored teeth: relaxation or hygroscopic expansion? **Dent Mater**. 2013;29(5):573-9.
28. Moorthy A, Hogg C, Dowling A, Grufferty B, Benetti AR, Fleming G. Cuspal deflection and microleakage in premolar teeth restored with bulk-fill flowable resinbased composite base materials. **J Dent**. 2012;40(6):500-5.
29. Nam SH, Chang HS, Min KS, Lee Y, Cho HW, Bae JM. Effect of the number of residual walls on fracture resistances, failure patterns, and photoelasticity of simulated premolars restored with or without fiber-reinforced composite posts. **J Endod**. 2010;36:(2)297-01.
30. Naoum SJ, Ellakwa A, Morgan L, White K, Martin FE, Lee JB. Polymerization profile analysis of resin composite dental restorative materials in real time. **J Dent**. 2012;40(1):64-70.
31. Oysaed H, Ruyter IE. Water sorption and filler characteristics of composites for use in posterior teeth. **J Dent Res**. 1986;65(11):1315-28.
32. Pallesen U, van Dijken JW. A randomized controlled 30 year follow up of three conventional resin composites in Class II restorations. **Dent Mater**. 2015;31(10):1232-44.

33. Park JW, Ferracane JL. Water aging reverses residual stresses in hydrophilic dental composites. **J Dent Res**. 2014;93(2):195–80.
34. Rodrigues FP, Li J, Silikas N, Ballester RY, Watts DC. Sequential software processing of micro-XCT dental-images for 3D-FE analysis. **Dent Mater**. 2009;25(6):e47-55.
35. Rosatto CM, Bicalho AA, Verissimo C, Braganca GF, Rodrigues MP, Tantbirojn D, et al. Mechanical properties, shrinkage stress, cuspal strain and fracture resistance of molars restored with bulk-fill composites and incremental filling technique. **J Dent**. 2015;43(12):1519-28.
36. Sakaguchi RL, Versluis A, Douglas WH. Analysis of strain gage method for measurement of post-gel shrinkage in resin composites. **Dent Mater**. 1997;13(4):233-9.
37. Sampaio CS, Chiu KJ, Farrokhmanesh E, Janal M, Puppini-Rontani RM, Giannini M, et al. Microcomputed Tomography Evaluation of Polymerization Shrinkage of Class I Flowable Resin Composite Restorations. **Oper Dent**. 2017;42(1):E16-23.
38. Schliebe LRSO, Braga SSL, Pereira RAS, Bicalho AA, Verissimo C, Novais VR, et al. The new generation of conventional and bulk-fill composites do not reduce the shrinkage stress in endodontically-treated molars. **Am J Dent**. 2016;29(6):333-38.
39. Segarra MS, Shimada Y, Sadr A, Sumi Y, Tagami J. Three-Dimensional Analysis of Enamel Crack Behavior Using Optical Coherence Tomography. **J Dent Res**. 2016;7:in press.
40. Soares CJ, Bicalho AA, Tantbirojn D, Versluis A. Polymerization shrinkage stresses in a premolar restored with different composite resins and different incremental techniques. **J Adhes Dent**. 2013;15(4):341-50.
41. Soares CJ, Fonseca RB, Gomide HA, Correr-Sobrinho L. Cavity preparation machine for the standardization of in vitro preparations. **Braz Oral Res**. 2008;22(3):281-7.
42. Soares CJ, Pizi EC, Fonseca RB, Martins LR. Influence of root embedment material and periodontal ligament simulation on fracture resistance tests. **Braz Oral Res**. 2005;19(1):11-6.

43. Suiter EA, Watson LE, Tantbirojn D, Lou JSB, Versluis A. Effective Expansion: Balance between Shrinkage and Hygroscopic Expansion. **J Dent Res.** 2016;95(5):543 –9.
44. van Dijken JW, Pallesen U. Posterior bulk-filled resin composite restorations: A 5-year randomized controlled clinical study. **J Dent.** 2016;51:29-35.
45. Versluis A, Tantbirojn D, Lee Ms, Tu LS, DeLong R. Can Hygroscopic expansion compensate polymerization shrinkage? Part I. Deformation of restored teeth. **Dent Mater.** 2011;27(2):126-33.
46. Wang Z, Chiang MY. Correlation between polymerization shrinkage stress and C-factor depends upon cavity compliance. **Dent Mater.** 2016;32(3):343-52.
47. Zhang H, Darvell BW. Failure and behavior in water of hydroxyapatite whisker-reinforced bis-GMA-based resin composites. **J Mech Behav Biomed Mater.** 2012;10:39-47.



