



UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Odontologia de Araraquara

Elcilaine Rizzato Azevedo

***Tratamentos de superfície e aplicação de excitação
ultrassônica em reparos de restauração de
cimento de ionômero de vidro***

Tese apresentada ao Programa de Pós -
Graduação em Ciência Odontológicas –
área de concentração Odontopediatria, da
Faculdade de Odontologia de Araraquara
da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho – UNESP, como requisito
para a obtenção de título de doutor em
Ciências Odontológicas.

Orientadora: Prof^a Dr^a Angela Cristina
Cilense Zuanon

Araraquara SP
2012

Azevedo, Elcilaine Rizzato

Tratamento de superfície e aplicação de excitação ultrassônica em reparos de restauração de cimento de ionômero de vidro / Elcilaine Rizzato Azevedo.-- Araraquara: [s.n.], 2012.

100 f. ; 30 cm.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Odontologia

Orientadora: Profa. Dra. Ângela Cristina Cilense Zuanon

1. Cimentos de ionômeros de vidro 2. Ultrassom 3. Resistência à tração

I. Título

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Marley C. Chiusoli Montagnoli, CRB-8/5646

Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da Faculdade de Odontologia de Araraquara / UNESP

Comissão julgadora

Elcilaine Rizzato Azevedo

Tratamentos de superfície e aplicação de excitação ultrassônica em reparos de restauração de cimento de ionômero de vidro

COMISSÃO JULGADORA

Tese para obtenção do grau de Doutor

Presidente e Orientador Prof^a Dr^a Angela Cristina Cilense Zuanon
2º Examinador Prof^a. Dr^a. Karina Antunes Neves
3º Examinador Prof. Dr. Raphael Freitas de Souza
4º Examinador Prof. Dr. Cyneu Aguiar Pansani
5º Examinador Prof^a. Dr^a. Rita de Cássia Loiola Cordeiro

Araraquara, 31 de julho de 2012

Dados curriculares

Elcilaine Rizzato Azevedo

Nascimento 15.02.1979

Naturalidade Socorro – SP

Filiação Luiz Carlos de Azevedo e
Mailena Rizzato Azevedo

1999-2002 Curso de graduação – Faculdade de
Odontologia de Araraquara – UNESP

2006-2008 Curso de pós-graduação, nível de mestrado,
área de concentração em Odontopediatria –
Faculdade de Odontologia de Araraquara –
UNESP

2008-2012 Curso de pós-graduação, nível de doutorado,
área de concentração em Odontopediatria –
Faculdade de Odontologia de Araraquara –
UNESP

Dedicatória

Dedico esta tese a minha “amiga Cris”
pela amizade e compreensão em todos esses anos que trabalhamos
juntas. Você sabe que faz parte da minha família de coração,
em Araraquara.

“Um dia a gente chega
E no outro vai embora
Cada um de nós compõe a sua história
Cada ser em si
Carrega o dom de ser capaz
E ser feliz...”

(Tocando em frente, A. Sater)

Agradecimentos especiais

Aos meus pais Lena e Luiz Carlos,

Pelos exemplos de responsabilidade, dignidade, trabalho, humildade e respeito que me tornaram uma pessoa capaz de amar e ser feliz.

Ao meu marido Paulo,

Por ser um companheiro maravilhoso, paciente, atencioso e incentivador.

Obrigada por me fazer uma pessoa melhor,

Te amo muito!

Aos meus irmãos Elci, Mare e Ton,

meu cunhado Léo,

meu sobrinho Pedro e

vô Toninho

pelo carinho e incentivo, apesar da distância...

Agradecimentos

À Faculdade de Odontologia de Araraquara – Universidade Estadual Paulista, representados pela digníssima Diretora Prof^a. Dr^a. Andréia Affonso Barretto Montandon e pela Vice–Diretora. Prof^a. Dr^a. Elaine Maria Sgavioli Massucato.

À Coordenação da Pós–Graduação em Ciências Odontológicas da Faculdade de Odontologia de Araraquara – FOAr – UNESP, representadas pelos Prof^a.Dr^a. Josimeri Hebling e Prof^o. Dr^o. Edson Alves de Campos.

Ao Departamento de Clínica Infantil da Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP representada pelo Chefe de Departamento Prof^a.Dr^a. Lídia Parsekian Martins e Vice-chefe Prof^o. Dr^o. Fabio César Braga de Abreu e Lima.

Aos professores da Disciplina de Odontopediatria da Faculdade de Odontologia de Araraquara - FOAr – UNESP, Angela Cristina Cilense Zuanon, Cyneu Aguiar Pansani, Elisa Maria Aparecida Giro, Fabio César Braga de Abreu e Lima, Josimeri Hebling, Lourdes Aparecida Martins dos Santos-Pinto e Rita de Cássia Loiola Cordeiro, pela convivência e ensinamentos.

Aos funcionários do Departamento de Clínica Infantil da Faculdade de Odontologia de Araraquara – FOAr – UNESP, Totó, Pedrinho, Regina, Diego, Dulce, Soninha, Tânia, Cris, Márcia e Odete.

Aos funcionários da Secretaria de Pós – Graduação da Faculdade de Odontologia de Araraquara – FOAr – UNESP, Mara, Rosângela, Flávia e Alexandre, pela atenção e dedicação no atendimento aos alunos.

Aos funcionários da Biblioteca Maria Helena, Marley, Ceres, Odete, Silvia, Adriano, Eliane e Inês, pela disposição de sempre.

Às minhas amigas da turma de doutorado, Ana Luísa, Camila e Hérica
Muito obrigada pela amizade e pelo convívio.

A todos os meus amigos de pós-graduação.
Obrigada pela amizade, pelo convívio

A CAPES pela concessão de bolsa de estudo para
realização deste trabalho.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a
realização desse trabalho.

Sobretudo agradeço à Deus, pelas oportunidades
apresentadas na minha vida.

Sumário

Lista de abreviaturas e Símbolos	9
Resumo.....	10
Abstract.....	12
Introdução.....	14
Revisão de literatura.....	21
Proposição.....	58
Material e Método.....	59
Resultado.....	67
Discussão.....	74
Conclusão.....	83
Referências.....	84
Apêndices.....	97

Lista de Abreviaturas e Símbolos

°C.....graus Celsius

Am.....amálgama

CIV.....cimento de ionômero de vidro

h.....hora

kHz.....kilo Hertz

MEV.....microscopia eletrônica de varredura

MPa.....mega Pascal

RC.....resina composta

s.....segundo

US.....ultrassom

Azevedo ER. Tratamentos de superfície e aplicação de excitação ultrassônica em reparos de restauração de cimento de ionômero de vidro [Tese de Doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2012.

