

UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

MICHELE BORTOLUZZI DE CONTO FERREIRA

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES PROTOCOLOS ADESIVOS NA MORFOLOGIA DA  
INTERFACE DE UNIÃO E NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UMA CERÂMICA  
FELDSPÁTICA

RIBEIRÃO PRETO

2018

Michele Bortoluzzi De Conto Ferreira

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES PROTOCOLOS ADESIVOS NA MORFOLOGIA DA  
INTERFACE DE UNIÃO E NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UMA CERÂMICA  
FELDSPÁTICA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Odontologia da Universidade de Ribeirão Preto,  
como parte dos requisitos para obtenção do título de  
Doutor em Odontologia, área de concentração em  
Implantodontia.

Orientador: Prof. Dr. Aloísio Oro Spazzin

Coorientadora: Profa. Dra. Érica Alves Gomes

Ribeirão Preto

2018

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento  
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

Michele Bortoluzzi De Conto Ferreira, 1979 -  
Influência de diferentes protocolos adesivos na morfologia da interface de união  
e nas propriedades mecânicas de uma cerâmica feldspática

Michele Bortoluzzi De Conto Ferreira - Ribeirão Preto, 2018.  
49 f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Aloísio Oro Spazzin  
Co-orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Érica Alves Gomes.

Tese (doutorado) – Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, Odontologia,  
área de concentração: Implantodontia. Ribeirão Preto, 2018.

*“Dedico esta tese à minha família, que sempre me apoiou e me incentivou a ir além.”*

## AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Agradeço ao meu orientador **Prof. Dr. Aloísio Oro Spazzin**. Muito obrigada por ter aceitado este desafio em me orientar. Obrigada pela sua disponibilidade e paciência em sanar sempre minhas dúvidas e me mostrar o caminho para a realização desta tese. Admiro teu jeito de ser, tanto pessoal quanto profissionalmente.

Agradeço à **Profa. Dra. Érica Alves Gomes**, minha coorientadora. Teu jeito meigo e sereno me transmitiu tranquilidade durante estes 3 anos de curso. Obrigada por sua amizade, ajuda e ensinamentos.

Agradeço à **minha família**, que soube entender muito bem minha ausência durante a realização deste trabalho. Ao meu marido **Vinícius Renato Thomé Ferreira**, que foi quem me incentivou a fazer o doutorado, me apoiou, compreendeu minhas preocupações e ansiedades e esteve ao meu lado. Aos meus filhos **Gabriel De Conto Ferreira e Pedro De Conto Ferreira**, obrigada por me alegrarem e deixarem minha vida mais emocionante a cada dia! Amo vocês!

Aos **meus pais**, por acreditarem no meu potencial e me incentivarem a ir em busca de novas conquistas. O que sou hoje devo a vocês!

Agradeço à minha irmã **Roberta De Conto** que esteve presente vibrando por minhas conquistas. Obrigada por me motivar e me ajudar sempre.

Aos **meus sogros**, em especial, à **Nayr Ferreira**, que sempre colaborou e me deu força para chegar até aqui.

À **minha mãe, à Nayr e à Rosa**, por cuidarem com tanto carinho e amor dos meus meninos quando eu não posso estar presente. Sem vocês não teria sido possível concluir o Doutorado! Muito obrigada de coração!

## AGRADECIMENTOS

À Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), por meio da Magnífica Reitora **Profa. Elmara Lúcia de Oliveira Bonini** e à Faculdade Meridional (IMED), por meio do diretor geral **Prof. Ms. Eduardo Capelari**, pela concretização do Doutorado Interinstitucional (DINTER) em odontologia, tornando mais acessível a realização do doutorado.

À coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade de Ribeirão Preto, **Profa. Dra. Yara T. Corrêa Silva Souza**, pela ótima condução do curso e também pela disponibilização dos artigos científicos.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Odontologia **Prof. Dr. Edson Alfredo, Profa. Dra. Érica Alves Gomes, Prof. Dr. Fuad Abi Rached Júnior, Profa. Dra. Larissa S. C. Raucci, Prof. Dr. Paulo Esteves Pinto Faria, Prof. Dr. Sílvio Rocha Corrêa da Silva, Prof. Dr. Walter Raucci Neto e Profa. Dra. Yara T. Corrêa Silva Souza** pelos ensinamentos, não apenas de odontologia, mas de de vida.

Agradeço aos colegas de Doutorado, por dividirem comigo suas vastas experiências na odontologia. Em especial, ao Professor e agora colega **Nereu Dartora**, com quem tive a oportunidade de realizar pesquisas durante o curso e ao colega **Rhuy Dall Agnol**, pela amizade e pelas conversas que tivemos sobre as dúvidas na metodologia da tese.

À **Profa. Dra. Izabela Cristina Maurício Moris Rivera**, por ter me recebido tão bem em Ribeirão Preto e também por ter me acompanhado durante a realização da microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Aos colegas de docência, Prof. Dr. **Gabriel Kalil Pereira**, pela participação na banca de qualificação e pelas excelentes considerações para melhoria deste trabalho e **Prof. Ms. Rodrigo Alessandretti**, pelo auxílio nas etapas de corte dos discos, inclusão das amostras para a MEV e, também, durante o início dos ensaios de resistência flexural.

À **Fabiola Barbon**, ex aluna de graduação, pela ajuda nas inclusões e polimento das amostras para a MEV.

À **Lyllian Grando**, aluna de graduação e orientanda de TCC, pela ajuda durante a fase experimental da Tese.

Ao técnico do Departamento de Química da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (USP/FFCLRP) **Rodrigo Silva** pelo auxílio na microscopia eletrônica de varredura.

À **Dra. Ana Paula Macedo**, especialista de laboratório do Departamento de Materiais Dentários e Prótese da Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FORP/USP) pelo auxílio na etapa de análise de elementos finitos.

À **Carla** e ao **Fred**, por me receberem em sua casa quando precisei ficar em Ribeirão. Obrigada pelas caronas e por mudarem suas rotinas durante os dias em que estivemos aí só para me ajudar. Vocês tornaram mais leve e tranquila a realização desta etapa do trabalho. Não sei como lhes retribuir. Muito obrigada!

Enfim, a **todas as pessoas** que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta tese, meu muito obrigada!

“Somente se aproxima da perfeição  
quem a procura com constância,  
sabedoria e humildade.”

Jigoro Kano

## RESUMO

Cimentos resinosos e resinas compostas fluidas, utilizados para a cimentação de laminados cerâmicos, apresentam redução na quantidade de carga comparados às resinas compostas convencionais, o que poderia interferir no desempenho das restaurações cerâmicas. Além disso, os adesivos rotineiramente empregados no protocolo de cimentação apresentam baixo módulo de elasticidade, também podendo prejudicar a resistência da cerâmica na interface adesiva. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes protocolos adesivos e agentes de cimentação à base de resina no reforço e na distribuição de tensões de uma cerâmica feldspática e nas características morfológicas da interface cerâmica-cimento. Discos cerâmicos foram preparados, condicionados com ácido fluorídrico à 10% e divididos aleatoriamente em 9 grupos experimentais, de acordo com o protocolo adesivo utilizado (silano, silano seguido de adesivo convencional, adesivo universal) e agente de cimentação à base de resina (cimento resinoso fotopolimerizável, resina *flow* ou resina composta aquecida) e 1 grupo controle (somente condicionado) (n = 30). Foi realizado ensaio de resistência à flexão biaxial em máquina universal. Os dados foram submetidos à análise estatística ( $\alpha = 0,05$ ) e, após o processamento dos dados, foi realizada a análise de Weibull. A distribuição das tensões foi avaliada por meio da simulação do teste de flexão biaxial utilizando o método dos elementos finitos (MEF), e a caracterização da morfologia da interface cerâmica-resina e a fractografia foram avaliadas por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV). O recobrimento dos discos cerâmicos com agentes de cimentação causou significativo aumento na  $\sigma_{bf}$  e  $\sigma_0$  em  $z = 0$ , particularmente nos grupos que utilizaram resina *flow* sem protocolo adesivo. A análise de elementos finitos demonstrou maior magnitude das tensões dentro da camada dos agentes de cimentação, reduzindo a magnitude das tensões que chegam ao disco cerâmico. A resina composta aquecida diminuiu a concentração das tensões na cerâmica ( $z = 0$ ), cerca de 10% a 13% em relação ao cimento fotopolimerizável e a resina *flow* respectivamente. Porém, não foi capaz de preencher as irregularidades na superfície da cerâmica. Concluiu-se que: O uso de adesivo universal proporcionou menor resistência para cerâmica feldspática quando utilizado com o cimento resinoso fotopolimerizável e a resina *flow*. A RCA não apresentou penetração efetiva nas irregularidades da cerâmica feldspática condicionada, e os protocolos adesivos não influenciaram a resistência da cerâmica quando associados a este material. O recobrimento dos discos cerâmicos com agentes de cimentação à base de resina foi capaz de reforçar a cerâmica feldspática condicionada.

**Palavras-chave:** Cerâmica. Cimentação. Análise de elementos finitos. Microscopia eletrônica de varredura.

## ABSTRACT

Resin cements and flow composite resins, used for ceramic laminate veneer luting, present a reduction in the filler content compared to conventional resins composite, which could interfere with the performance of ceramic restorations. In addition, the adhesives routinely used in the protocol luting have low elasticity moduli, and might affect the ceramic strengthening at the adhesive interface. The aim of this study was to evaluate the influence of different adhesives and resin-based luting agents on the strengthening and stress distribution of a feldspar ceramic and on the morphological characteristics of the ceramic-cement interface. Ceramic discs were prepared, hydrofluoric acid-etched and randomly divided into 9 experimental groups according to the adhesive protocol used (silane, silane followed by conventional adhesive, universal adhesive) and resin-based luting agent (resin cement light-curing, flow resin or heated composite resin) and 1 control group (acid-etched ceramic) ( $n = 30$ ). A biaxial flexural strength test was performed in a universal machine. Data were submitted to statistical analysis ( $\alpha = 0.05$ ) and, after data processing, the Weibull analysis was performed. The tensile distribution was evaluated through the simulation of the biaxial bending test using the finite element analysis (FEA) and the characterization of the morphology of the ceramic-resin interface and the fractography were evaluated by scanning electron microscopy (SEM). The coating of ceramic discs with luting agents caused a significant increase in  $\sigma_{bf}$  and  $\sigma_0$  at  $z = 0$ , particularly in the groups that used flow resin without adhesive protocol. The finite element analysis showed a greater magnitude of the tensions within the layer of luting agents, reducing the magnitude of the stresses that reach the ceramic disc. The heated composite resin decreases the stress distribution in the ceramic ( $z = 0$ ), about 10% to 13% relative to the light-cured cement and the flow resin respectively. However, it was not able to fill in the ceramic surface irregularities. It was concluded that: The use of universal adhesive provided less strength for feldspar ceramic when used with the light-cured resin cement and flow resin. The heated composite resin did not present effective penetration acid-etched feldspar ceramic irregularities, and the adhesive protocols did not influence the ceramic strengthening when associated to this material. The coating of the ceramic discs with resin based luting agents was able to reinforce the acid-etched feldspar ceramic.

Key-words: Ceramic. Luting. 3D finite element analysis. Scanning electron microscopy.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 PROPOSIÇÃO</b> .....	17
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	18
3. 1 DELINEAMENTO DO ESTUDO.....	18
3. 2 PREPARO DOS DISCOS DE CERÂMICA.....	19
3. 3 RECOBRIMENTO DOS DISCOS CERÂMICOS COM AGENTES DE CIMENTAÇÃO.....	21
3. 4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO BIAXIAL.....	24
3. 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	26
3. 6 ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS.....	27
3. 7 ANÁLISE DA MORFOLOGIA DA INTERFACE DE UNIÃO E FRACTOGRAFIA POR MEIO DE MEV.....	29
<b>4 RESULTADOS</b> .....	32
4. 1 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO BIAXIAL.....	32
4. 2 ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS .....	35
4.3 ANÁLISE DA MORFOLOGIA DA INTERFACE DE UNIÃO E FRACTOGRAFIA POR MEIO DE MEV.....	36
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	39
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	44
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	45

## 1. INTRODUÇÃO

A estética é parte essencial da prática clínica contemporânea. Um sorriso agradável e harmônico depende da arquitetura do tecido gengival e também das características dentais (LIU et al., 2018). As dimensões e morfologia dos incisivos centrais superiores são fundamentais em pacientes para os quais as preocupações estéticas predominam (ÖZDEMIR; KÖSEOĞLU; BAYINDIR, 2018).

Por isso, o uso de materiais que mimetizam a aparência natural dos dentes tem se tornado uma tendência na odontologia. Pode-se obter função e estética com diferentes materiais restauradores, tais como cerâmica e resina composta (SHIBATA et al., 2016), porém as cerâmicas são amplamente utilizadas como materiais restauradores indiretos em odontologia, devido à sua alta biocompatibilidade e estética agradável. Também, os avanços na tecnologia CAD/ CAM (computer-aided design / computer-aided manufacturing) vêm ocorrendo como forma de melhorar as propriedades biomecânicas das restaurações estéticas em cerâmica total. Embora nenhum desses materiais exiba ainda propriedades clínicas ideais para aplicações universais, pesquisas estão sendo realizadas para promover força, estética, precisão e capacidade de unir de forma confiável a cerâmica aos substratos dentários (LI; CHOW; MARTINLINNA, 2014).

Restaurações em cerâmica pura apresentam longevidade clínica aceitável (muitos sistemas apresentaram mais de 90% de sucesso em seis anos) que acompanha suas vantagens estéticas de longa duração. Evidência de muitos estudos clínicos sugere que os clínicos podem escolher qualquer sistema totalmente em cerâmica com base nas necessidades estéticas dos pacientes para laminados, restaurações intracoronárias e restaurações de cobertura total para dentes anteriores unirradiculares (DELLA BONA; KELLI, 2008). Facetas laminadas em cerâmica são, frequentemente, utilizadas para tratamentos estéticos com o objetivo de favorecer cor, forma, tamanho, contorno e volume dos dentes. Atualmente, diversos materiais cerâmicos e métodos de fabricação, aliados a sistemas adesivos, estão disponíveis afim de possibilitarem tratamentos minimamente invasivos que possam preservar as estruturas dentais saudáveis (FEDERIZZI et al., 2016).