**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**

**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** Análise de gap, bolhas e deflexão de cúspide com MicroCT e o reflexo na biomecânica de molares restaurados com compósitos bulk fill - análise experimental e por elementos finitos

**Pesquisador:** Carlos José Soares

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 49589315.0.0000.5152

**Instituição Proponente:** Universidade Federal de Uberlândia/ UFU/ MG

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

**DADOS DO PARECER**

**Número do Parecer:** 1.372.102

**Apresentação do Projeto:**

Conforme apresenta o protocolo: "[o] presente trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento físico e mecânico de 4 resinas compostas de incremento único em restaurações de molares com grande perda estrutural. Bem como definir protocolos de utilização da metodologia de microtomografia computadorizada (MicroCT) para análise de fendas e bolhas internas na restauração. E ainda da parametrização da metodologia da microscopia eletrônica de varredura (MEV) para análise fractográfica de amostras submetidas à fratura. Serão utilizados 60 molares humanos coletados após aprovação pelo comitê de ética (CEP/UFU) que receberão preparos classe II médio-ocluso-distal (MOD), divididos aleatoriamente em quatro grupos (n=15) conforme protocolos restauradores: SDR Bulk Fill + TPH3 (Dentsply), X- Tra base + X-tra Fil (Voco); Sonic fill (Kerr) e Filtek bulkfill posterior restorative (3M ESPE), utilizadas de acordo com as recomendações de cada fabricante. Dez dentes de cada grupo serão usados para avaliação do comportamento biomecânico e os outros cinco para avaliação das propriedades mecânicas de dureza Vickers (VHN)/módulo de elasticidade (E). Deformação de cúspide será mensurada de duas formas; empregando extensometria, em três momentos: durante as restaurações, simulação do carregamento oclusal de 0 a 100N e no momento da fratura; e utilizando Micro CT com ou sem

**Endereço:** Av. João Naves de Ávila 2121- Bloco "1A", sala 224 - Campus Sta. Mônica  
**Cidade:** Santa Mônica **CEP:** 38.408-144  
**UF:** MG **Município:** UBERLÂNDIA  
**Telefone:** (34)3239-4131 **Fax:** (34)3239-4335 **E-mail:** cep@prop.ufu.br

carregamento empregando dispositivo de carga acoplado. Radiodensidade das resinas e presença de bolhas nas restaurações serão mensuradas por meio de radiografia digital. Quantificação do gap interno entre resina e as paredes da cavidade e ainda a presença de bolhas no interior da resina serão avaliada por MicroCT em 2 momentos: após preparo cavitário e após fotopolimerização da resina composta. Após ciclagem mecânica, a resistência à

fratura será mensurada por carregamento oclusal axial e o padrão de falha classificado por três avaliadores. As amostras serão então submetidas à análise fractográfica por MEV. As propriedades das 4 resinas compostas ( $n = 10$ ) serão obtidas por meio de contração pós-gel, resistência a tração diametral e compressão axial. Será realizada análise por método de elementos finitos com modelos bidimensionais e tridimensionais simulando a presença e ausência de bolhas para quantificação das tensões residuais de contração e deformação de cúspide, buscando validar os achados experimentais. Os dados serão analisados inicialmente buscando verificar a distribuição normal e homogênea dos dados, em atendendo a estes pressupostos serão submetidos à análise de variância em fator único seguida pelo teste de Tukey.

#### Objetivo da Pesquisa:

##### OBJETIVO PRIMÁRIO:

Avaliar de forma experimental e computacional o desempenho biomecânico de restaurações diretas com resinas de incremento único bulk fill em molares com grande perda estrutural, definindo protocolo de análise de formação de gap e deformação de cúspide por Micro CT em comparação com método de extensometria.

##### OBJETIVOS SECUNDÁRIOS:

Caracterizar as propriedades físicas e mecânicas de contração pós-gel, módulo elástico, coeficiente de Poisson, dureza Vickers e grau de conversão de resinas bulk fill. Avaliar o comportamento biomecânico de molares com cavidades MOD amplas restauradas com resinas bulk fill de baixa e alta viscosidade, utilizando microCT para análise de formação de gap, análise fractográfica por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), integridade marginal e formação de bolhas por raio - x digital e deformação de cúspide por meio de extensometria, microCT e resistência à fratura. Definir protocolos de análise de formação de Gap por Micro CT e de análise fractográfica por MEV. Realizar análise computacional por meio do método de elementos finitos para avaliar as tensões de contração geradas e validar os resultados encontrados pelas metodologias experimentais.