Resumo

Este estudo teve como objetivo investigar a resistência máxima à tração de reparos de restaurações de CIV, após diferentes protocolos de tratamento de superfície e aplicação US. Foram confeccionados 15 corpos de prova para cada grupo experimental, os quais passaram por termociclagem (500 ciclos, de 5°C e 55°C ± 2°C) e tratamento de superfície previamente a confecção do reparo, conforme segue: G1 – sem tratamento; G2 – tratamento de superfície com fresa diamantada; G3 – abrasão à ar; G4 – ácido fosfórico à 35%; G5 – ácido poliacrílico à 11,5%; G6 – fresa diamantada e ácido fosfórico à 35%; G7 - fresa diamantada e ácido poliacrílico à 11,5%; G8 - abrasão à ar e ácido fosfórico à 35%; G9 - abrasão à ar e ácido poliacrílico à 11,5%. O reparo foi confeccionado com CIV pigmentado com rodamina, para facilitar sua distinção. A excitação ultrassônica foi aplicada durante 0, 15 ou 30s para cada grupo. Após 24h de armazenamento, os corpos de prova foram seccionados em espécimes em forma de palito, com 0,9 mm² de área de união e submetidos ao ensaio mecânico de microtração. As superfícies fraturadas foram avaliadas em lupa estereoscópica e classificadas em coesiva,

adesiva ou mista. Foi considerada como variável dependente a resistência máxima a tração, e independentes o tratamento de superfície e a aplicação de US. As condições de homogeneidade de variâncias e de normalidade dos erros experimentais foram comprovadas, respectivamente pelos testes de Levene e de Shapiro-Wilk, complementada por comparações múltiplas pelo teste de Tukey. Adotou-se o nível de significância de 5% para a tomada de decisões. Os maiores valores de resistência de união dos reparos de cimentos de ionômero de vidro foram obtidos com o tratamento de fresa diamantada e ácido fosfórico. A aplicação do US (30 s) favoreceu a resistência de união de reparos de ionômero após a combinação de tratamento mecânico com ácido poliacrílico. Houve a predominância da fratura coesiva no cimento envelhecido, seguida na maioria das vezes pela fratura coesiva no reparo. Diante de uma odontologia conservadora e preservativa podemos concluir que a união dos reparos de restaurações com cimento de ionômero de vidro foi favorecida quando o preparo da superfície do material remanescente foi realizado com fresa diamantada e aplicação de ácido fosfórico a 35%.

Descritores: cimentos de ionômero de vidro; ultrassom; resistência à tração.

Azevedo ER. Effect of the surface treatments and ultrasonic excitation on the microtensile bond strength of the Glass Ionomer restoration repairs [Tese de Doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2012.

Abstract

The study aimed to evaluate the effect of different surface treatment protocols and the ultrasonic excitation on the microtensile bond strength of the glass ionomer restoration repaired. A total of 135 specimens was made using an increment technique and it was thermocycled (500 cycles between 5°C and 55°C ± 2°C). The specimens were separated into 9 groups of 15, and each group then received a different surface treatment before the repair prepare: G1 control, without treatment; G2 diamond bur; G3 air abrasion; G4 35% fosforic acid; G5 11,5% poliacrilic acid; G6 diamond bur and 35% fosforic acid; G7 diamond bur and 11,5% poliacrilic acid; G8 air abrasion and 35% fosforic acid; G9 air abrasion and 11,5% poliacrilic acid. The repair was prepared with glass ionomer cement (Ketac Molar Easymix) colored with saturated rhodamine B (Fluka, Buchs, Switzerland) for its distinction. The samples were submitted to the ultrasonic excitation during 0, 15 and 30 seconds and, then stored in 37°C ±2°C water during 24 h. Rectangular bar specimens with a cross-sectional area of 0.9 mm² were prepared and then submitted to the microtensile test. The fracture surfaces were evaluated under stereomicroscope and

classified as cohesive, adhesive or mixed. Microtensile strength values are shown in MPa. The dependent and independent variables were considered, respectively, ultimate tensile strength and the surface treatments and ultrasonic excitation. The effects of each surface treatment and ultrasonic excitation on the microtensile strength (MPa) were determined by ANOVA and Tukey tests. The highest values of bond strength of repair of glass ionomer cement were obtained with the treatment of diamond cutter and phosphoric acid. The application of the U.S. (30 s) enhanced the bond strength of repair of ionomer after the combination of mechanical treatment with polyacrylic acid. There was a predominance of cohesive failure in cement aging, followed by mostly cohesive failure in the repair. Faced with a conservative and preservative dentistry we can conclude that the union of the restorations with glass ionomer cement repair was favored when the surface preparation of the remaining material was performed with diamond cutter and application of phosphoric acid 35%.

Key words: glass ionomer cement; ultrasonic; tensile strength.

Introdução

Após muitos anos em função, a maioria das restaurações dentárias diretas e indiretas pode apresentar falhas, desgastes ou fraturas levando ao desenvolvimento de lesão de cárie. Considerando as forças mastigatórias que as restaurações estão sujeitas durante sua função, sabe-se que estas possuem expectativa de vida que varia significativamente de dente para dente e de paciente para paciente, os quais possuem diferentes hábitos, como os de higiene bucal e alimentares²⁴.

A obtenção de sucesso e conseqüentemente durabilidade de uma restauração leva em consideração a auto-percepção do elemento dental, diminuição de custos e promoção de saúde bucal em longo prazo. Quando necessário, a substituição de uma restauração comprometida invariavelmente resulta na remoção de tecido hígido, no alargamento da cavidade e no enfraquecimento do dente com possível injúria pulpar¹⁶.

A longevidade das restaurações também depende da habilidade do profissional, do correto diagnóstico, técnica utilizada, indicação do material restaurador e o cuidado e critério para sua substituição^{16,73}. Deve-se considerar também os fatores relacionados ao paciente, como sua colaboração, adequada higiene bucal e sua suscetibilidade para o desenvolvimento da lesão de cárie¹⁶. Os aspectos relacionados às restaurações como variações de temperatura, fadiga de união devido à

flexibilidade dentária, presença de enzimas bacterianas também são importantes¹⁸. Desta forma, pacientes associados com alto risco à cárie apresentam menor média de longevidade de restaurações que pacientes com baixo ou moderado risco⁷³.