Os materiais cerâmicos utilizados para a produção de laminados cerâmicos são: cerâmicas feldspáticas, cerâmicas reforçadas por leucita e cerâmicas reforçadas por dissilicato de lítio. Os dois últimos apresentam maiores valores de resistência flexural, porém as cerâmicas feldspáticas ainda são bastante empregadas na prática clínica, principalmente em função de suas propriedades ópticas que suprem os requisitos estéticos dos pacientes (WANG; XIONG;

ZHENHUA, 2011). Além disso, apresentam bom desempenho clínico, com 96% de sobrevivência em 21 anos (LAYTON; WALTON, 2012).

Para unir a faceta cerâmica à estrutura dental múltiplos passos são necessários, sendo algumas das etapas consideradas de extrema importância para o preparo das superfícies. A modificação da superfície da cerâmica de vidro por ataque químico resulta no aumento da área de superfície de contato, melhorando a interação entre a cerâmica e o agente de cimentação, ao mesmo tempo que pode alterar a microestrutura, bem como a topografia da superfície da cerâmica à base de feldspato, produzindo diferentes tamanhos de poros e geometrias, dependendo da concentração do ácido e tempo de condicionamento (NAVES et al., 2010). Foi sugerido que, em baixas concentrações (entre 5 e 10 %), o ácido hidrofluorídrico (HF) causou a corrosão da superfície da cerâmica feldspática. Enquanto que, em maior concentração (20 %), novos defeitos parecem ser introduzidos, sugerindo a dissolução da superfície da porcelana. Também, aumentando-se o tempo de condicionamento de 45 para 90 s foi observado um aumento da rugosidade da superfície. Além disso, após este condicionamento e remoção do ácido com água, formam-se precipitados que permanecem na superfície da cerâmica e dentro de suas porosidades e irregularidades tornando o protocolo de cimentação adesiva ainda mais desafiador (ADDISON; MARQUIS; FLEMING, 2007b).

Além da modificação da superfície da cerâmica previamente à cimentação, diferentes protocolos adesivos vêm sendo introduzidos para melhorar a união dos cimentos à base de resina à cerâmica. Estudos demonstram a importância do silano no processo de adesão às cerâmicas (HOOSHMAND et al., 2013; JETTI et al., 2015). Estes agentes de união possuem moléculas bifuncionais que são capazes de reagir com a matriz inorgânica da cerâmica e, ao mesmo tempo, com a matriz orgânica dos cimentos resinosos (ALEX, 2008) e são amplamente utilizados na odontologia restauradora. Além disso, o silano aumenta a energia superficial do substrato cerâmico e melhora o amortecimento do cimento, promovendo interações microscópicas entre ambos (QUEIROZ et al., 2012). Porém, ainda permanece questionável a influência do adesivo após a aplicação do silano na resistência das cerâmicas feldspáticas. Segundo Naves et al., 2010, o tratamento da cerâmica a base de leucita com adesivo após a aplicação de silano fornece maiores valores de resistência de união quando comparado à cerâmica tratada apenas por silano, além disso, melhora a infiltração das irregularidades da superfície pelo agente de cimentação, independentemente do tempo de condicionamento. Porém, o baixo módulo de elasticidade do adesivo poderia diminuir a resistência da cerâmica na interface adesiva.

Os adesivos denominados universais foram introduzidos para simplificar o procedimento de união, fornecer versatilidade a um produto de frasco único e reduzir o tempo do procedimento. Eles contêm componentes, como o bisfenol-A diglicidil éter dimetacrilato (Bis-GMA), 2-hidroxiethyl Metacrilato (HEMA), 10-metacriloiloxidecil dihidrogenofosfato (MDP) e/ou silano. O silano e o MDP são dois importantes monômeros funcionais que podem estar associados em alguns adesivos universais. O valor do pH do monômero funcional MDP se situa entre 2 e 2,7, e o pH de alguns adesivos universais se encontra entre 2,3 e 2,7. Para alguns adesivos universais contendo água, um monômero de MDP ácido associado ao silano pode prejudicar a eficácia do silano, comprometendo sua interação química com a cerâmica vítrea. Portanto, monômeros de silano em condições ácidas (em parte devido ao MDP ácido) com pH baixo podem se tornar instáveis ao longo do tempo (YAO et al., 2018). Alguns estudos utilizando estes adesivos associados a cerâmicas a base de dissilicato de lítio já foram realizados investigando a resistência de união (GARBOZA et al., 2016; LEE et al., 2017; MORO et al., 2017) e também associados a cerâmica a base de zircônia (ARAÚJO et al., 2018). Porém, ainda não está clara a influência destes no desempenho mecânico da cerâmica feldspática e, assim, o desempenho clínico das restaurações cerâmicas pode ser comprometido devido a sua inadequada utilização.

As cerâmicas feldspáticas são frágeis intrinsicamente (TINSCHERT et al., 2000). Porém, estudos demonstram que a utilização de cimentos resinosos para unir a cerâmica à estrutura dental pode conferir reforço a este material (BARBON et al., 2018; SOARES et al., 2016; SPAZZIN et al., 2016). Este efeito ocorre devido à formação de uma camada híbrida (cerâmica-resina), na qual o polímero infiltra a superfície cerâmica e sela as microtrincas, reduz as falhas e aumenta a energia requerida para a fratura do material sob tensão (FLEMING et al., 2006; ADDISON; MARQUIS; FLEMING, 2008). Entretanto, a incompleta infiltração destas irregularidades formadas na superfície da cerâmica pelo tratamento com ácido fluorídrico pode ocasionar áreas de concentração de tensão (SOARES et al., 2016).

Cimentos resinosos e as resinas compostas fluidas são materiais rotineiramente empregados para a cimentação de facetas em cerâmica feldspática, já que, por serem de baixa viscosidade, escoam melhor sobre a peça, garantindo também uma melhor adaptação. O cimento resinoso tem como finalidade unir a estrutura cerâmica ao substrato dental, podendo ser ativado por diferentes formas: ativação química, ativação por luz e cura dual. Os fotoativados apresentam vantagem em relação aos demais, pois permitem maior estabilidade da cor e maior tempo de trabalho (ARCHEGAS et al., 2011). A resina *flow* apresenta-se como alternativa ao cimento resinoso devido às suas características ópticas e à sua relação custo-

benefício. Além disso, é um material ativado apenas por luz e possui em sua composição apenas aminas alifáticas, o que lhe proporciona melhor estabilidade de cor quando comparado aos cimentos duais (ARCHEGAS et al., 2011).

A resina composta já é há muito tempo empregada na odontologia, tendo como principal função a restauração estética de dentes, e sua composição é similar aos demais compósitos, com Bis-GMA associado a outros monômeros, fotoiniciadores, agentes de união e agentes de cor (ALMEIDA, 2016). Este compósito vem como uma alternativa sugerida para a cimentação de facetas laminadas em cerâmica (RICKMAN; PADIPATVUTHIKUL; CHEE, 2011), já que por apresentar maior quantidade de carga inorgânica e módulo de elasticidade, poderia proporcionar maior resistência da cerâmica e, em consequência, melhorar o desempenho clínico das restaurações. Estudos prévios têm indicado uma relação positiva entre as propriedades mecânicas e a quantidade de carga dos compósitos resinosos (MASOURAS; SILIKAS; WATTS, 2008; KIM; ONG; OKUNO, 2002). Por outro lado, apresentam maior viscosidade, o que poderia interferir na infiltração do polímero na superfície da cerâmica, prejudicando a adaptação marginal e a resistência da restauração (BEUN et al., 2009).

Visando reduzir a viscosidade das resinas compostas convencionais, tem sido indicado o aquecimento do material previamente à fotopolimerização o que facilita sua extrusão em seringas, ao mesmo tempo que mantém suas propriedades mecânicas (YANG; RAJ; SHERLIN, 2016; AHN et al., 2015). Além disso, o pré-aquecimento da resina composta melhora sua adaptação nas paredes cavitárias, diminui o risco de espaços vazios nas margens ou dentro do material, aumenta a conversão do monômero, reduz a espessura da linha de cimentação e ainda melhora as propriedades físicas e mecânicas da restauração final (AYUB et al., 2014). Almeida (2016) obteve maiores valores de resistência à flexão biaxial e módulo de elasticidade da resina restauradora sob diferentes condições de temperatura quando comparada às resinas fluidas e cimentos resinosos. Um outro estudo avaliou o desempenho clínico, após um período de 7 anos de acompanhamento, de 119 facetas laminadas em porcelana feldspática cimentadas com uma resina composta aquecida a 39° C previamente à fotopolimerização. Adaptação marginal, descoloração marginal, cárie secundária, cor e forma anatômica foram examinados clinicamente seguindo o Critério do Serviço de Saúde Pública dos Estados Unidos modificado (USPHS). Rachaduras, fraturas e descolamento também foram observados, além da vitalidade pulpar, índices de placa e sangramento gengival e recessão gengival. Avaliação da taxa de sobrevivência, falhas absolutas e taxa de sucesso descrevendo falhas relativas foram determinados estatisticamente. A taxa de sobrevida estimada foi de 97,5%, com uma probabilidade de sucesso estimada em 0,843 (D'ARCANGELO et al., 2012). Entretanto,

poucos são os relatos encontrados na literatura a respeito do aquecimento da resina composta e nenhum deles avalia qual a sua influência sobre o comportamento mecânico da cerâmica após este modo de cimentação.

A ausência destas informações pode resultar em uso de passos desnecessários no protocolo de cimentação, bem como aumento no tempo de trabalho e, conseqüentemente, aumento de custos para o dentista, ou, ainda, uso de protocolos clínicos de cimentação adesiva incorretos, acarretando falhas prematuras das restaurações e aumento das taxas de insatisfação do paciente. Diante do exposto e tendo em vista as limitações em se encontrar um protocolo de cimentação ideal que possa favorecer a resistência mecânica do procedimento restaurador parece lícita a realização do presente trabalho.

## 2. PROPOSIÇÃO

### Objetivo geral

Investigar a influência de diferentes protocolos adesivos (silano, silano seguido de adesivo convencional, ou adesivo universal) e agentes de cimentação à base de resina (cimento resinoso fotopolimerizável, resina *flow*, ou resina composta aquecida) na morfologia da interface adesiva e no comportamento mecânico de uma cerâmica feldspática.

### Objetivos específicos

1- Avaliar a resistência à flexão biaxial da cerâmica feldspática ( $\pm 0,6$  mm de espessura) após recobrimento utilizando diferentes protocolos adesivos (silano, silano seguido de adesivo convencional ou adesivo universal) e diferentes agentes de cimentação à base de resina (cimento resinoso fotopolimerizável, resina *flow*, ou resina composta aquecida). Realizar a análise de Weibull dos resultados de resistência à flexão biaxial. Para este ensaio, a hipótese nula é a de que não haverá diferença estatisticamente significativa na resistência à flexão biaxial para os diferentes protocolos adesivos e diferentes agentes de cimentação empregados.

2- Avaliar a distribuição das tensões da cerâmica feldspática após recobrimento com diferentes materiais (cimento resinoso fotopolimerizável, resina *flow* ou resina composta aquecida) durante a simulação do teste de flexão biaxial utilizando o método de elementos finitos (MEF). A hipótese nula é a de que não haverá diferença na distribuição das tensões durante a simulação do teste de flexão biaxial entre os grupos estudados utilizando o método de elementos finitos.

3- Caracterizar a morfologia da interface cerâmica-resina dos diferentes grupos por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), bem como o padrão de fratura dos espécimes submetidos ao teste de resistência a flexão biaxial. A hipótese nula é a de que não haverá diferença na morfologia da interface cerâmica-resina entre os diferentes grupos pesquisados quando analisado em MEV.

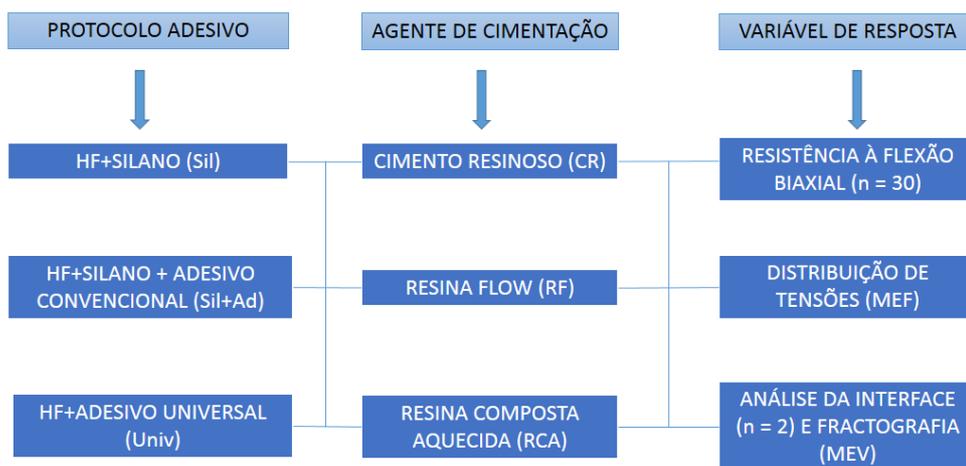
### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A descrição dos materiais utilizados no presente estudo, nome comercial, fabricante, número de lote e composição estão descritos na tabela 1.

#### 3.1 Delineamento do estudo

As variáveis independentes foram o protocolo adesivo após o condicionamento da cerâmica com ácido hidrófluorídrico (HF) (silano, silano seguido de adesivo convencional ou adesivo universal) e o agente de cimentação à base de resina (cimento resinoso fotopolimerizável, resina *flow* ou resina composta aquecida), totalizando 9 grupos experimentais e 1 grupo controle (somente condicionado e sem aplicação de agentes de cimentação). A amostra do experimento foi composta por 336 discos de cerâmica ( $n = 30$  para o teste de resistência à flexão biaxial e  $n = 2$  para a análise da interface). As variáveis de resposta do estudo foram a resistência à flexão biaxial da cerâmica feldspática, a distribuição das tensões durante a simulação do teste de flexão biaxial utilizando o método de elementos finitos e caracterização da morfologia da interface cerâmica-resina nas diferentes condições avaliadas em MEV (Figura 1).