**Endereço:** Av. João Neves de Ávila 2121 - Bloco "1A", sala 224 - Campus Sta. Mônica  
**Bairro:** Santa Mônica **Cep:** 38.405-144  
**UF:** MG **Município:** UBERLÂNDIA  
**Telefone:** (34)3229-4131 **Fax:** (34)3229-4335 **E-mail:** cap@propp.ufu.br



#### **Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Segundo os pesquisadores:

**RISCOS:** A coleta dos dentes será realizada pela mestranda Laís Rani Sales Oliveira Schliebe, a qual abordará os pacientes após o atendimento pelo Pronto Socorro Odontológico e pelo Hospital Odontológico, durante as clínicas de cirurgia realizadas por alunos de graduação do 6º ao 10º períodos. Anteriormente a doação do dente, haverá o desconforto do procedimento cirúrgico de exodontia, no qual será necessária anestesia e utilização de material previamente esterilizado. Haverá para o paciente o risco de detecção de complicações biológicas, como dor e sangramento, porém o paciente será informado sobre a possível ocorrência e orientado a comparecer nos locais específicos de atendimento para que o tratamento seja instituído. O único risco é a identificação do sujeito de pesquisa no momento da coleta do dente, o que contraria a Resolução 466/12/CNS, porém a equipe executora se compromete a tratar os sujeitos participantes de forma sigilosa, não fazendo a identificação dos mesmos.

**BENEFÍCIOS:** Os benefícios serão que poderemos definir técnicas e protocolos clínicos para reabilitação de molares com grande perda estrutural utilizando as resinas bulk fill de incremento único, e dessa forma aumentar o nível de sucesso destes tratamentos reabilitadores, beneficiando assim os pacientes com indicação de realização desta terapia.

#### **Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

A pesquisa tem como hipótese que diferentes marcas de resinas bulk fill apresentam propriedades mecânicas semelhantes, com pequena formação de gap e deflexão de cúspide, apresentando boa integridade marginal nas restaurações de molares posteriores com grande perda estrutural. O objetivo da pesquisa é avaliar de forma experimental e computacional o desempenho biomecânico de restaurações diretas com resinas de incremento único bulk fill em molares com grande perda estrutural, definindo protocolo de análise de formação de gap e deformação de cúspide por Micro CT em comparação com método de extensometria. Os riscos de desconforto e quebra de sigilo são indicados e o TCLE é claro quanto às precauções de riscos. Há benefícios claros os pacientes com indicação de realização desta terapia no futuro concretizados sob a forma de protocolos mais eficientes. Os participantes realizarão a doação de terceiro molar extraído por motivo não relacionado com a pesquisa.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

O TCLE é claro quanto ao propósito da pesquisa e a incumbência dos participantes por meio da doação de terceiro molar extraído por motivo não relacionado com a pesquisa. O Diretor da Faculdade de Odontologia declarou ciência e autorizou a pesquisa nas Clínicas de Cirurgia da Graduação em Odontologia da UFU por meio da Declaração de Instituição Coparticipante. A equipe executora explicitou formalmente a comprometimento com a pesquisa por meio do Termo de Compromisso da Equipe Executora. O cronograma e o orçamento estão adequados.

**Recomendações:**

Não há.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

As pendências apontadas no parecer 1.289.984, de 21 de Outubro de 2015, foram atendidas.

De acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS 466/12, o CEP manifesta-se pela aprovação do protocolo de pesquisa proposto.

O protocolo não apresenta problemas de ética nas condutas de pesquisa com seres humanos, nos limites da redação e da metodologia apresentadas.

**Considerações Finais e critério do CEP:**

Data para entrega do Relatório Final ao CEP/UFU: fevereiro de 2017.

**OBS.: O CEP/UFU LEMBRA QUE QUALQUER MUDANÇA NO PROTOCOLO DEVE SER INFORMADA IMEDIATAMENTE AO CEP PARA FINS DE ANÁLISE E APROVAÇÃO DA MESMA.**

O CEP/UFU lembra que:

- a- segundo a Resolução 466/12, o pesquisador deverá arquivar por 5 anos o relatório da pesquisa e os Termos de Consentimento Livre e Esclarecido, assinados pelo sujeito de pesquisa.
- b- poderá, por escolha aleatória, visitar o pesquisador para conferência do relatório e documentação pertinente ao projeto.
- c- a aprovação do protocolo de pesquisa pelo CEP/UFU dá-se em decorrência do atendimento a Resolução CNS 466/12, não implicando na qualidade científica do mesmo.