Um fator muito importante ao se considerar o tempo de durabilidade das restaurações é a escolha do material utilizado. Burke et al.¹⁶ (2001) observou que as restaurações confeccionadas com Am tiveram a durabilidade média de 8,3 anos, com RC de 5,7 anos, 3,9 anos para o CIV e de 2,8 anos para os compômeros. Em um estudo mais recente, Sunnegårdh-Grönberg et al.⁷³ (2009) observaram a média de 16 anos para o Am, 6 para a RC, 11 para o CIV.

Scholtanus, Huysmans⁶⁶ (2007) avaliaram as restaurações com falhas e a necessidade de reparos ou substituições. Após 36 meses em função clínica, observaram que 95% das restaurações estavam satisfatórias. Após 72 meses, entretanto, somente 60% das restaurações permaneceram sem qualquer intervenção.

Diante da falha de uma restauração, o profissional deve decidir entre sua remoção total ou seu reparo. Alguns autores consideram que qualquer reparo de restauração deve ser evitado⁸⁹. Entretanto, outros consideram que os reparos são simples e rápidos e podem ser relativamente efetivos quando bem indicados^{13,15,25,49}.

A maioria dos pacientes prefere o reparo à substituição de uma restauração extensa. Esta decisão preserva a estrutura dentária, além de

representar também baixo custo²⁵. Atualmente, os preparos cavitários tem se mostrado mais conservadores por meio do uso de técnicas adesivas e utilização de estratégias preventivas baseadas nas necessidades individuais de acordo com o risco do paciente⁷³.

Novos materiais dentários, técnicas operatórias e estratégias de tratamento têm sido introduzidos durante os últimos anos, levando a diminuição o uso de Am, em substituição pela RC, tanto na confecção da restauração (cerca de 93% do total) quanto na sua substituição⁷³. Além disso, o reparo de uma restauração de Am requer áreas retentivas na cavidade, pois como uma união molecular não pode ser obtida, torna-se questionável sua resistência e retenção²⁵.

Quando a estética e uma boa resistência são os principais requisitos clínicos, o material de escolha deve ser a RC, mesmo que exija técnica mais sensível. Reparos de restaurações de RC que apresentam cárie secundária, requerer remoção total da lesão de cárie e procedimentos clínicos que levem a adesão apropriada²⁵.

Quando há necessidade de remineralização da dentina afetada a escolha deve voltar-se para um material do grupo dos CIV⁵⁴, utilizados inicialmente em 1978, apresentam tendência de aumento no uso clínico³² com muitas opções de materiais para pacientes pediátricos e geriátricos, que necessitam de restaurações carióstáticas²⁵.

As restaurações de CIV são indicadas com maior frequência em pacientes que apresentam higiene bucal precária e maior suscetibilidade

ao desenvolvimento de lesão de cárie, sendo encontrada em 4% das restaurações Classe I¹⁶. Estas são menos afetadas por lesões de cárie secundária que outras restaurações confeccionadas com outros materiais devido sua capacidade de liberação de íons, como o flúor, cálcio e fosfato, os quais promovem a remineralização da estrutura dentária adjacente^{16,62,76,77}. Outras características favoráveis apresentadas pelo CIV são a baixa contração e expansão durante a sua reação de presa e o coeficiente de expansão térmica semelhante ao da estrutura dentária, com redução de microinfiltração marginal e recidiva de cárie^{46,86}. Por isso, é importante a obtenção de boa adesão de materiais odontológicos aos tecidos duros dentais. Os CIV aderem quimicamente à estrutura dental por meio de uma troca iônica entre o cimento e as superfícies dentárias, tanto no esmalte como na dentina⁵³. Esse processo que ocorre na interface entre o material e o dente tem sido atribuído a quelação dos íons cálcio na superfície da camada de hidroxiapatita pelo poliácido do cimento⁸⁶.

A principal limitação do CIV é sua baixa resistência a abrasão e o alto desgaste oclusal quando comparado ao Am e a RC. Restaurações de CIV convencional tem baixa resistência flexural e alto módulo de elasticidade, sendo portanto, muito frágeis e propensas à fratura^{6,12,66}. Além disso, exibem menor resistência de união que agentes adesivos resinosos, e as fraturas são geralmente coesivas no cimento, o que reflete a baixa resistência à tração do material e não sua verdadeira resistência

de união^{45, 52}. Desta maneira, este cimento não é recomendado para restaurações extensas e para regiões de alto estresse, como cavidades classe IV e II^{12,45,61,62,66}.

Segundo Bonifácio et al.¹² (2009), a indicação de CIV para a odontopediatria deve ser feita para a confecção de restauração a serem submetidas a forças oclusais relativamente baixas além de considerar seu tempo de sobrevida na cavidade oral.

Os CIV são mais baratos e menos críticos para a aplicação clínica quando comparados com a RC¹². Preserva maior quantidade de tecido dentário, pois apresenta adesão à estrutura dentária⁵³ e capacidade de remineralização da dentina afetada adjacente a restauração^{25,54,76}. Por tudo isso, deve-se considerar o reparo de restaurações de CIV como uma estratégia de tratamento alternativo, aumentando desta forma a sobrevida de restaurações de pacientes de alto risco à cárie. Estes pacientes por sua vez, apresentam menor longevidade em suas restaurações quando comparadas com as de pacientes de baixo risco⁷³.

A literatura tem mostrado evidências científicas de sucesso no reparo destes materiais^{13,15,25,49,50}. Acredita-se que ocorra uma interação química entre as partículas de vidro expostas, da restauração de CIV fraturada ou desgastada, e o ácido poliacrílico do CIV reparador resultando em uma união química entre o novo e o antigo material^{36,88,89}. Bracket, Johnston¹⁵ (1989) relatam que todas as restaurações reparadas de CIV atingiram maior resistência (44%) do que aqueles não reparados.

Assim, a obtenção de melhores propriedades mecânicas do CIV é necessária, a fim de se obter melhores taxas de sobrevivência das restaurações. De acordo com Yap et al.⁹⁰ (2003), o aumento na velocidade de reação de presa dos CIV resulta em melhora das propriedades mecânicas iniciais, uma vez que atingem suficiente resistência às forças mastigatórias num período de tempo mais curto. A literatura tem mostrado pesquisas direcionadas em melhorar as propriedades mecânicas do CIV nesse período crítico, com a aplicação de ondas de US com o objetivo de acelerar sua reação de presa em seus estágios iniciais^{1,4,7,10,11,21,26,30,33,38,40,56,64,68,69,74,75,78-81}.