Figura 1. Diagrama esquemático do delineamento experimental



Fonte: Autor.

Tabela 1 – Detalhes da composição geral, nome comercial, fabricante, número do lote e composição dos materiais utilizados neste estudo.

MATERIAL	NOME COMERCIAL, FABRICANTE, CIDADE, ESTADO, PAÍS (NÚMERO DO LOTE)	COMPOSIÇÃO
Silano	RelyX <sup>MR</sup> Agente Silano, 3M ESPE, Sumaré, SP, Brasil (1717200139)	Álcool etílico, água e metacrilato de 3-trimetoxissililpropilo
Adesivo	Clearfil <sup>TM</sup> SE Bond, Kuraray, Nova Iorque, NY, EUA (000018)	10-metacriloxidecil diidrogeniofosfato (MDP), 2-hidroxiethyl metacrilato (HEMA), dimetacrilato hidrófobo, canforoquinona, N.N – dietanol-P-toluidina, sílica coloidal silanizada
Adesivo universal	Single Bond Universal, 3M ESPE, Sumaré, SP, Brasil (639416)	Metacrilato de 2-hidroxiethyl, Bisfenol A diglicidil éter dimetacrilato (BIS-GMA), decametileno dimetacrilato, etanol, Sílica tratada de silano, água, 1,10-decanodiol fosfato metacrilato, copolímero de acrílico e ácido itacônico, canforoquinona N,N-dimetilbenzocaína
Cimento resinoso fotopolimerizável	RelyX Veneer, 3M ESPE, Sumaré, SP, Brasil (1728600303 e 1715700410)	Cerâmica tratada com silano, BIS-GMA, sílica tratada com silano, polímero dimetacrilato funcionalizado e água
Resina flow	Resina Filtek Z350 XT Flow, 3M ESPE, Sumaré, SP, Brasil (1719200497)	Cerâmica tratada com silano, dimetacrilato substituto, BIS-GMA, sílica tratada com silano, dimetacrilato de trietileno glicol (TEG-DMA), fluoreto de itérbio, polímero dimetacrilato funcionalizado e dióxido de titânio
Resina composta	IPS Empress Direct, A1 Enamel, Ivoclar, Vivadent, Barueri, SP, Brasil (W06869 e V36475)	Dimetacrilatos, vidro de bário, trifluoreto de itérbio, óxidos mistos, dióxido de silício e copolímero

### 3.2 Preparo dos discos de cerâmica

Blocos para usinagem em sistema CAD-CAM de cerâmica feldspática (I14 A1C Vitablocs Mark II; Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Alemanha) (Figura 2) foram usinados em uma máquina retífica (Ferdimat CA51H, São José dos Campos, SP, Brasil) com pedra diamantada (Tyrolit TN 634709, Cabreúva, SP, Brasil), sob refrigeração com água, para gerar

cilindros com 12 mm de diâmetro (Figura 3). A seguir, os cilindros foram seccionados em uma cortadora metalográfica de precisão (Isomet 1000; Buehler, Lake Bluff, IL, EUA) (Figura 4) com o auxílio de disco diamantado dupla face (15LC, Buehler, Lake Bluff, IL, EUA), em baixa rotação e sob refrigeração com água, para obter discos com  $0,6\pm 0,1$  mm de espessura (Figura 5). Os discos foram polidos manualmente em papel abrasivo (3M ESPE, Sumaré, SP, Brasil) com granulação de 600 e 1200. Após, foram avaliados em estereomicroscópio (Carls Zeiss CE, Primo Star, São Paulo, SP, Brasil) ( $40\times$  de magnificação) e aqueles que apresentaram algum tipo de trinca ou falha foram eliminados. Também foram mensurados com paquímetro digital (Mitutoyo, Tokyo, Japão) a fim de conferir as medidas especificadas. Um total de 300 discos cerâmicos foram obtidos e divididos aleatoriamente em 10 grupos ( $n = 30$ ), como descrito na figura 1. O número de espécimes utilizados no experimento para determinação do módulo de Weibull determina a confiança e precisão das análises (RITTER; BANDYOPADHYAY; JAKUS, 1981).

Figura 2. Blocos de cerâmica feldspática



Fonte: Autor.

Figura 3. Cilindros de cerâmica feldspática



Fonte: Autor.

Figura 4. Secção dos cilindros em cortadora metalográfica



Fonte: Autor.

Figura 5. Verificação da espessura do disco cerâmico



Fonte: Autor.

### 3. 3 Recobrimento dos discos cerâmicos com agentes de cimentação

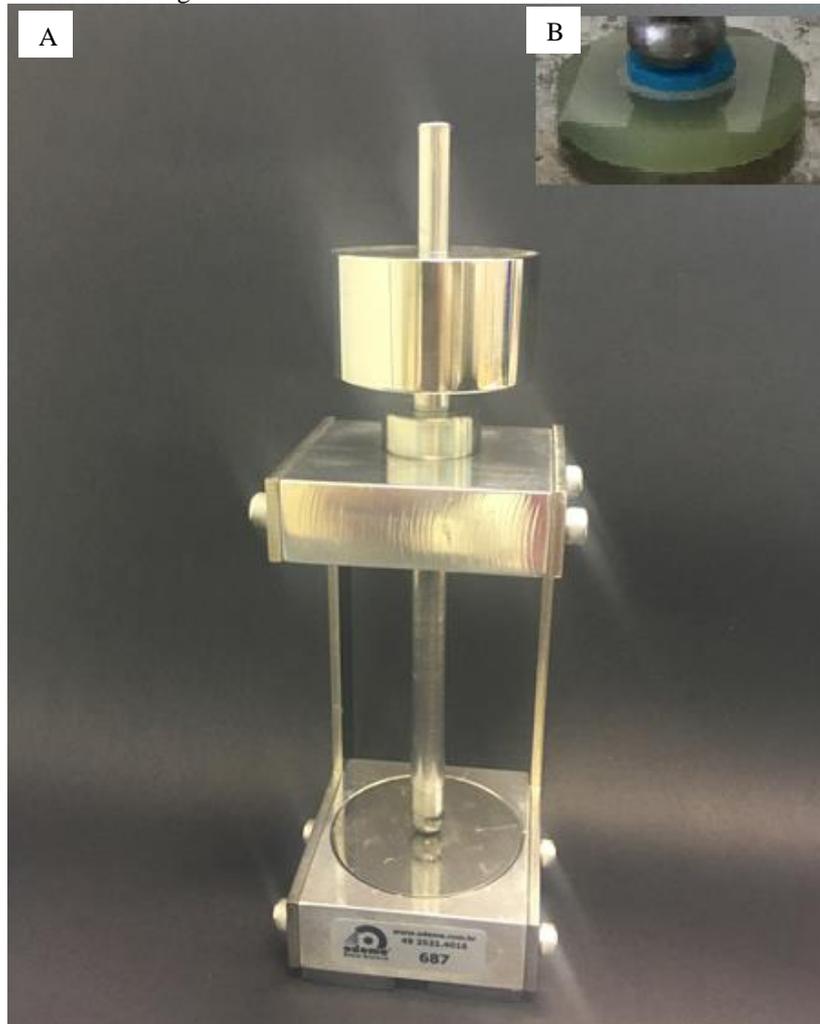
Uma das superfícies de cada disco cerâmico foi condicionada com ácido hidrofluorídrico a 10% (Dentsply Caulk, Milford, DE, EUA) por 90 s, lavada com jatos de ar/água por 30 s e seca com jatos de ar por 30 s. As amostras do grupo controle foram apenas condicionadas como descrito. Nos grupos em que o silano foi utilizado, duas camadas foram aplicadas utilizando microbrush (KG Sorensen, Cotia, SP, Brasil), e após 1 minuto a superfície foi seca com jatos de ar por 30 s. Para os grupos que receberam adesivo, uma camada de adesivo hidrófobo sem carga (convencional) foi aplicada uniformemente ou adesivo universal com leve agitação durante 15 s com o auxílio de microbrush e, a seguir, aplicado *spray* de ar por 10 s para a evaporação do solvente.

Uma camada de cimento resinoso fotopolimerizável ou resina *flow* foi aplicada no centro da superfície tratada do disco. Uma tira de poliéster foi posicionada sobre o cimento e uma pressão digital foi aplicada para espalhá-lo por toda superfície da cerâmica. O disco cerâmico foi colocado sobre uma matriz confeccionada de G10 (com módulo de elasticidade semelhante à dentina) com a tira de poliéster voltada para baixo. Sobre a cerâmica foi colocado um disco de silicone (2 mm de altura × 12 mm de diâmetro) para não concentrar tensões na região carregada e o conjunto foi levado a um dispositivo customizado (Odeme, Luzerna, SC, Brasil) (figuras 6A e 6B) onde carga constante e uniforme de 5 N foi aplicada por 60 s. Os excessos de cimento foram removidos com microbrush e o conjunto cerâmica-cimento foi fotopolimerizado por 60 s utilizando aparelho LED com 1200 mW/cm<sup>2</sup> (Radii; SDI, Bayswater, Victoria, Austrália).

Para os discos recobertos com resina composta aquecida (IPS Empress Direct, A1 Enamel, Ivoclar, Vivadent, Barueri, SP, Brasil), um incremento de resina composta foi colocado no centro da superfície tratada do disco e o conjunto foi levado ao interior de um dispositivo próprio para aquecimento de compósitos (Bandeja Calset, AdDent Inc, Danbury, CT, EUA) (figura 7) onde permaneceu por 3 minutos. Este aparelho estava previamente aquecido a uma temperatura de aproximadamente 68° C. Após este tempo, o conjunto foi removido de dentro do dispositivo e foram realizados os mesmos procedimentos de carregamento e fotopolimerização descritos para os outros agentes de cimentação.

A espessura final das amostras de cerâmica recobertas pelo agente de cimentação foi mensurada com paquímetro digital. Discos com camada de agente de cimentação abaixo 30 µm foram excluídos e novas amostras foram obtidas. Enquanto que aqueles com camada acima de 150 µm foram lixados até alcançar esta espessura limite (esta situação ocorreu exclusivamente para algumas amostras dos grupos que utilizaram como agente de cimentação a resina composta). A seguir, os corpos de prova foram armazenados sobre esponjas umedecidas onde permaneceram por 7 dias.

Figura 6. (A) Dispositivo para o carregamento (B) Disco cerâmico em posição recebendo a carga



Fonte: Autor.

Figura 7. Dispositivo para o aquecimento do compósito



Fonte: Autor.

### 3. 4 Ensaio de resistência à flexão biaxial

As amostras foram submetidas ao teste de resistência à flexão biaxial utilizando máquina de ensaio universal (DL 10.000; EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brasil) (figura 8), utilizando um dispositivo pistão-anel (*ball-on-ring*). As amostras foram colocadas em um suporte com 10 mm de diâmetro e carregadas centralmente com uma esfera (4 mm de diâmetro) com velocidade de 1 mm/min. A resistência dos discos cerâmicos (grupo controle) foi calculada por meio da Equação 1 (ROSENSTIEL et al., 1993; PAGNIANO et al., 2005):

Equação 1

$$\sigma_{bf} = \frac{3P(1 + \nu)}{4\pi t^2} \left[ 1 + 2 \ln \left( \frac{a}{b} \right) + \frac{1 - \nu}{1 + \nu} \left[ 1 - \frac{b^2}{2a^2} \right] \frac{a}{R^2} \right]$$

onde  $P$  é a carga de fratura (N),  $\nu$  é o coeficiente de Poisson (0,23) da cerâmica (BELLI et al., 2017),  $t$  é a espessura do disco (mm),  $\ln$  é o logaritmo neutro,  $a$  é o raio do suporte (mm),  $R$  é o raio da amostra (mm) e  $b$ , o raio da área de contato no centro da amostra (mm), determinado pela Equação 2 (HOOI; ADDISON; FLEMING, 2013):

Equação 2

$$b = \frac{t_1 + t_2}{3}$$

A resistência à flexão das amostras revestidas por agentes de cimentação (configuração bicamada) foi calculada de acordo com as soluções analíticas descritas anteriormente (HOOI; ADDISON; FLEMING, 2013; SPAZZIN et al., 2016). Primeiro, o  $E$  da cerâmica ( $E_1^*$ ) e agentes de cimentação ( $E_2^*$ ) foram calculados como uma função da razão de Poisson da cerâmica e agente de cimentação, de acordo com a Equação 3:

Equação 3

$$E_1^* = \frac{E_1}{1 - \nu_1^2} \quad E_2^* = \frac{E_2}{1 - \nu_2^2}$$

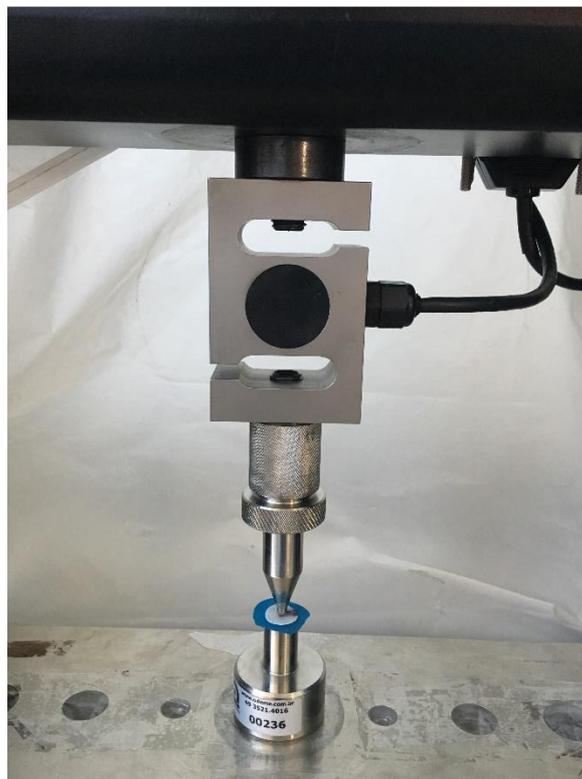
onde  $E_1$  é o módulo de elasticidade da cerâmica e  $E_2$  é o módulo de elasticidade do agente de cimentação. Enquanto que,  $\nu_1$  e  $\nu_2$  são os coeficiente de Poisson da cerâmica e do agente de cimentação, respectivamente. As propriedades de cada material estão descritas na tabela II. O

plano neutro ( $t_n$ ) das amostras de cerâmica recobertas foi calculado pela espessura da cerâmica e agente de cimentação ( $t_1$  e  $t_2$ ) e  $E_1^*$  e  $E_2^*$  foram calculados através da Equação 4:

$$\text{Equação 4}$$

$$t_n = \frac{E_1^*(t_1)^2 - E_2^*(t_2)^2}{2(E_1^*t_1 + E_2^*t_2)}$$

Figura 8. Dispositivo para o carregamento



Fonte: Autor.