Orientações ao pesquisador :

- O sujeito da pesquisa tem a liberdade de recusar-se a participar ou de retirar seu consentimento

|   |                              |                                 |  |
|---|------------------------------|---------------------------------|--|
| <b>Endereço:</b> Av. João Naves de Ávila 2121 - Bloco "1A", sala 224 - Campus Sta. Mônica |                              |                                 |  |
| <b>Bairro:</b> Santa Mônica   |                              | <b>CEP:</b> 38.408-144          |  |
| <b>UF:</b> MG   | <b>Município:</b> UBERLÂNDIA |                                 |  |
| <b>Telefone:</b> (34)3239-4131  | <b>Fax:</b> (34)3239-4335    | <b>E-mail:</b> cep@propp.ufu.br |  |

em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado (Res. CNS 466/12) e deve receber uma via original do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, na íntegra, por ele assinado.

- O pesquisador deve desenvolver a pesquisa conforme delineada no protocolo aprovado e descontinuar o estudo somente após análise das razões da descontinuidade pelo CEP que o aprovou (Res. CNS 466/12), aguardando seu parecer, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao sujeito participante ou quando constatar a superioridade de regime oferecido a um dos grupos da pesquisa que requeiram ação imediata.

- O CEP deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (Res. CNS 466/12). É papel de o pesquisador assegurar medidas imediatas adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e enviar notificação ao CEP e à Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – junto com seu posicionamento.

- Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas. Em caso de projetos do Grupo I ou II apresentados anteriormente à ANVISA, o pesquisador ou patrocinador deve enviá-las também à mesma, junto com o parecer aprobatório do CEP, para serem juntadas ao protocolo inicial (Res.251/97, item III.2.e).

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

| Tipo Documento   | Arquivo   | Postagem               | Autor                                | Situação |
|--|---|------------------------|--------------------------------------|----------|
| Informações Básicas do Projeto                           | PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_593132.pdf                    | 17/11/2015<br>07:02:29 |                                      | Aceito   |
| TCE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência | Termo_de_consentimento_laboratorial.docx                        | 17/11/2015<br>07:00:29 | Lais Rani Sales<br>Oliveira Schliebe | Aceito   |
| Outros   | Autorizacao_da_instituicao.docx                                 | 25/09/2015<br>12:11:24 | Lais Rani Sales<br>Oliveira Schliebe | Aceito   |
| Outros   | Documento_de_solicitacao_da_autorizacao_da_coleta_de_dados.docx | 25/09/2015<br>12:10:30 | Lais Rani Sales<br>Oliveira Schliebe | Aceito   |
| Declaração de Instituição e Infraestrutura               | Declaracao_da_instituicao_coparticipante.docx                   | 25/09/2015<br>11:52:03 | Lais Rani Sales<br>Oliveira Schliebe | Aceito   |
| Declaração de Manuseio Material Biológico /              | Modelo_de_instrumento_de_coleta_de_dados.docx                   | 25/09/2015<br>11:51:03 | Lais Rani Sales<br>Oliveira Schliebe | Aceito   |

Endereço: Av. João Neves de Ávila 2121 - Bloco "1A", sala 224 - Campus Sta. Mônica  
Bairro: Santa Mônica CEP: 38.408-144  
UF: MG Município: UBERLÂNDIA  
Telefone: (34)3239-4131 Fax: (34)3239-4336 E-mail: sup@propp.ufu.br

Continuação do Parecer: 1.372.102

|   |   |                        |                                      |        |
|---|---|------------------------|--------------------------------------|--------|
| Biorepositório /<br>Biobanco                  | Modelo_de_instrumento_de_coleta_de_ dados.docx  | 25/09/2015<br>11:51:03 | Lais Rani Sales<br>Oliveira Schliebe | Aceito |
| Outros  | lattes.docx                                     | 25/09/2015<br>11:45:56 | Lais Rani Sales<br>Oliveira Schliebe | Aceito |
| Declaração de<br>Pesquisadoras                | Termo_de_compromisso_da_equipe_ex- ecutora.docx | 25/09/2015<br>11:45:21 | Lais Rani Sales<br>Oliveira Schliebe | Aceito |
| Projeto Detalhado /<br>Brochura<br>Investidor | Projeto_de_pesquisa.pdf                         | 25/09/2015<br>11:44:30 | Lais Rani Sales<br>Oliveira Schliebe | Aceito |
| Folha de Rosto                                | Folha_de_rosto.docx                             | 25/09/2015<br>11:40:29 | Lais Rani Sales<br>Oliveira Schliebe | Aceito |

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

UBERLÂNDIA, 16 de Dezembro de 2015

Assinado por:

Sandra Terezinha de Farias Furtado  
(Coordenador)

Endereço: Av. João Naves de Ávila 2121- Bloco "1A", sala 224 - Campus Sta. Mônica  
Bairro: Santa Mônica CEP: 38.408-144  
UF: MG Município: UBERLÂNDIA  
Telefone: (34)3229-4131 Fax: (34)3229-4335 E-mail: cep@propp.ufl.br