O uso do US diminui o tempo de reação de presa do CIV em seus estágios iniciais^{1,68,75,79}, apresentando um efeito benéfico na união do CIV ao esmalte¹ e a dentina^{7,20,30}, na microdureza, na rugosidade superficial^{11,21,40,51,56,79,80}, na resistência à compressão^{2,10,38,75,81} e à flexão⁴, diminuição de sua porosidade^{20,26,80} além de não modificar a composição química^{1,79}.

Para entender o efeito da excitação ultrassônicas nas propriedades mecânicas do CIV tem-se considerado o aumento de temperatura, a qual pode acelerar a taxa de conversão da reação devido à adição de energia cinética do US ao material^{1,2,38,39}. Considera-se também que as ondas de US quebram os aglomerados de partículas de vidro promovendo aumento na difusão dos componentes da reação^{79,80}. Também se sugere que a vibração do material possa diminuir o volume e o número de bolhas

intrínsecas no cimento, promovendo melhor e mais eficiente compactação do material^{4,79-81}

Aceleração na reação de presa assim como o reparo de restaurações permite um menor tempo de cadeira e uma melhora na técnica clínica, tornando-se a confecção da restauração mais conveniente para o profissional e para o paciente, principalmente para pacientes pediátricos. A opção pela alternativa de reparo para a falha em uma restauração deve ser baseada nas condições clínicas presentes, no material restaurador empregado, na expectativa da longevidade da restauração reparada, nas condições estéticas e no custo envolvido⁴⁷. Em adição, deve-se considerar a variabilidade de protocolos de reparo aplicados ao CIV, a influência da aplicação externa de ondas de US no CIV, como sua influência sobre a resistência máxima à tração resultante de uma restauração reparada, comparada a restaurações de CIV reparadas com outros protocolos.

Revisão de literatura

Cimentos de ionômero de vidro: aspectos físico-químicos do material, restaurações e reparos

Na década de 1970, Wilson, Kent⁸⁵ (1972) apresentaram o CIV como uma combinação dos cimentos de silicato e do policarboxilato de zinco. Este cimento apresentava as características da baixa alteração dimensional e presença de flúor do silicato e a adesão à estrutura dentária proporcionada pelo ácido poliacrílico, presente no policarboxilato de zinco. Desde então, muitas mudanças na sua formulação original foram feitas com o intuito de aumentar sua aplicação clínica.

McLean et al.⁴⁴ (1994) definiu o termo CIV como um nome genérico para todos os cimentos poliácidos de vidro. Um cimento que consiste de um vidro básico e um polímero ácido que reagem por uma reação ácido/base entre seus componentes. O CIV modificado por resina foi definido como um material híbrido que apresenta reação ácido/base como parte de todo processo de presa. Os grupos funcionais ácidos são geralmente numerosos e distribuídos ao longo da cadeia, polieletrólitos e solúveis em água. Apresentaram ainda algumas características do CIV como endurecimento com a reação de presa; reação exotérmica baixa; sem contração de polimerização; ausência de monômeros livres; estabilidade dimensional sob alta umidade; interação entre matriz e partículas; adesão química ao esmalte e dentina; liberação de flúor e

sensibilidade às variações de umidade do meio nos períodos iniciais de reação de presa, requerendo proteção superficial imediatamente após sua inserção.

Cattani-Lorente et al.²² (1993) avaliaram a resistência de 26 marcas comerciais de CIV, por meio dos testes de resistência a compressão, tração e flexural. Afirmam que até as primeiras 24 horas da reação de presa, foi evidente que a maioria dos CIV não alcançou sua máxima resistência. Observaram também que os CIV restauradores apresentaram maior resistência mecânica e menores valores de deformação. Entretanto, comparados com Am e RC, nas primeiras 24 h apresentaram baixa resistência nos testes compressão diametral e flexão.

Ao compararem restaurações de CIV, Am e RC, Ten Cate, Duinen⁷⁷ (1995) observaram que cáries incipientes adjacentes às restaurações de CIV estavam remineralizadas, enquanto aquelas adjacentes ao Am e as restaurações de RC estavam predominantemente associadas com desmineralizações mais amplas.

Devido as características apresentadas, na década de 1990, Frencken et al.³¹ (1994) sugeriram o uso do CIV como material de escolha para o Tratamento Restaurador Atraumático (TRA) após 1 ano de acompanhamento em vilas rurais na Tailândia. Esta filosofia de tratamento minimamente invasivo foi desenvolvida para ser aplicada em comunidades carentes, sem a necessidade do uso de equipamentos

elétricos e baseia-se na técnica de remoção parcial do tecido cariado, somente com a escavação manual e restauração e selamento com CIV.

Van Amerongen⁸² (1996) apresentou como desvantagens da técnica do TRA a dificuldade na remoção do tecido dentário cariado de lesões cariosas relativamente pequenas, usando somente instrumentos manuais. Além disso, quando um operador necessita fazer várias restaurações, a escavação manual pode causar fadiga na mão e punho e aumenta a chance de permanecer renascente de tecido cariado na cavidade. A segunda desvantagem da técnica está nas propriedades mecânicas desfavoráveis como resistência, desgaste e contração durante a reação de presa do CIV. Após revisão de literatura, o autor promoveu um panorama sobre as mudanças esperadas na dentina cariada quando restaurada com CIV. Observou que se a fonte de substrato disponível para a microbiota da lesão cariogênica for restringida, seu crescimento será inibido. Ressaltou que o flúor liberado da restauração de CIV tem efeito inibitório diante do crescimento bacteriano, além da capacidade de remineralizar o esmalte e a dentina.

No ano 2000, Xie et al.⁸⁷ investigaram a resistência flexural, a compressão, tensão diametral, desgaste e dureza Knoop de 10 marcas comerciais de CIV após 7 dias de armazenamento. As superfícies fraturadas desses cimentos também foram examinadas em MEV para avaliar a relação entre as propriedades mecânicas e a microestrutura do cimento. Os CIV modificados por resina exibiram maior resistência à

flexão e a tração diametral, semelhante compressão, menor dureza superficial e menor resistência ao desgaste que os CIV convencionais. Os CIV convencionais exibiram comportamento frágil, enquanto os CIV modificados por resina submeteram-se a substancial deformação plástica durante a compressão. A maior união entre as partículas de vidro e a matriz polimérica, foi relacionada à maior resistência flexural e a maior tração diametral. Partículas de vidro de tamanho reduzido foram correlacionadas a maior resistência à compressão e a combinação de partículas pequenas e a baixa porosidade, à dureza Knoop. Partículas de tamanho maior e a microestrutura mais integrada contribuíram para o aumento da resistência ao desgaste. Fatores como a integridade da interface entre partículas de vidro e matriz polimérica, tamanho de partícula, número e tamanho de poros determinaram importante papel na determinação de propriedades mecânicas.