Tabela II – Módulo de elasticidade (GPa) e coeficiente de Poisson da cerâmica e agentes de cimentação

Material	E*	Referência	$\nu^*$	Referência
Vita Mark II	70,1	BELLI et al. (2017)	0,23	BELLI et al. (2017)
RelyX Veneer	8,06	BACCHI et al. (2015)	0,27	DE JAGER et al. (2004)
Flow	6,2	ALMEIDA (2016)	0,27	DE JAGER et al. (2004)
Empress	12,5	SOUZA-LIMA et al. (2017)	0,30	AUSIELLO et al. (2002)

\* E = módulo de elasticidade;  $\nu$  = coeficiente de Poisson.

A resistência das amostras com cimento foram calculadas pelas posições axiais  $z$  no centro dos espécimes, onde está localizada a superfície da cerâmica na interface adesiva (posição  $z = 0$ ) e onde está localizada a superfície do agente de cimentação sobre o anel ( $z = -t_2$ ) de acordo com as Equações 5, 6 e 7:

Equação 5

$$\sigma_{bf} = \frac{-3P(1+\nu)(Z - tn)}{2\pi(t_1 + t_2)^3} \left[ 1 + 2\ln\left(\frac{a}{b}\right) + \frac{1-\nu}{1+\nu} \left(1 - \frac{b^2}{2a^2}\right) \frac{a^2}{R^2} \right] \\ \times \left[ \frac{E_1^*(E_1^*t_1 + E_2^*t_2)(t_1 + t_2)^3}{(E_1^*t_1^2)^2 + (E_2^*t_2^2)^2 + 2E_1^*E_2^*t_1t_2(2t_1^2 + 2t_2^2 + 3t_1t_2)} \right] \quad (z=0)$$

Equação 6

$$\sigma_{bf} = \frac{-3P(1+\nu)(Z - tn)}{2\pi(t_1 + t_2)^3} \left[ 1 + 2\ln\left(\frac{a}{b}\right) + \frac{1-\nu}{1+\nu} \left(1 - \frac{b^2}{2a^2}\right) \frac{a^2}{R^2} \right] \\ \times \left[ \frac{E_2^*(E_1^*t_1 + E_2^*t_2)(t_1 + t_2)^3}{(E_1^*t_1^2)^2 + (E_2^*t_2^2)^2 + 2E_1^*E_2^*t_1t_2(2t_1^2 + 2t_2^2 + 3t_1t_2)} \right] \quad (z=-t_2)$$

Equação 7

$$\nu = \frac{\nu_1 t_1 + \nu_2 t_2}{t_1 + t_2}$$

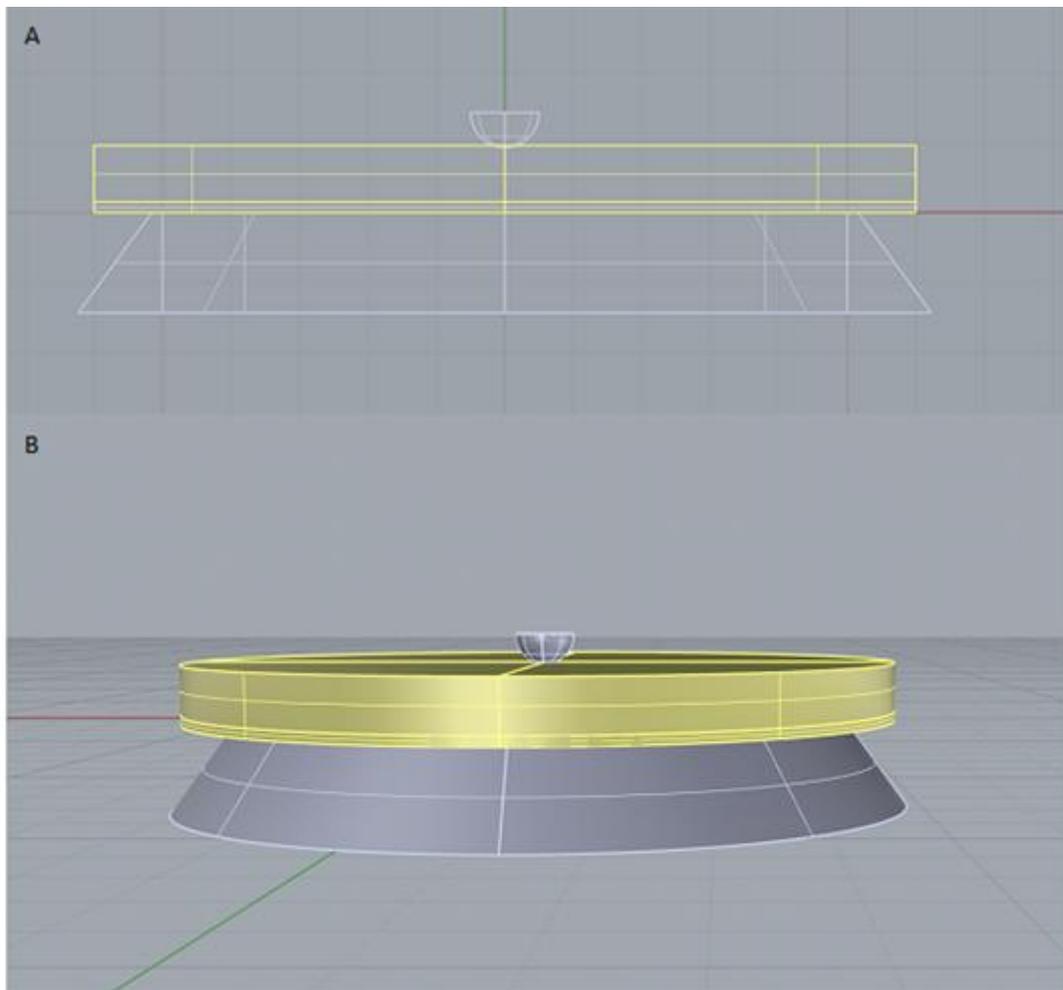
### 3.5 Análise estatística

Os dados em  $z = 0$  passaram por testes de normalidade e variância ( $p = 0.896$  e  $p = 0.362$ , respectivamente). Os dados em  $z = -t_2$  passaram por testes de normalidade e variância ( $p = 0.329$  e  $p = 0.53$ , respectivamente) após a transformação usando a raiz quadrada. A análise de variância ANOVA dois fatores foi realizada nas posições axiais  $z = 0$  e  $z = -t_2$  ( $\alpha = 0.05$ ). Os intervalos de confiança (IC 95%) da  $\sigma_{bf}$  dos discos cerâmicos foram calculados nas posições axiais  $z = 0$  e  $z = -t_2$ . Os grupos foram considerados significativamente diferentes quando os limites do intervalo de confiança de 95% não se sobrepuseram. A análise Weibull foi realizada para  $\sigma_{bf}$  utilizando o software Minitab v.14 (Minitab Inc., State College, PA, USA). O módulo de Weibull ( $m$ ), a resistência característica ( $\sigma_0$ ) e os ICs 95% foram calculados utilizando a estimativa por máxima verossimilhança.

### 3.6 Análise de Elementos Finitos

Para a simulação do teste de resistência flexural biaxial por meio do método dos elementos finitos (MEF) foram modeladas no programa Rhinoceros 3D (Rhinoceros 5.0 Educational; NURBS Modeling for Windows, McNeel and Associates, North America, Seattle, WA, EUA) (Figura 9A) as 4 estruturas envolvidas (aplicador, cerâmica, agente de cimentação e suporte) de acordo com as condições testadas no experimento *in vitro* (Figura 9B). Importante ressaltar que não foi possível representar a variação do protocolo adesivo utilizado em função da limitação da metodologia. Desta forma, os grupos de estudo foram simulados de acordo o cimento à base de resina utilizado (Veneer, *Flow* e Resina composta).

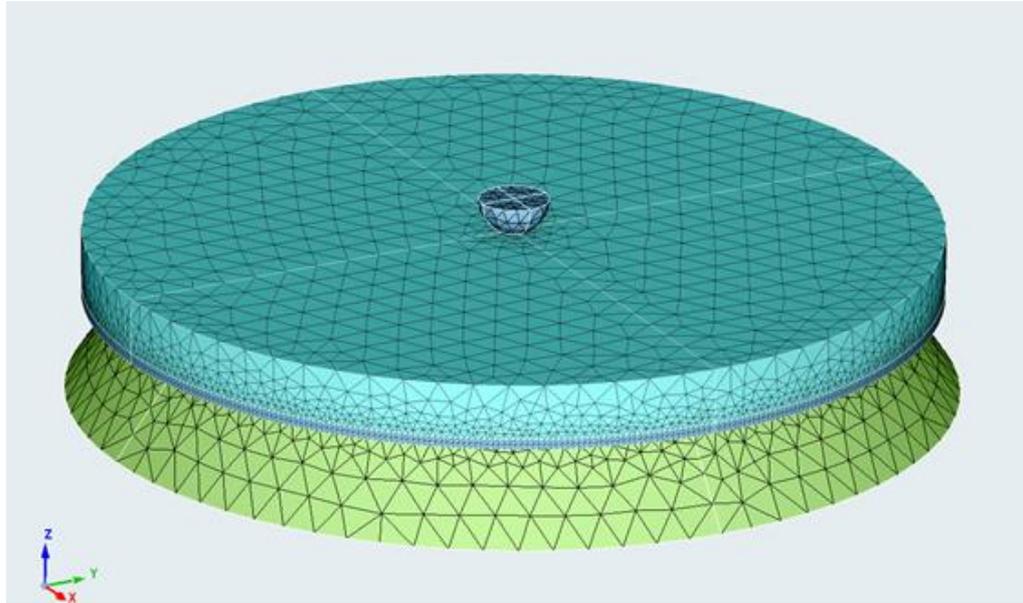
Figura 9. Criação do modelo geométrico CAD (aplicador, cerâmica, agente de cimentação e suporte) no programa Rhinoceros 3D (A) Vista 2D (B) Vista 3D.



Finalizado o modelo geométrico CAD, foi gerado um arquivo .STEP (*Standard for the Exchange of Product model data*) para importação pelo programa de simulação por

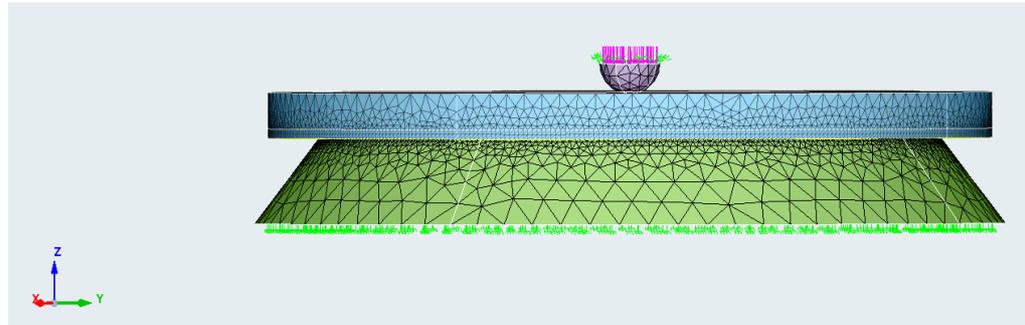
elementos finitos (SimLab 2017.2.1 (64-bit), Altair/HyperWorks, Troy, MI, EUA). Neste programa foi realizada a malha de elementos finitos individualmente para cada estrutura do modelo melhorando a definição do tamanho do elemento a ser utilizado. Inicialmente, foi realizada a malha de superfície (malha 2D) e, posteriormente, foi gerada a malha volumétrica com elementos tetraédricos do tipo Tri3 (figura 10), totalizando 301.225 elementos e 527.410 nós.

Figura 10. Representação da malha de elementos finitos.



Os materiais foram considerados homogêneos, isotrópicos e linearmente elásticos e as propriedades mecânicas requeridas para a análise (módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson) foram as mesmas utilizadas para determinar a resistência à flexão biaxial e estão apresentadas na Tabela II. Foram definidas as condições de restrição no modelo sendo fixada a ponta aplicadora nos eixos  $x$  e  $y$ , permitindo apenas o deslocamento no eixo  $z$  e a base do suporte metálico foi fixado nos três eixos do plano cartesiano ( $x = y = z = 0$ ). Carga axial estática de 100 N (SPAZZIN et al., 2017) foi aplicada na superfície superior da ponta aplicadora (Figura 11).

Figura 11. Condição de restrição e carregamento (setas rosas mostram a aplicação do carregamento e os triângulos verdes evidenciam as condições de restrição).



Os contatos entre cimento e cerâmica, e entre cimento e suporte foram considerados perfeitamente unidos, ou seja, sem falhas na adesão e interposição das mesmas, utilizando o contato do tipo *FREEZE*. Já entre a ponta aplicadora e cerâmica considerou-se a possibilidade de deslizamento entre as superfícies, semelhantemente ao que pode ocorrer durante o experimento *in vitro*, sendo utilizado o contato do tipo *SLIDE*.

Os modelos foram solucionados no módulo de processamento OptiStruct, sendo os resultados avaliados no módulo de pós processamento do SimLab 2017.2.1 (64-bit) (Altair/HyperWorks, Troy, Michigan, EUA) para a análise das tensões e de coerência dos deslocamentos. A análise qualitativa e quantitativa dos modelos foi realizada empregando a tensão máxima principal (MPa).

### 3.7 Análise da morfologia da interface de união e fractografia por meio de microscopia eletrônica de varredura

Quatro discos adicionais de cerâmica foram utilizados para cada grupo experimental para avaliar a penetração mecânica dos cimentos na superfície da cerâmica condicionada, bem como a homogeneidade e continuidade da união ao longo da interface, exceto para o grupo controle. Foi utilizada a técnica de “sanduíche” (NAVES et al., 2010), onde dois discos de cerâmica foram cimentados (de acordo com a técnica previamente descrita no recobrimento dos discos cerâmicos com agentes de cimentação) gerando duas amostras (cerâmica-cimento-cerâmica) para cada grupo testado ( $n = 2$ ). Após, cada amostra foi seccionada perpendicularmente à interface de união em uma cortadora metalográfica (Isomet 1000) com o auxílio de disco diamantado (15LC, Buehler), dupla face, em baixa rotação e sob refrigeração com água, gerando três partes. As mesmas foram incluídas transversalmente em resina acrílica (Orto Class, Artigos Odontológicos Clássico, São Paulo, SP, Brasil) para que as interfaces cerâmica/agente de cimentação pudessem ser visualizadas. Após 24 horas, as superfícies foram

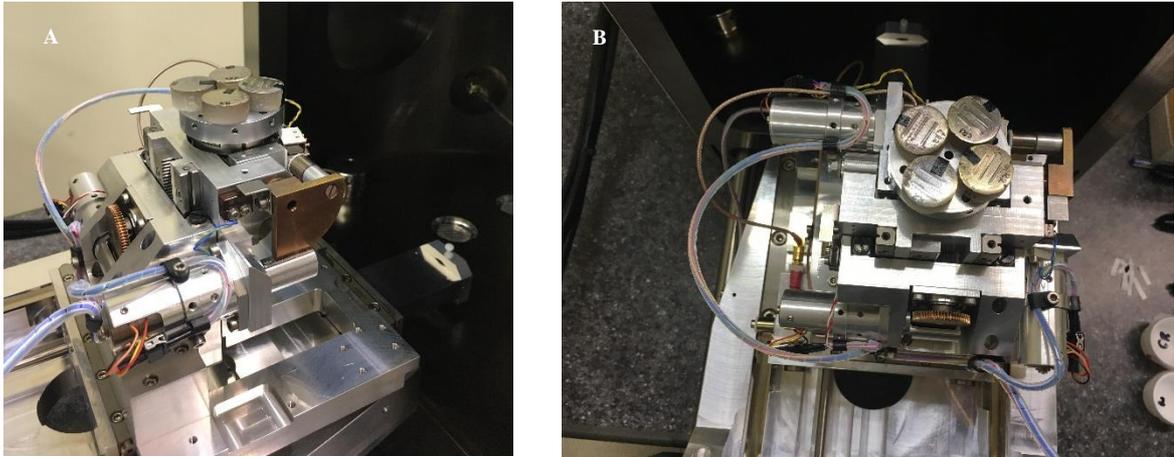
polidas sequencialmente utilizando papel abrasivo com granulações 600, 1200, 2000 e 2500 (3M ESPE) e, posteriormente, com pastas de diamante com tamanho de partículas de 3, 1 e 0,25  $\mu\text{m}$  (Metadi II; Buehler, Lake Bluff, IL, EUA). Depois disso, foram colocadas em cuba ultrassônica preenchida com metade de etanol e metade de água destilada onde permaneceram por 1 h, secas e montadas em *stubs* de alumínio, metalizadas (Figura 12) em pulverizador de ouro (SCD 050 Sputter Coater, BAL-TEC, Furstentum, Liechtenstein) observadas em MEV sob 0,1 mbar de vácuo (Figura 13) (EVO 50, Zeiss, Cambridge, Reino Unido). Imagens representativas de cada amostra foram obtidas em aumento de 300<sup>x</sup> e 1.00 K<sup>x</sup>.

Figura 12. Amostras pulverizadas com ouro



Fonte: Autor

Figura 13. Amostras posicionadas no MEV EVO 50 (A) Vista lateral; (B) Vista superior



Fonte: Autor

Para a análise fractográfica, 3 fragmentos do ensaio de flexão biaxial de cada grupo pesquisado foram observados em estereomicroscópio a fim de identificar a origem da fratura. e após foram lavados em cuba ultrassônica preenchida com metade de água destilada e metade de etanol por 1 h, secos, cobertos com ouro (Figura 14) e observados em microscopia eletrônica de varredura sob diferentes ampliações (50, 100 e 500<sup>x</sup>). A área selecionada da amostra para a realização da imagem foi o centro do disco (a baixo da área de compressão) do teste de resistência flexural.

Figura 14. Amostras preparadas para a fractografia



Fonte: Autor.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Avaliação da resistência à flexão biaxial

Na posição  $z = 0$ , a análise de duas variâncias mostrou efeito significativo para os fatores “cobertura da superfície” ( $p < 0,001$ ) e “agente de cimentação” ( $p = 0,002$ ) e interação entre os dois fatores ( $p = 0,025$ ). Na posição  $z = -t_2$ , a análise de duas variâncias mostrou efeito significativo para os fatores “cobertura da superfície” ( $p < 0,001$ ) e “agente de cimentação” ( $p = 0,002$ ), sem interação entre os dois fatores ( $p = 0,081$ ). As médias da  $\sigma_{bf}$ ,  $\sigma_0$  e  $m$  dos grupos nas diferentes posições axiais ( $z = 0$  e  $z = -t_2$ ) são apresentadas na Tabela III. O recobrimento dos discos cerâmicos com os cimentos à base de resina proporcionou um aumento significativo na resistência em  $z = 0$  quando comparados ao grupo controle. Quando comparados os diferentes protocolos adesivos e os agentes de cimentação na posição  $z = 0$ , o grupo Sil+RF apresentou maior resistência que os demais grupos, sem diferença significativa comparado ao Sil+CR. A utilização de adesivo convencional, após o silano, previamente à resina composta aquecida (Sil+Ad+RCA) e ao cimento resinoso (Sil+Ad+CR) não apresentou diferença significativa na resistência quando comparado aos grupos onde este não foi utilizado (Sil+RCA e Sil+CR). Entretanto, o uso de adesivo prévio à resina flow (Sil+Ad+RF) proporcionou menor resistência comparado ao grupo onde este não foi aplicado (Sil+RF). Os grupos onde o adesivo universal foi utilizado previamente à resina *flow* (Univ+RF) e ao cimento resinoso (Univ+CR) apresentaram menor resistência da cerâmica quando comparados aos seus respectivos grupos com silano somente (Sil+RF e Sil+CR). Os protocolos adesivos não influenciaram a resistência da cerâmica quando recoberta com resina composta aquecida.

A análise de Weibull para todos os grupos na posição axial  $z = 0$  está demonstrada na Figura 15. Os grupos CTR, Sil+RCA e Univ+RCA apresentaram menor confiabilidade mecânica da estrutura em  $z = 0$  quando comparados ao grupo UV, pois apresentaram menor  $m$ .

Na posição axial  $z = -t_2$ , os grupos onde a resina composta aquecida foi utilizada (Sil+RCA, Sil+Ad+RCA e Univ+RCA) apresentaram maior resistência, quando comparados aos demais grupos, seguido pelos grupos com cimento resinoso e a menor resistência foi encontrada para os grupos com resina flow. A análise de Weibull para a posição axial  $z = -t_2$  pode ser observado na Figura 16. A confiabilidade da estrutura em  $z = -t_2$  foi dependente do tipo de protocolo adesivo e cimento à base de resina utilizado. O grupo Univ+RF apresentou maior valor de  $m$  quando comparado aos grupos Sil+RCA e Univ+RCA, mas sem diferença significativa para os demais grupos.

Tabela III. Estimativas (intervalo de confiança de 95%) para média da resistência à flexão biaxial ( $\sigma_{bf}$ ), resistência característica ( $\sigma_0$ ) e análise de Weibull ( $m$ ), n=30 dos grupos em Z = 0 e Z = -t<sub>2</sub>.

Grupo	Position axial z=0			Position axial z=-t <sub>2</sub>		
	$\sigma_{bf}$ (MPa)	$\sigma_0$ (MPa)	$m$	$\sigma_{bf}$ (MPa)	$\sigma_0$ (MPa)	$m$
CTR	103,8 (99,9–107,7) <sup>D</sup>	108,7 (104,7–112,8) <sup>E</sup>	10,2 (7,9–13,3) <sup>B</sup>	-	-	-
Sil+CR	122,9 (118,9–126,9) <sup>AB</sup>	127,8 (124,1–131,5) <sup>AB</sup>	13,2 (10,0–17,3) <sup>AB</sup>	16,4 (15,7–17,1) <sup>B</sup>	17,2 (16,5–17,9) <sup>B</sup>	9,5 (7,3–12,4) <sup>ABC</sup>
Sil+RF	128,2 (124,8–131,6) <sup>A</sup>	132,5 (129,4–135,7) <sup>A</sup>	15,9 (12,0–21,1) <sup>AB</sup>	13,5 (13,1–13,9) <sup>D</sup>	14,0 (13,6–14,4) <sup>D</sup>	13,2 (10,0–17,5) <sup>ABC</sup>
Sil+RCA	117,5 (113,6–121,4) <sup>BC</sup>	122,6 (118,3–127,1) <sup>BCD</sup>	10,5 (8,2–13,6) <sup>B</sup>	32,8 (31,5–34,1) <sup>A</sup>	34,5 (32,9–36,0) <sup>A</sup>	8,5 (6,7–10,9) <sup>BC</sup>
Ad+CR	119,7 (115,9–123,4) <sup>BC</sup>	124,4 (120,6–128,3) <sup>BCD</sup>	12,3 (9,4–16,0) <sup>AB</sup>	15,7 (15,2–16,2) <sup>BC</sup>	16,3 (15,8–16,8) <sup>BC</sup>	12,4 (9,4–16,3) <sup>ABC</sup>
Ad+RF	119,7 (115,9–123,5) <sup>BC</sup>	124,5 (120,9–128,2) <sup>BC</sup>	12,9 (9,8–16,9) <sup>AB</sup>	12,4 (12,0–12,8) <sup>E</sup>	12,9 (12,5–13,4) <sup>E</sup>	10,8 (8,3–14,1) <sup>ABC</sup>
Ad+RCA	113,1 (109,0–117,2) <sup>C</sup>	118,3 (114,1–122,7) <sup>CD</sup>	10,6 (8,1–13,9) <sup>AB</sup>	31,3 (30,0–32,6) <sup>A</sup>	32,9 (31,5–34,3) <sup>A</sup>	9,1 (7,0–11,8) <sup>ABC</sup>
Univ+CR	114,9 (112,5–117,3) <sup>C</sup>	118,1 (115,6–120,6) <sup>D</sup>	17,8 (13,7–23,0) <sup>A</sup>	15,2 (14,8–15,6) <sup>C</sup>	15,8 (15,3–16,2) <sup>C</sup>	13,5 (10,4–17,5) <sup>AB</sup>
Univ+RF	115,1 (111,5–118,7) <sup>C</sup>	119,3 (116,3–122,4) <sup>CD</sup>	15,3 (11,3–20,8) <sup>AB</sup>	11,8 (11,4–12,2) <sup>E</sup>	12,2 (11,9–12,6) <sup>E</sup>	14,7 (11,0–19,7) <sup>A</sup>
Univ+RCA	116,1 (112,1–120,1) <sup>BC</sup>	121,3 (116,9–125,9) <sup>BCD</sup>	10,3 (7,9–13,3) <sup>B</sup>	32,1 (30,6–33,6) <sup>A</sup>	34,0 (32,3–35,7) <sup>A</sup>	7,8 (6,0–10,0) <sup>C</sup>

\*Letras diferentes na mesma coluna indicam que não houve sobreposição nos intervalos de confiança e, conseqüentemente, diferença significativa entre os grupos.