Ngo et al.⁵⁵ (2006) propuseram um estudo clínico para investigar a remineralização de dentina cariada sob a restauração de CIV, em extensas lesões de molares permanentes. Treze molares foram restaurados de acordo com a técnica do TRA, utilizando Fuji IX encapsulado. O estrôncio deste CIV foi capaz de substituir o cálcio na dentina parcialmente desmineralizada e ser mapeado por Microanalísadores de Sonda Eletrônica (Electron probe microanalysis – EPMA). Este estudo mostrou que uma quantidade substancial de estrôncio e flúor foi difundida pela interface do material restaurador e pela

dentina parcialmente desmineralizada. Os autores afirmaram que esse processo de difusão se deu, em parte, pela diferença no gradiente de concentração destes elementos nos substratos. Os autores evidenciaram também dois importantes requisitos para que aconteça a remineralização da dentina cariada: inicialmente a restauração promoveu total selamento do meio externo e o CIV entrou em íntimo contato com a dentina parcialmente desmineralizada.

Pereira et al.⁵⁹ (2002) observaram que o CIV modificado por resina apresentou os maiores valores de resistência à tração diametral, à de união à dentina e de compressão. Ao examinarem o tipo de fratura dos espécimes submetidos à microtração, os autores observaram que muitas classificadas como adesivas ao olho nu, apresentavam a superfície coberta com uma fina camada de CIV, sugerindo fratura coesiva próxima à interface de união dente/cimento.

Peez, Frank⁵⁸ (2006) relataram que para o sucesso clínico de restaurações de CIV, há necessidade da restauração suportar alta flexão, ter baixa suscetibilidade ao ataque ácido e baixa solubilidade em meio aquoso, pois sérios danos podem ser causados pelo ataque ácido, umidade excessiva ou rachaduras pela desidratação. Segundo os autores, a elevada resistência flexural alcançada após 1 h, somada a menor susceptibilidade ao ataque ácido e solubilidade em água, fez do Ketac Molar Easymix o CIV com melhor desempenho clínico, dentre os materiais testados.

Bonifácio et al.¹² (2009) avaliaram dureza Knoop, resistência ao desgaste, resistência flexural e a compressão de CIV utilizados em TRA (Riva Self Cure, Fuji IX, Hi Dense, Vitro Molar, Maxxion R e Ketac Molar Easymix). O desgaste foi avaliado após armazenamento de 1, 4, 63 e 365 dias. O tipo de material e o tempo tiveram efeito significativo sobre o desgaste. Ketac Molar Easymix e Fuji IX apresentaram os melhores valores de resistência ao desgaste e dureza superficial em curto prazo. Em longo prazo, as resistências ao desgaste flexural e a compressão tiveram melhor desempenho nos cimentos Ketac Molar Easymix, Fuji IX e Hi Dense. Foi observada também forte correlação entre resistência flexural e dureza Knoop, compressão e dureza Knoop e desgaste em longo prazo. Os resultados revelaram que o Ketac Molar Easymix e Fuji IX apresentaram o melhor desempenho in vitro.

Em 1995, os CIV de alta viscosidade, originalmente desenvolvidos para aplicação na técnica TRA, foram introduzidos no mercado. Scholtanus et al.⁶⁶ (2007) apresentaram algumas vantagens desse material comparadas a RC, como adesividade química ao esmalte e dentina, ausência de contração de polimerização durante a presa e liberação de flúor. Ressaltaram ainda que no caso de falha da restauração de CIV de alta viscosidade, o profissional pode reparar facilmente ou prepará-la para base de uma restauração da técnica sanduíche de RC.

Um questionário sobre a indicação do CIV como material restaurador foi aplicado na Suíça, nos anos de 1993 e 1994⁴⁸. O CIV (790 restaurações) foi indicado igualmente para o tratamento de cáries primárias e para substituição de restaurações com falhas, diferentemente da RC (2.609 restaurações) e do Am (898 restaurações) que foram exclusivamente indicados para substituição de restaurações mal sucedidas. Quase metade de 412 substituições das restaurações de CIV foi realizada em decorrência do diagnóstico clínico de cárie secundária. A média de idade para a substituição das restaurações de CIV foi de 5 anos, enquanto que das restaurações de RC foi de 8 e das restaurações de Am de 10 anos. O CIV é considerado um material anticariogênico, entretanto, este questionário aplicado em clínicos gerais mostrou que o diagnóstico clínico de cárie secundária foi a mais comum razão de falha em restaurações de CIV.

Em 2001, Burke et al.¹⁶ avaliaram dados coletados de 3.196 restaurações, fornecidas por 32 clínicos. Destas, 54% eram de Am, 32% de RC, 8% de compômero e 7% de CIV. A média de idade das falhas das restaurações foi de 7,1 anos. Dos pacientes com restauração de CIV, 29% apresentavam pobre higienização bucal e 35%, alto risco a cárie. A cárie secundária foi a razão de maior prevalência para a substituição das restaurações e houve a aplicação seletiva de materiais diferentes para diferentes pacientes.

Avaliando restaurações de CIV classe II, Qvist et al.⁶² (2004) encontraram fratura marginal (51%), cárie secundária (20%), fraturas maiores (4%) e descoloração marginal (3%). Concluiu que, embora apresente efeito cariostático, a curta longevidade de restaurações de CIV em cavidades classe II é atribuída as propriedades físicas inadequadas do material. Além disso, observou que as restaurações de CIV modificado por resina composta apresentaram menos fratura que as restaurações de CIV convencional, além de maior longevidade.

Após 6 anos de serviço clínico, Scholtanus et al.⁶⁶ (2007) avaliaram o desempenho de CIV de alta viscosidade em restaurações de classe II. De 116 restaurações classe II, em 72 pacientes, nenhuma falha foi observada até 18 meses. De 18 a 42 meses a sobrevivência caiu em 93% e aos 72 meses foi de somente 60%. De todos os casos, somente um de reparo foi realizado devido a perda total da restauração de CIV na área proximal. Nenhuma restauração falhou por desgaste oclusal ou fratura. Nas avaliações radiográficas, observou-se perda progressiva de material nas áreas proximais, principalmente logo abaixo do ponto de contato. Nenhuma perda de material foi observada nas proximais, quando o dente adjacente estava ausente. Os autores concluíram que a crescente falha de restaurações classe II de CIV de alta viscosidade foi devido à desintegração proximal, causada pelo baixo pH de placa bacteriana acumulada nessa região.

Um estudo transversal de tratamento clínico⁷³ analisou 671 restaurações em cárie primária e 1536 em restaurações substituídas por cárie secundária em pacientes maiores que 15 anos. A longevidade média das restaurações substituídas foram de 16 anos para o Am, 6 anos para a RC e 11 anos para o CIV. Pacientes com alto risco à cárie apresentaram menor longevidade das restaurações de RC que os pacientes de moderado risco. A cárie secundária foi a razão de falha das restaurações classe II de RC e ocorreram significativamente mais do que perda ou fratura. As restaurações realizadas por dentistas mais experientes apresentaram maior longevidade. Os autores concluíram que o uso do Am foi negligenciado e predominantemente substituído pela RC em restaurações primárias e substituições. O risco ao desenvolvimento de cárie do paciente e experiência do operador também influenciaram na longevidade das restaurações.

Por meio de questionário, Azevedo et al.⁸ (2010) observaram que todos os alunos (100%) haviam usado o CIV como um forramento de cavidade, 83,3% havia usado como um material restaurador temporário após tratamento endodôntico e 73,3% havia como restauração permanente em dentes decíduos. Em relação à técnica clínica utilizada, 86,7% relataram que inseriram o material enquanto ele ainda tinha a superfície brilhante, 33% realizaram acabamento e polimento da restauração em sessão seguinte, e apenas 28,3% aplicaram proteção superficial imediatamente após a inserção do material. De acordo com os

autores, os estudantes estavam familiarizados com o material e técnicas envolvidos na utilização do CIV, embora ocasionalmente deixasse de seguir alguns dos passos técnicos requeridos durante aplicação clínica.

Em um estudo retrospectivo de 11 anos, Burke, Lucarotti¹⁷ (2009) observaram que os reparos de restaurações de CIV comprometidas foram realizados predominantemente por um material diferente. Em dentes anteriores, por motivos estéticos, a maioria dos reparos foi realizada por restaurações de RC. Em aproximadamente 10% dos casos, realizou-se a extração devido a um prognóstico duvidoso. Os autores concluíram que existe falta de confiança nas restaurações de CIV, pois estas foram frequentemente substituídas por outro material restaurador, ou mesmo não foram consideradas duradouras. Os autores também observaram indicação do uso de restaurações de CIV em pacientes de alta atividade da doença cárie e pobre higienização, que ao estabilizarem seu risco, tiveram suas restaurações substituídas por RC ou Am.

Qvist et al.⁶³ (2010) observaram que para o tratamento de crianças e adolescentes, observaram que sete clínicos utilizaram compômero, um utilizou CIV convencional e outro a combinação de 2 materiais diferentes. Restaurações de CIV modificado por resina e compômeros apresentaram longevidade similar ao Am (3,8 anos). Entretanto as restaurações de CIV convencional apresentaram longevidade significativamente menor (1,4 anos).

A indicação de materiais cariostáticos como o CIV convencional e o modificado por resina para o reparo de restaurações é oportuna, pois preservam a estrutura dentária e os pacientes apreciam essa abordagem clínica conservadora, rápida e de baixo custo²⁵.

Reparos em restaurações de RC e Am aumentam sua longevidade, com mínima intervenção. Tais procedimentos representam uma escolha mais conservadora do tratamento para restaurações que estão clinicamente insatisfatórias. Defeitos relativos à integridade marginal, forma anatômica, rugosidade da superfície e coloração marginal podem ser abordadas com tratamentos alternativos a receber substituição completa das restaurações⁵⁰.

A efetividade de tratamentos alternativos para a substituição de restauração de amálgama e resina composta foi investigada por Moncada et al.⁵⁰ (2008). Sessenta e seis pacientes (18 a 80 anos) com restaurações defeituosas foram aleatoriamente distribuídos em cinco grupos de tratamento: reparo, selamento de margens, polimento, substituição e não tratamento. Dois examinadores calibrados avaliaram independentemente as restaurações no começo do estudo e após dois anos, utilizando os sete parâmetros de critério de USPHS/Ryge (adaptação marginal, forma anatômica, rugosidade, pigmentação marginal, contato oclusal, cárie secundária e brilho). O selamento de defeitos nas margens mostrou significativa melhora na adaptação marginal. Polimento de restaurações defeituosas melhorou a forma

anatômica, brilho, adaptação marginal e rugosidade. O reparo melhorou significativamente a forma anatômica e a infiltração marginal. A substituição melhorou todos os parâmetros e o grupo não tratado apresentou significativa deteriorização da adaptação marginal.

Brackett, Johnston¹⁵ (1989) avaliaram a resistência flexural de reparos de restaurações de CIV, utilizando dois tratamentos químicos de superfície diferentes. Todos os espécimes reparados alcançaram no mínimo 40% da resistência daqueles não reparados. Os reparos realizados com tratamento de ácido fosfórico à 37% apresentaram resistência flexural significativamente maior que os tratados com ácido poliacrílico à 40%.

A resistência flexural de reparos de CIV realizados após diferentes métodos de condicionamento de superfície foram avaliados por Jamaluddin, Pearson³⁶ (1994). Quarenta espécimes de cada material foram preparados, armazenados por 7 dias e seccionados com fresa diamantada. As superfícies foram tratadas com ácido fosfórico a 35% (30 s), ácido poliacrílico a 35% (30 s) ou sequencialmente com os dois ácidos citados (30 s cada) e, na sequência, reparadas com CIV. A resistência flexural dos CIV reparados foi menor que dos espécimes controle. O tratamento com ácido fosfórico foi melhor e produziu reparos com aproximadamente 80% da resistência do grupo controle.