Figura 15. Sobrevivência (análise de Weibull) para todos os grupos na posição axial  $z = 0$

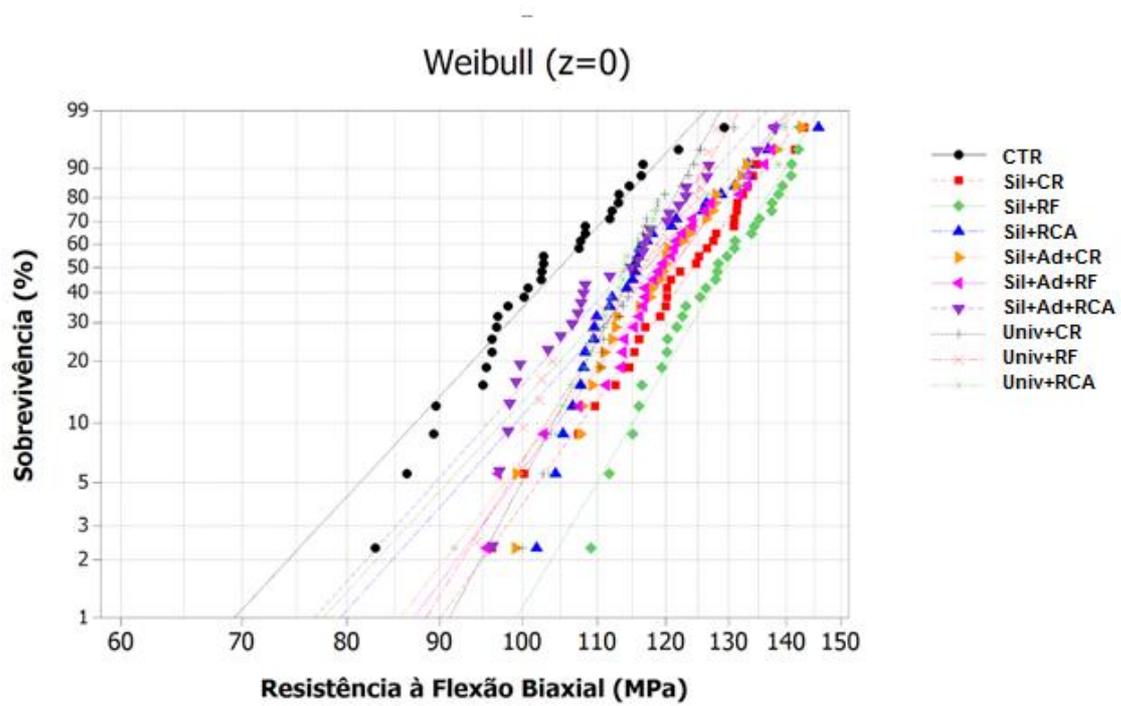
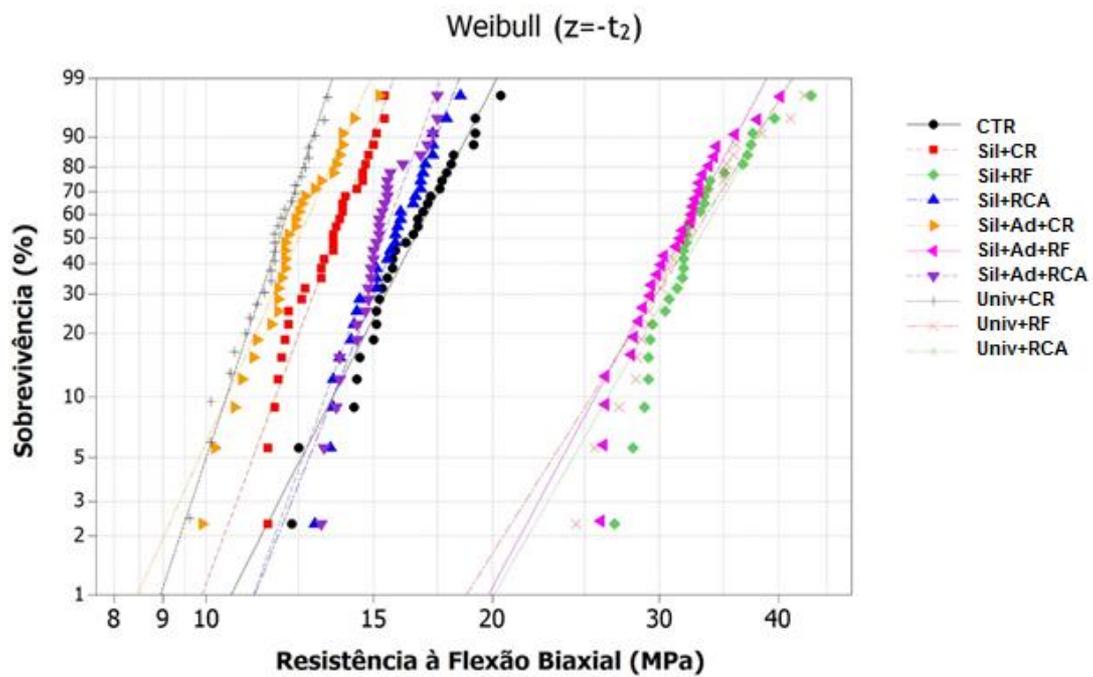


Figura 16. Sobrevivência (análise de Weibull) para todos os grupos na posição axial  $z = -t_2$



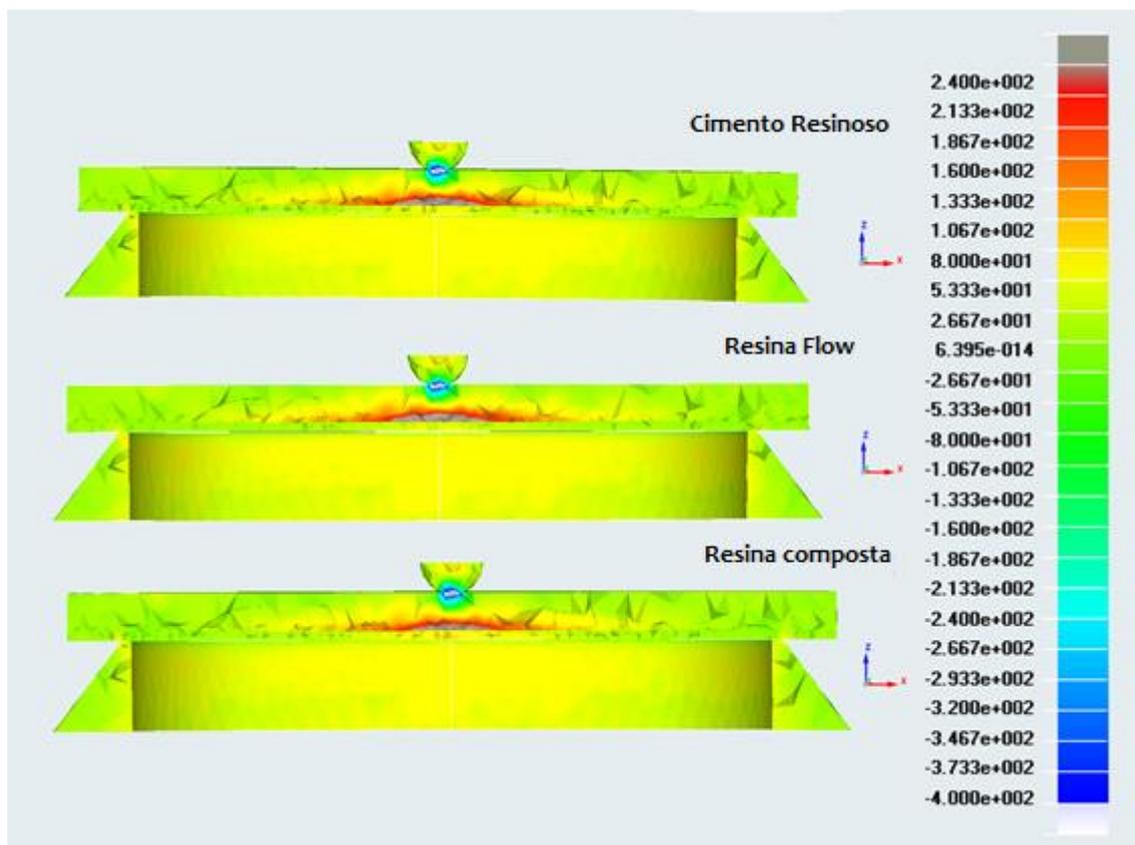
## 4.2 Análise de elementos finitos

A Figura 17 apresenta as imagens representativas da análise de elementos finitos simulando o ensaio de flexão biaxial. Tensões são observadas na superfície em contato com o aplicador. Tensões de baixa magnitude também são observadas na superfície abaixo do agente de cimentação na região de contato com o suporte. A resina composta aquecida diminui a concentração das tensões na cerâmica (posição  $z = 0$ ), cerca de 10% a 13% em relação ao cimento fotopolimerizável e a resina flow respectivamente (Tabela IV).

Tabela IV – Deslocamento e máxima principal dos grupos de acordo com o agente de cimentação.

GRUPOS	DESLOCAMENTO ( $\mu\text{m}$ )	MÁXIMA PRINCIPAL (MPa)
Cimento resinoso	5,782	398,10
Resina flow	6,048	417,00
Resina composta	5,318	359,60

Figura 17. Imagens da análise de elementos finitos 3D mostrando a distribuição das tensões no aplicador, cerâmica, agente de cimentação e dispositivo para amostras carregadas a 100 N na flexão biaxial



#### 4.3 Análise da morfologia da interface de união e fractografia por meio de microscopia eletrônica de varredura

A análise da morfologia da interface adesiva é apresentada na Figura 18. As imagens mostram que houve penetração do cimento resinoso fotopolimerizável e resina flow mesmo quando não foi utilizado adesivos previamente. Porém, na imagem relativa ao grupo com resina composta aquecida sem uso de adesivos prévios (Sil+RCA) foi observado incompleto preenchimento das irregularidades mais profundas na superfície da cerâmica condicionada.

A Figura 19 apresenta as imagens da análise fractográfica. Todos os grupos apresentaram um padrão de falha semelhante entre si. As imagens sugerem várias origens, sendo elas múltiplas ou pontuais, frequentemente associadas a bolhas no cimento ou poros na superfície da cerâmica.

Figura 18. Imagens em MEV da interface de união cerâmica-agente de cimentação de todos os grupos experimentais. As setas indicam os locais de irregularidades na cerâmica onde não houve preenchimento pelo cimento a base de resina e os indicadores mostram onde apenas o adesivo penetrou.

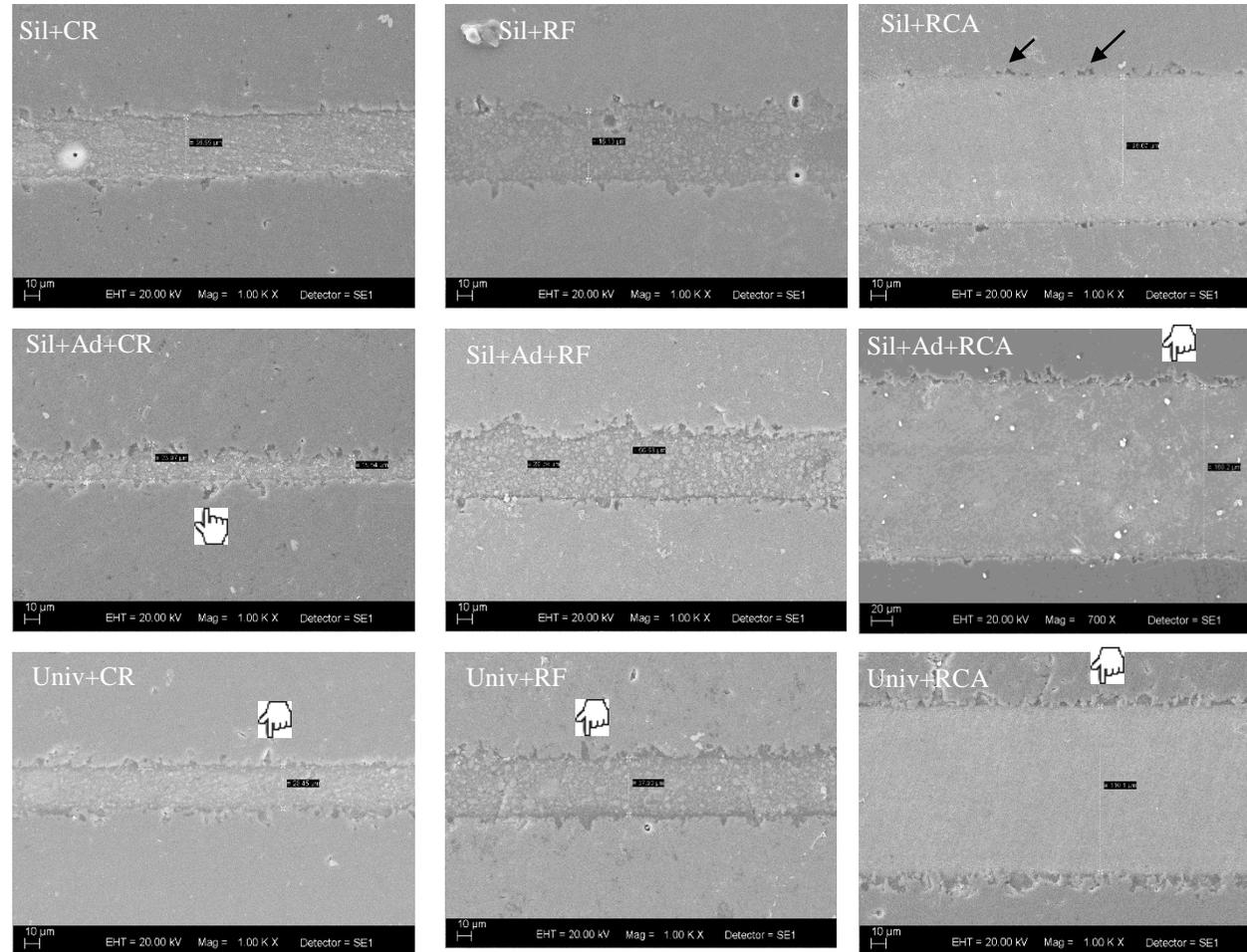
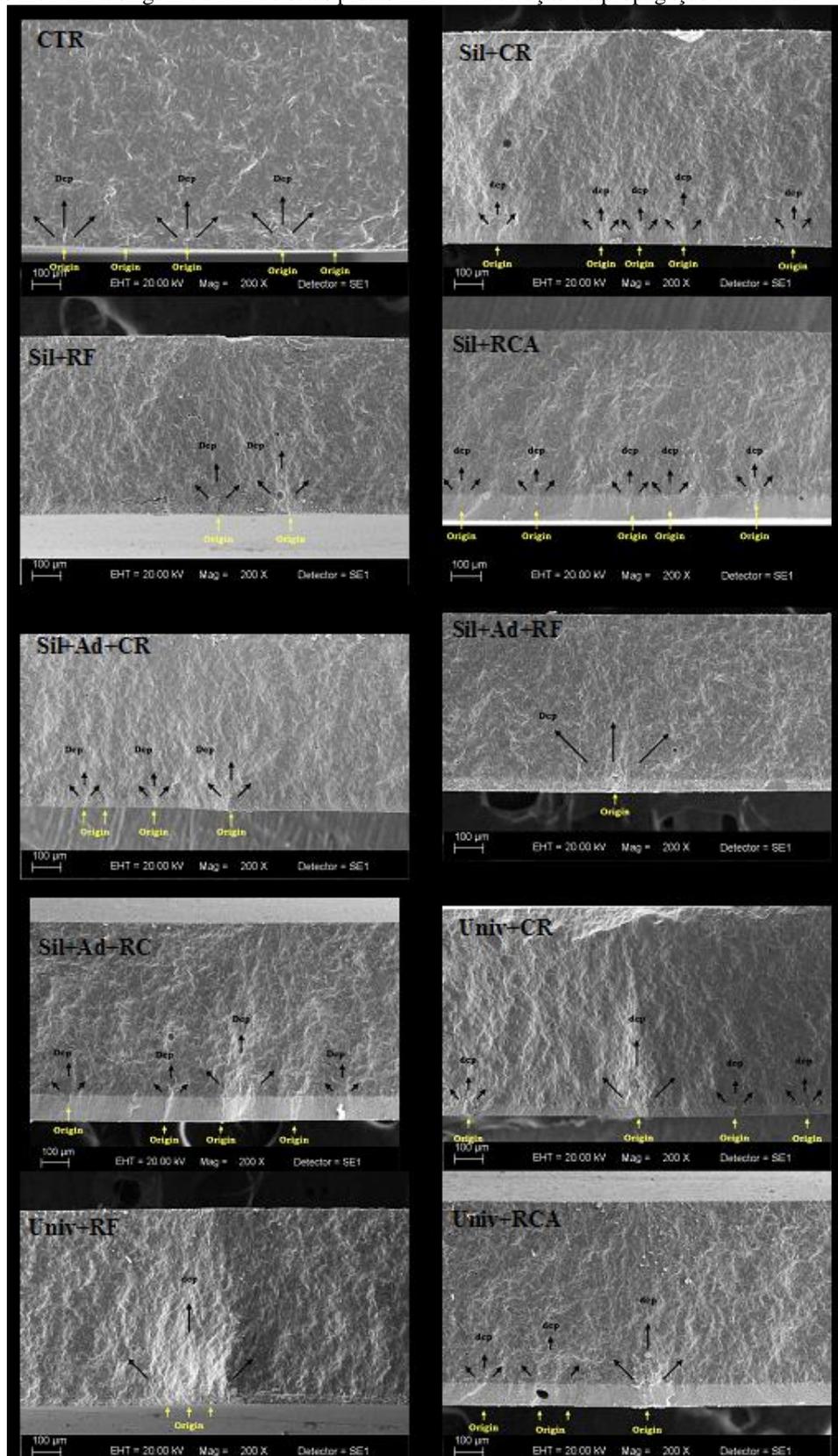