A resistência ao cisalhamento de reparos de CIV modificado por resina e RC após diferentes métodos de condicionamento foi avaliada por Yap et

al.⁸⁸ (1998). Os corpos de prova distribuídos entre os grupos experimentais de acordo com o tratamento de superfície recebido: grupo 1 (controle): sem tratamento; grupo 2: condicionado com ácido maleico a 10% (20 s), aplicação de resina de baixa viscosidade e fotopolimerização; grupo 3: condicionado com ácido maleico a 10% (20 s); grupo 4: condicionados ácido poliacrílico 10% (20 s), aplicação de resina de baixa viscosidade e fotopolimerização; grupo 5: condicionamento com ácido poliacrílico 10% (20 s); grupo 6: abrasão a ar (2 s) com partículas de óxido de alumínio (50 µm), aplicação de resina de baixa viscosidade e fotopolimerização; grupo 7: abrasão a ar (2 s). Para o CIV modificado por resina nenhum método de tratamento melhorou a resistência de união em relação ao controle. Para a resina modificada por poliácido, a aplicação de resina de baixa-viscosidade após o tratamento com ácido maleico, ácido poliacrílico e abrasão a ar pareceram ser de importância primordial, para melhor união dos espécimes reparados.

No mesmo ano, Shaffer et al.⁶⁷ (1998) avaliaram a resistência ao cisalhamento de reparos em CIV modificados por resina, em 2 tempos diferentes (após 5 minutos e após uma semana). Os reparos foram confeccionados sem qualquer tratamento de superfície, sobre a restauração inicial. Os espécimes foram termociclados (500 ciclos) e armazenados em água destilada por uma semana, a 37 °C. A resistência de união dos reparos do Vitremer foi estatisticamente superior a do Fuji II

e Photac Fill e não apresentou diferença estatística entre os tempos de armazenamento.

Alguns anos depois, Yap et al.⁸⁹ (2000) realizaram ensaio de cisalhamento para avaliar a influência do tempo de armazenamento na resistência de união de reparos de CIV modificados por resina. Observaram que independente do tratamento de superfície, não houve diferença significativa na resistência de união após 1 semana, 1 mês e 3 meses. Entretanto, após 3 meses de armazenamento, houve diminuição da resistência de união, não sendo recomendado o reparo nestas condições.

Por meio da aplicação de força de cisalhamento e de tração, Silva e Souza Jr et al.⁷⁰ (2003) avaliaram reparos em RC, após simulação de envelhecimento por 30 dias e diferentes tratamentos de superfície: G1 - ácido fosfórico 35% e adesivo, G2 - ácido fosfórico 35%, silano e adesivo, G3 - ácido fluorídrico 10% e adesivo, G4 - ácido fluorídrico 10%, silano e adesivo, G5 - jateamento com partículas de óxido de alumínio (50 µm) e adesivo e G6 - óxido de alumínio (50 µm) e adesivo. Os autores observaram que o jateamento com óxido de alumínio e o condicionamento com ácido fluorídrico proporcionaram maior rugosidade superficial e maior resistência. Puderam observar ainda, que a aplicação de agente silano não influenciou na resistência dos reparos de RC quando comparados aos grupos em que se aplicou somente o adesivo.

Os autores concluíram que a microrretenção mecânica é o principal mecanismo de união dos reparos de RC.

Em outro ensaio de cisalhamento, Bonstein et al.¹³. (2005) investigaram a resistência de união de reparos de RC com diferentes tratamentos de superfície combinados com adesivo. Cem corpos de prova foram armazenados em água por 20 dias, a 37 ± 2 °C e em divididos em 5 grupos de acordo com o tratamento: controle, condicionamento com ácido fosfórico 37% (15 s), fresa diamantada, abrasão à ar com jato partículas de óxido de alumínio de 30 μm (10 s) e fresa diamantada seguido da aplicação de primer silano (60 s). Os espécimes tratados com fresa diamantada apresentaram maior resistência ao cisalhamento, o tratamento combinado de fresa diamantada e o silano diminuíram a resistência, enquanto os outros tratamentos foram semelhantes ao grupo controle.

Utilizado o ensaio mecânico de microtração para a avaliação da resistência de união de reparos de RC após os tratamentos de superfície: grupo 1 – jateamento com óxido de alumínio (50 μm – 10s) e condicionamento com ácido fosfórico 35%; grupo 2 – fresa diamantada (4 s) e condicionamento com ácido fosfórico 35% e grupo 3 – apenas o condicionamento com ácido fosfórico 35%, Dall'Oca et al.²⁷ (2008) observaram que o tratamento do grupo 3 apresentou resultado superior que os grupos 1 e 2, sequencialmente.

Diante dessa variedade de técnicas para aumentar a adesão de reparos por retenção mecânica ou união química, um estudo de Souza et al.⁷² (2008) avaliou a resistência de união de restaurações indiretas de RC reparadas com resinas compostas fluidas e após diferentes tratamentos de superfície. Foram confeccionados 180 espécimes (n=10), armazenados em água destilada por 24 horas a 37 °C. Suas superfícies foram desgastadas com lixa e tratadas com abrasão a ar com partículas de óxido de alumínio (50 µm), ácido hidrófluorídrico 8% e solução neutralizadora de hidróxido de sódio, seguido da aplicação de um silano e adesivo previamente a confecção dos reparos. O material Targis apresentou reparos com os maiores valores de resistência de união, independente do tratamento de superfície. A abrasão à ar aumentou a resistência de união dos reparos dos materiais belleGlass HP e Sculpture. Os autores observaram que as diferentes viscosidades das resinas compostas dos reparos não afetaram suas resistências de união. As superfícies fraturadas apresentaram prevalência de falhas adesivas, principalmente com o tratamento com ácido fluorídrico.

Maneenut et al.⁴¹ (2010) avaliaram a resistência ao cisalhamento de reparos com Ketac N100 e Fuji II LC, após armazenamento em água por 4 dias, e diferentes tratamentos de superfície: condicionamento com ácido fosfórico (20 s); condicionamento com ácido poliacrílico (20s); sem tratamento; condicionamento com ácido fosfórico (20s) e reparos com RC. A resistência de união dos reparos com Fuji II LC foi maior que o reparo

com Ketac N100, independente do tratamento. Os reparos com RC apresentaram os maiores valores de resistência e a análise das fraturas revelaram falhas coesivas no CIV modificado por resina. Os autores sugeriram o reparo de restaurações de CIV modificado por resina fossem realizadas com RC.