Figura 19. Imagens representativas em MEV das superfícies fraturadas dos grupos experimentais. Setas amarelas indicam a origem da falha e setas pretas indicam a direção de propagação da trinca.



## 5. DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo proporcionam evidências de que a silanização é fundamental para melhorar o reforço da cerâmica feldspática utilizando os agentes de cimentação à base de resina. Além do módulo de elasticidade destes cimentos, como descrito em trabalhos prévios (ADDISON; MARQUIS; FLEMING, 2007a; SPAZZIN et al., 2017), as propriedades reológicas e a penetração deles na superfície da cerâmica condicionada também parecem ser importantes para melhorar a resistência mecânica da cerâmica. Quando consideramos a resistência à flexão da cerâmica (posição  $z=0$ ), diferenças significantes foram observadas entre os diferentes protocolos adesivos e agentes de cimentação avaliados, rejeitando a hipótese nula de que estes fatores não influenciariam na resistência à flexão da cerâmica feldspática. Entretanto, a resistência à flexão da cerâmica não foi influenciada pelos diferentes protocolos adesivos utilizados previamente à resina aquecida.

Estudos prévios têm sugerido a aplicação de adesivos sem carga de baixa viscosidade prévio a cimentação para obter maior resistência adesiva entre as cerâmicas vítreas e cimentos resinosos (NAVES et al., 2010; SUNDFELD et al., 2015). No presente estudo, o uso de adesivo após a aplicação do silano diminuiu a resistência à flexão da cerâmica quando utilizada a resina *flow* como agente de cimentação, enquanto que não teve efeito significativo quando associado ao cimento resinoso fotopolimerizável. Estes achados sugerem que o uso de um material adicional de baixo módulo de elasticidade penetrando as irregularidades da cerâmica condicionada, como evidenciado nas imagens de MEV (Figura 18), não melhora o comportamento mecânico da cerâmica feldspática e pode impactar negativamente dependendo do agente de cimentação à base de resina utilizado. Além disso, aumenta a evidência de que materiais com maior módulo de elasticidade devem penetrar as irregularidades proporcionadas pelo condicionamento ácido para aumentar a resistência da cerâmica feldspática (SPAZZIN et al., 2016; SPAZZIN et al., 2017).

De acordo com as informações dos fabricantes, a resina composta fluida contém nanopartículas de sílica (75 nm), partículas de zircônia (5 – 10 nm) e aglomerados (0,6 – 1,4  $\mu\text{m}$ ), enquanto que o cimento resinoso é composto apenas de micropartículas com um tamanho médio de 0,6  $\mu\text{m}$ . Tais propriedades podem explicar o motivo pelo qual a resina *flow* foi melhor sem adesivo quando comparada aos demais agentes de cimentação.

Os estudos prévios que sugerem a utilização de adesivo testaram um cimento resinoso com alta viscosidade (Variolink II; Ivoclar Vivadent) (NAVES et al., 2010; SUNDFELD NETO et al., 2015), o qual não foi avaliado no presente estudo. Entretanto, a aplicação de adesivo associado a cimentos resinosos de baixa viscosidade poderia diminuir a resistência adesiva com a cerâmica bem como sua resistência à fratura. Estudos adicionais com enfoque maior na viscosidade dos cimentos resinosos e avaliando interface adesiva quanto ao comportamento mecânico da cerâmica são indicados para sanar as hipóteses apresentadas.

O uso do adesivo universal como substituto do silano diminuiu a resistência à flexão da cerâmica feldspática quando utilizado o cimento resinoso fotopolimerizável ou a resina *flow*. Este resultado poderia estar relacionado com a quantidade limitada de silano na composição devido aos vários componentes presentes no adesivo universal, o que proporcionaria uma adesão química inferior àquela do silano utilizado separadamente. Outro ponto que pode ter contribuído para a menor resistência mecânica encontrada é o fato de que o 10-MDP, encontrado nestes adesivos, é mais hidrófilo, o que poderia diminuir a estabilidade da união (LEE et al., 2017; ARAÚJO et al., 2018) e, também, a formação de uma camada de adesivo entre a cerâmica e os agentes de cimentação, como observado nas imagens de MEV (Figura 18), podem ter contribuído para dificultar a penetração dos cimentos nas irregularidades da superfície da cerâmica condicionada. Além disso, foi sugerida a silanização como um passo clínico separado em cimentação de estruturas cerâmicas vítreas, mesmo em associação com adesivos universais (GARBOZA et al., 2016).

Quando comparamos os diferentes agentes de cimentação, o cimento resinoso fotopolimerizável e a resina *flow* mostraram um comportamento mecânico e uma interface adesiva similar. Este resultado pode ter ocorrido devido aos materiais apresentarem viscosidades e módulos de elasticidade semelhantes entre si, penetrando efetivamente nas irregularidades da cerâmica condicionada (Figura 18). A análise de elementos finitos também mostrou distribuição de tensão similar entre os dois agentes de cimentação simulados (Figura 17). De modo geral, a utilização da resina composta aquecida, apesar de maior módulo de elasticidade, diminui a tensão incidente sobre a cerâmica como observado na distribuição de tensão (Figura 17), rejeitando a segunda hipótese apresentada. Entretanto, proporcionou menor resistência à flexão da cerâmica

comparada aos demais agentes de cimentação quando utilizado somente silano previamente. Tal fato, possivelmente, ocorreu porque o aquecimento da resina composta parece não ter sido suficiente para diminuir sua viscosidade a ponto de permitir seu escoamento pela superfície da cerâmica, como é possível verificar nas imagens da interface de união (Figura 18) que mostram que, independente do protocolo adesivo utilizado, não houve completo preenchimento das irregularidades na cerâmica, rejeitando a terceira hipótese apresentada. Sendo assim, vem corroborar com estudos prévios que demonstram falta de intimidade entre os defeitos superficiais cerâmicos e o material infiltrante (FLEMING; HOOI; ADDISON, 2012; SUNDSFELD et al., 2018).

Como já descrito previamente na literatura (SPAZZIN et al., 2017; BACCHI et al., 2018), a resistência à flexão do agente de cimentação revestindo a cerâmica, na posição axial  $z = -t_2$ , é dependente do próprio material utilizado e, principalmente, do seu módulo de elasticidade. Isso ficou evidente uma vez que a maior resistência encontrada nessa posição foi para os grupos onde a resina composta aquecida foi utilizada, quando comparados aos demais grupos. Isso significa que as resinas compostas possuem propriedades mecânicas aumentadas e o reforço fornecido por elas para a cerâmica deveria ser influenciado por isso, pois materiais com melhores propriedades físicas (maior  $\sigma_{bf}$  na posição  $z = -t_2$ ) deveriam suportar melhor as forças e manter uma união adequada à estrutura dentária, impedindo a falha prematura da restauração (SPAZZIN et al., 2017). Porém, neste estudo, a maior resistência da resina composta não proporcionou maior resistência à cerâmica.

Através do módulo de Weibull ( $m$ ) (Tabela II), é possível caracterizar a confiabilidade e a probabilidade de fratura de materiais frágeis (WEIBULL, 1951). Um material com maior módulo de Weibull apresenta maior confiabilidade estrutural, maior nível de integridade estrutural e potencialmente maior confiabilidade clínica (WEIBULL, 1951). No presente estudo, a confiabilidade ( $m$ ) em  $z = 0$  foi menor para a cerâmica apenas condicionada e para os grupos com resina composta aquecida, exceto para aquele que utilizou adesivo hidrófobo associado ao silano, com valores variando de 10,2 a 17,8 com diferença estatística apenas para o grupo que utilizou adesivo universal prévio ao cimento resinoso fotopolimerizável. No entanto, mesmo que o  $m$  não tenha sido alterado para o grupo Univ+CR, é possível observar uma redução significativa na resistência deste grupo, quando comparado ao cimento resinoso e resina *flow* associados apenas a silano.

Ainda, com base no gráfico de sobrevivência ( $z = 0$ ) (Figura 15), pode-se notar que, para o grupo CTR, há uma alta probabilidade de falha de 70% com uma tensão aplicada de aproximadamente 110 MPa. Enquanto que para a resina *flow* associada ao silano, a probabilidade de falha é muito pequena, não excedendo 3%, demonstrando que este material de cimentação teve impacto positivo sobre a resistência da cerâmica quando comparado com os outros protocolos de cimentação testados.

Todos os grupos apresentaram um padrão semelhante de fratura entre si. As imagens (Figura 19) sugerem várias origens, sendo elas múltiplas ou pontuais, frequentemente associadas a poros na superfície da cerâmica, nos espécimes não revestidos por uma camada de agente de cimentação, e a bolhas no cimento, em amostras revestidas por cimento à base de resina, logo abaixo da interface cerâmica-resina, concordando com estudos prévios (SOARES et al., 2016; BACCHI et al., 2018). Estas falhas críticas, geralmente se iniciam em uma área da superfície sujeita à tração e se propagam por todo o material, levando a uma falha catastrófica.

O recobrimento da cerâmica feldspática condicionada aumentou os valores da resistência à flexão biaxial, independente do protocolo adesivo e agente de cimentação utilizados. Estes resultados demonstram que a utilização de cimentos à base de resina conferiu reforço à estrutura cerâmica degradada pelo condicionamento ácido concordando com estudos prévios (SOARES et al., 2016; SPAZZIN et al., 2017) e reforçam a ideia de que a formação de uma camada híbrida de cerâmica-resina oferece um modelo conveniente do mecanismo de resistência das restaurações totalmente em cerâmica (ADDISON; FLEMING, 2008).

Nesse contexto, parece lícito afirmar que a resistência da cerâmica, além de ser influenciada pelo módulo de elasticidade do agente de cimentação, depende também da sua viscosidade, como sugerido em estudos prévios (SPAZZIN et al., 2016; SPAZZIN et al., 2017). Logo, a utilização da resina fluida associada apenas ao silano, sem adesivo prévio, parece ser mais adequado como material de escolha para a cimentação de facetas laminadas em cerâmica feldspática, tendo em vista a simplificação da técnica (necessita menor número de passos) e confere maior resistência. Já a resina composta, embora tendo obtido resultados promissores, precisa ser ainda melhor explorada para ser empregada como agente de cimentação. Técnicas que pudessem favorecer o escoamento da resina composta aquecida e o assentamento da peça a ser cimentada, tais como a técnica de

inserção ultrassônica (PEUTZFELDT, 1994; SCHMIDLIN et al., 2005) deveriam ser investigadas. Além disso, estudos futuros verificando a resistência da cerâmica cimentada sobre base, utilizando material análogo à dentina, deveriam ser realizados.

## CONCLUSÕES

Diante da metodologia empregada e com base nos resultados obtidos foi possível concluir que:

- 1- A utilização de adesivo convencional após o silano pode interferir negativamente na resistência da cerâmica feldspática dependendo do agente de cimentação utilizado.
- 2- O uso de adesivo universal proporcionou menor resistência para cerâmica feldspática quando utilizado com o cimento resinoso fotopolimerizável e a resina *flow*.
- 3- A resina composta aquecida, embora não tenha apresentado penetração efetiva nas irregularidades da cerâmica feldspática condicionada, diminuiu a concentração das tensões na cerâmica e os protocolos adesivos não influenciaram a resistência da cerâmica quando associados a este material.
- 4- O recobrimento dos discos cerâmicos com agentes de cimentação à base de resina foi capaz de reforçar a cerâmica feldspática condicionada.

## REFERÊNCIAS

- ADDISON, O.; MARQUIS, P. M.; FLEMING, G. J. Resin elasticity and the strengthening of all-ceramic restorations. *J Dent Res*, v. 86, n. 6, p. 519-523, 2007a.
- ADDISON, O.; MARQUIS, P. M.; FLEMING, G. J. The impact of hydrofluoric acid surface treatments on the performance of a porcelain laminate restorative material. *Dent. Mater.*, v. 23, n. 4, p. 461-468, 2007b.
- ADDISON, O.; MARQUIS, P. M.; FLEMING, G. J. Adhesive luting of all-ceramic restorations – The impact of cementation variables and short-term water storage on the strength of a feldspathic dental ceramic. *J. Adhes. Dent.*, v. 10, n. 4, p. 285-293, 2008.
- ADDISON, O.; FLEMING, G. J. P. Application of analytical stress solutions to bi-axially loaded dental ceramic-dental cement bilayers. *Dent. Mat.*, v. 24, n. 10, p. 1336-1342, 2008.
- AHN, K. H.; LIM, S.; KUM, K. Y.; CHANG, S. W. Effect of preheating on the viscoelastic properties of dental composite under different deformation conditions. *Dent. Mater. J.*, v. 34, n. 5, p. 702-706, 2015.
- AYUB, K. V.; SANTOS, G. C. JR; RIZKALLA, A. S.; BOHAY, R.; PEGORARO, L. F.; RUBO, J. H.; SANTOS, M. J. Effect of preheating on microhardness and viscosity of 4 resin composites. *J. Can. Dent. Assoc.*, v. 80, p. 12, 2014.
- ALEX, G. Preparing porcelain surfaces for optimal bonding. *Compend. Contin. Educ. Dent.*, v. 29, n. 6, p. 324-335, 2008.
- ALMEIDA, S. B. M. **Avaliação das propriedades físicas de resinas compostas restauradoras pré-aquecidas e resinas fluidas com a finalidade de cimentação de facetas cerâmicas.** 2016. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Faculdade de Odontologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- ARAÚJO, A.M.M.; JANUÁRIO, A.B.D.N.; MOURA, D.M.D.; TRIBST, J.P.M.; ÖZCAN, M.; SOUZA, R.O.A. Can the application of multi-mode adhesive be a substitute to silicized/silanized Y-TZP ceramics? *Braz. Dent. J.*, v. 29, n. 3, p. 275-281, 2018.
- ARCHEGAS, L. R.; FREIRE, A.; VIEIRA, S.; CALDAS, D. B.; SOUZA, E. M. Colour stability and opacity of resin cements and flowable composites for ceramic veneer luting after accelerated ageing. *J. Dent.*, v. 39, n. 11, p. 804-810, 2011.
- AUSIELLO, P.; APICELLA, A.; DAVIDSON, C. L. Effect of adhesive layer properties on stress distribution in composite restorations – a 3 D finite element analysis. *Dent. Mater.*, v. 18, n. 4, p. 295-303, 2002.
- BACCHI, A.; CONSANI, R. L.; MARTIM, G. C.; PFEIFER, C. S. Thio-urethane oligomers improve the properties of light-cured resin cements. *Dent. Mater.*, v. 31, n. 5, p. 565-574, 2015.
- BACCHI, A.; SPAZZIN, A. O.; de OLIVEIRA, G. R.; PFEIFER, C.; CESAR, P. F. Resin cements formulated with thio-urethanes can strengthen porcelain and increase bond strength to ceramics. *J. Dent.*, v. 73, p. 50-56, 2018.

- BARBON, F. J.; MORAES, R. R.; BOSCATO, N.; ALESSANDRETTI, R.; SPAZZIN, A. O.; Feldspar Ceramic Strength and The Reinforcing Effect by Adhesive Cementation Under Accelerated Aging. **Bras. Dent. J.**, v. 29, n. 2, p. 202-207, 2018.
- BELLI, R.; WENDLER, M.; DE LIGNY, D.; CICONI, M. R.; PETSCHL, A.; PETERLIK, H.; LOHBAUER, U. Chairside CAD/CAM materials. Part 1: measurement of elastic constants and microstructural characterization. **Dent. Mater.**, v. 33, n. 1, p. 84-88, 2017.
- D'ARCANGELO, C.; DE ANGELIS, F.; VADINI, M.; D'AMARIO, M. Clinical evaluation on porcelain laminate veneers bonded with light-cured composite: results up to 7 years. **Clin. Oral Investig.**, v. 16, n. 4, p. 1071-1079, 2012.
- DE JAGER, N.; PALLAV, P.; FEILZER, A. J. The apparent increase of the Young's modulus in thin cement layers. **Dent. Mater.**, v. 20, n. 5, p. 457-462, 2004.
- DELLA BONA, A.; KELLY, J.R.. The clinical success of all-ceramic restorations. **J. Am. Dent. Assoc.**, v. 139, Suppl:8S-13S, 2008.
- FEDERIZZI, L.; GOMES, E. A.; BARATRO, S. S.; BÁRATRO-FILHO, F.; BACCHI, A.; SPAZZIN, A. O. Use of feldspathic porcelain veneers to improve smile harmony: a 3-year follow-up report. **Braz. Dent. J.**, v. 27, n. 6, p. 767-774, 2016.
- FLEMING, G. J.; MAGUIRE, F. R.; BHAMRA, G.; BURKE, F. M.; MARQUIS, P. M. The strengthening mechanism of resin cements on porcelain surfaces. **J. Dent. Res.**, v. 85, n. 3, p. 272-276, 2006.
- FLEMING, G. J.; HOOI, P.; ADDISON, O. The influence of resin flexural modulus on the magnitude of ceramic strengthening. **Dent. Mater.**, v. 28, n. 7, p. 769-776, 2012.
- GARBOZA, C. S.; BERGER, S. B.; GUIRALDO, R. D.; FUGOLIN, A. P. P.; GONINI-JÚNIOR, A.; MOURA, S. K.; LOPES, M. B. Influence of surface treatments and adhesive systems on Lithium Disilicate microshear bond strength. **Braz. Dent. J.**, v. 27, n. 4, p. 458-462, 2016.
- HOOI, P.; ADDISON, O.; FLEMING, G. J. Testing rate and cementation sealing load effects on resin-strengthening of a dental porcelain analogue. **J. Dent.**, v. 41, n. 6, p. 514-520, 2013.
- HOOSMAND, T.; MATINLINNA, J. P.; KESHVAD A.; ESKANDARION, S.; ZAMANI, F. Bond strength of a dental leucite-based glass ceramic to a resin cement using different silane coupling agents. **J. Mech. Behav. Biomed. Mater.**, v. 17, p. 327-332, 2013.
- JETTI, R. R.; BALASUBRAMANIAM, M.; CHIDAMBARANATHAN, A. S.; SRINIVASAN, S. Evaluation of Shear Bond Strength of Feldspathic CAD/CAM Ceramic with Dentin using 2 Bonding Agents and 2 Surface Treatments - An In vitro Study. **J. Clin. Diagn. Res.**, v. 9, n. 11, p. 36-39, 2015.
- LAYTON, D. M.; WALTON, T. R. The up to 21-year clinical outcome and survival of feldspathic porcelain veneers: accounting for clustering. **Int. J. Prosthodont.**, v. 25, n. 6, p. 604-612, 2012.

- LEE, H. Y.; HAN, G. J.; CHANG, J.; SON, H. H. Bonding of the silane containing multi-mode universal adhesive for lithium disilicate ceramics. **Restor. Dent. Endod.**, v. 42, n. 2, p. 95-104, 2017.
- LI, R.W.; CHOW, T.W.; MATINLINNA, J.P. Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology: state of the art. **J. Prosthodont. Res.**, v. 58, n. 4, p. 208-216, 2014.
- LIU, X.; YU, J.; ZHOU, J.; TAN, J. A digitally guided dual technique for both gingival and bone resection during crown lengthening surgery. **J. Prosthet. Dent.**, v. 119, n. 3, p. 345-349, 2018.
- MASOURAS, K.; SILIKAS, N.; WATTS, D. C. Correlation of filler content and elastic properties of resin-composites. **Dent. Mater.**, v. 24, n. 7, p. 932-939, 2008.
- MORO, A. F. V.; RAMOS, A. B.; ROCHA, G. M.; PEREZ, C. D. R. Effect of prior silane application on the bond strength of a universal adhesive to a lithium disilicate ceramic. **J. Prosthet. Dent.**, v. 118, n. 5, p. 666-671, 2017.
- NAVES, L. Z.; SOARES, C. J.; MORAES, R. R.; GONÇALVES, L. S.; SINHORETI, M. A. C.; CORRER-SOBRINHO, L. Surface/Interface morphology and bond strength to glass ceramic etched for different periods. **Oper. Dent.**, v. 35, n. 4, p. 420-427, 2010.
- ÖZDEMİR, H.; KÖSEOĞLU, M.; BAYINDIR, F. An investigation of the esthetic indicators of maxillary anterior teeth in young Turkish people. **J. Prosthet. Dent.**, v. 3913, n. 1-5, 2018.
- PAGNIANO, R. P.; SEGHI, R. R., ROSENSTIEL, S.F., WANG, R., KATSUBE, N. The effect of a layer of resin luting agent on the biaxial flexure strength of two all-ceramic systems. **J. Prosthet Dent.**, v. 93, n. 5, p. 459-466, 2005.
- PEUTZFELDT, A. Effect of the ultrasonic insertion technique on the seating of composite inlays. **Acta Odontol. Scand.**, v. 52, n. 1, p. 51-54, 1994.
- QUEIROZ, J. R.; BENETTI, P.; OZCAN, M.; DE OLIVEIRA, L. F.; DELLA BONA, A.; TAKAHASHI, F. E.; BOTTINO, M. A. Surface characterization of feldspathic ceramic using ATR FT-IR and ellipsometry after various silanization protocols. **Dent. Mater.**, v. 28, n. 2, p. 189-196, 2012.
- RICKMAN, L. J.; PADIPATVUTHIKUL, P.; CHEE, B. Clinical applications of preheated hybrid resin composite. **Br. Dent. J.**, v. 211, n. 2, p. 63-67, 2011.
- RITTER, J. E.; BANDYOPADHYAY, N.; JAKUS, K. Statistical reproducibility of the dynamic and static fatigue experiments. **Ceram Bull**, v. 60, n., p. 798-806, 1981.
- ROSENSTIEL, S. F.; GUPTA, P. K.; VAN DER SLUYS, R. A.; ZIMMERMAN, M. H. Strength of a dental glass-ceramic after surface coating. **Dent. Mater.**, v. 9, n. 4, p. 274-279, 1993.
- SCHMIDLIN, P.R.; ZEHNDER, M.; SCHLUP-MITYKO, C.; GÖHRING, T.N. Interface evaluation after manual and ultrasonic insertion of standardized class I inlays using composite resin materials of different viscosity. **Acta Odontol. Scand.**, v. 63, n. 4, p. 205-212, 2005.

- SHIBATA, S.; TAGUCHI, C.; GONDO, R.; STOLF, S.C.; BARATIERI, L.N. Ceramic veneers and direct-composite cases of amelogenesis imperfecta rehabilitation. **Oper. Dent.**, v. 41, n. 3, p. 233-242, 2016.
- SOARES, L. D.; BASSO, G. R.; SPAZZIN, A. O.; GRIGGS, J.; MORAES, R. R. Mechanical reliability of air-abraded and acid-etched bonded feldspar ceramic. **Dent. Mater.**, v. 32, n. 2, p. 433-441, 2016.
- SOUZA-LIMA, R. X.; SILVA, L.; CHAVES, L.; GERALDELI, S.; ALONSO, R.; BORGES, B. Extensive assessment of the physical, mechanical and adhesion behavior of a low-viscosity bulk fill composite and a traditional resin composite in tooth cavities. **Oper. Dent.**, v. 42, n. 5, p. 159-166, 2017.
- SPAZZIN, A. O.; GUARDA, G. B.; OLIVEIRA-OGLIARI, A.; LEAL, F. B.; CORRER-SOBRINHO, L.; MORAES, R. R. Strengthening of porcelain provided by resin cements and flowable composites. **Oper. Dent.**, v. 41, n. 2, p. 179-188, 2016.
- SPAZZIN, A. O.; BACCHI, A.; ALESSANDRETTI, R.; SANTOS, M. B.; BASSO, G.; GRIGGS, J.; MORAES, R. R. Ceramic strengthening by tuning the elastic moduli of resin-based luting agents. **Dent. Mater.**, v. 33, n. 3, p. 358-366, 2017.
- SUNDFELD, D.; PALIALOL, A.R.M.; FUGOLIN, A.P.P.; AMBROSANO, G.M.B.; CORRER-SOBRINHO, L.; MARTINS, L.R.M.; PFEIFER, C.S. The effect of hydrofluoric acid and resin cement formulation on the bond strength to lithium disilicate ceramic. **Braz. Oral Res.**, v. 32, e43, 2018.
- SUNDFELD NETO, D.; NAVES, L.Z.; COSTA, A.R.; CORRER, A.B.; CONSANI, S.; BORGES, G.A.; CORRER-SOBRINHO, L. The effect of hydrofluoric acid concentration on the bond strength and morphology of the surface and interface of glass ceramics to a resin cement. **Oper. Dent.**, v. 40, n. 5, p. 470-479, 2015.
- TINSCHERT, J.; ZWEZ, D.; MARX, R.; ANUSAVICE, K. J. Structural reliability of alumina-, feldspar-, leucite-, mica- and zirconia-based ceramics. **J. Dent.**, v. 28, n. 7, p. 529-535, 2000.
- WANG, H.; XIONG, F.; ZHENHUA, L. Influence of varied surface texture of dentin porcelain on optical properties of porcelain specimens. **J. Prosthet. Dent.**, v. 105, n. 4, p. 242-248, 2011.
- WEIBULL, W. A statistical distribution function of wide applicability. **J. Appl. Mech.**, v. 18, p. 293-297, 1951.
- YANG, J. N.; RAJ, J. D.; SHERLIN, H. Effects of Preheated Composite on Micro leakage-An in-vitro Study. **J. Clin. Diagn. Res.**, v. 10, n. 6, p. 36-38, 2016.
- YAO, C.; YU, J.; WANG, Y.; TANG, C.; HUANG, C. Acidic pH weakens the bonding effectiveness of silane contained in universal adhesives. **Dent. Mater.**, v. 34, n. 5, p. 809-818, 2018.