Mecanismo de ação do US e aplicações

De acordo com Laird, Walmsley³⁹ (1991), o US é um som que tem frequência de 16-20 kHz e por isso não é detectável pelo ouvido humano. É composto por um transdutor que converte impulsos elétricos de alta frequência em vibrações mecânicas. Estas energizam as partículas do meio causando vibração e transferência de energia a partículas adjacentes. A propagação dessa energia por um meio resulta na formação das ondas ultrassônicas. Nos meios sólidos e líquidos, a propagação da onda pode ser longitudinal, pela qual a vibração ocorre na mesma direção da propagação, ou transversal, em que o deslocamento de partículas ocorre perpendicularmente à direção de propagação. Ondas transversais podem se propagar eficientemente somente nos sólidos, no qual existe uma forte força de atração entre as partículas para garantir a transferência de energia. Nos líquidos, entretanto, as partículas deslizam-se umas sobre as outras com pouca resistência e a energia é dissipada no meio. Os tecidos duros humanos podem transmitir ambas as ondas e

os macios, somente ondas longitudinais, pois as transversais se dissipam em forma de calor.

Quando uma onda ultrassônica encontra uma interface de meios diferentes, assim como ocorre com os tecidos dos dentes, parte dela é refletida de volta ao meio original e o restante refratado para o novo meio. Os autores alertaram que a passagem de uma onda pelo sistema biológico poderia resultar em mudanças em todo o sistema, devido a geração de calor, atividade cavitacional, microfluxo acústico ou força de radiação.

Na passagem de uma onda ultrassônica através de um meio, parte de sua energia é perdida e dissipada em forma de calor, elevando a temperatura local. Os efeitos dessa alteração dependem da quantidade de variação de temperatura, do tempo que é mantido e da sensibilidade térmica do meio. A atividade cavitacional depende da presença de bolhas de ar no meio, que se inflam e colapsam, se transformando em novos e menores núcleos cavitacionais. A atividade cavitacional gera uma movimentação pulsátil e rápida das partículas do meio ao redor da superfície das bolhas de gás, resultando na formação de um padrão de fluxo complexo e contínuo denominado microfluxo acústico. A propagação das ondas ultrassônicas gera outro fluxo que tende a empurrar o material e as partículas mais densas na mesma direção de propagação, chamado de força de radiação^{34,39}.

Um dos primeiros relatos na literatura do uso do US na área odontológica foi na forma de uma fresa para preparo cavitário em dentística²⁴, e a partir de então sua utilização foi expandida em outras áreas, como endodontia, limpeza de debris em instrumental, prótese dentária, periodontia entre outros.

A quantidade de energia que é transmitida ao dente durante uma raspagem periodontal com auxílio de US é desconhecida. Walmsley, Williams⁸⁴ (1986) estimam que cerca de $1 \times 10^{-5}\%$ possa ser transmitida pela interface ponta/ar, mas pelo contato da ponta/esmalte cerca de 37% pode ser transmitida. Essa transferência de energia, na realidade acaba sendo muito menor devido a pequena área de contato e da natureza intermitente do contato entre a ponta e o dente. Por isso, o objetivo dos autores foi investigar a variação de temperatura *in vitro* que ocorre no dente durante a aplicação de US. Para isso dentes caninos despulpados foram preenchidos com gel e tiveram um termopar inserido na cavidade pulpar, pelos ápices radiculares, conectado a um termômetro eletrônico. O calor gerado do contato friccional (30 s) na coroa do dente resultou em pequena alteração de temperatura, menor que 2°C. Os autores relataram que para condições similares *in vivo* esperasse uma menor alteração devido o efeito de resfriamento do fluxo sanguíneo do tecido pulpar e de sustentação do dente. O aumento de temperatura produzido pela absorção acústica durante a raspagem ultrassônica portanto, não é suficiente para causar danos no tecido pulpar.

Em 1992, Arcoria et al.⁴ relataram que a manipulação do CIV pelo método convencional gera a incorporação de bolhas de ar no cimento que pode ter sua resistência geral diminuída. Os autores avaliaram o efeito da aplicação de ondas ultrassônicas na redução de bolhas aprisionadas no interior do CIV, pela medida de resistência à flexão. O tempo de excitação ultrassônica foi de 0, 10 e 45 s no aparelho utilizado para limpeza de instrumental e a medida da resistência foi realizada após 1 e 2 semanas. Para o CIV misturado manualmente, os tempos de US utilizados resultaram em aumento da resistência flexural após a primeira semana, mas a mesma diminuiu na segunda. A aplicação de US no cimento encapsulado aumentou a resistência à flexão, mas a alteração do tempo de aplicação produziu um aumento não significativo.

Matsumura et al.⁴³ (1996) investigaram o efeito da instrumentação ultrassônica na resistência de união de cimentos, 24 h após sua reação de presa. Espécimes de liga de níquel-cromo, em forma de disco foram unidos com fosfato de zinco, CIV e adesivo resinoso e, após 30 minutos, imersos em água por 24 horas. Os mesmos receberam excitação ultrassônica pelo período de 0, 1, 2, 3 ou 5 minutos. A resistência ao cisalhamento no tempo 0 foi de 50,1 MPa para o adesivo resinoso, 18,4 MPa para o CIV e 4,7 MPa para o cimento de fosfato de zinco. A vibração por um período de 5 minutos diminuiu significativamente a resistência de união do adesivo resinoso e do CIV, enquanto a resistência do fosfato de zinco foi afetada após somente um minuto de excitação. O modo de

fratura mais frequente da resina foi coesiva, do CIV foi adesiva e coesiva e do fosfato foi adesiva. Os autores concluíram que aplicação de US após a reação de presa diminuiu a resistência adesiva dos cimentos.

Preocupados com possíveis danos ao tecido pulpar, foi realizado um estudo⁸³ sobre os efeitos da raspagem ultrassônica. Dentes pré-molares de cães foram radiografados e as espessuras da dentina e cavidade pulpar foram medidas. O US foi aplicado pelo tempo de 30, 60 ou 90 segundos, sem o uso de água para resfriamento. No grupo de cães controle, os dentes receberam aplicação de calor até a dentina chegar na temperatura de 45/47°C. A variação de temperatura foi medida no ambiente, na mucosa oral e no sulco gengival dos cães. Após duas semanas, os dentes foram extraídos para exame histopatológico, quando as lesões na polpa foram progressivamente mais aparentes com o aumento do tempo de aplicação do US. Os autores relataram que a aplicação do US por 90 s sem resfriamento não foi capaz de aumentar a temperatura da dentina. Entretanto, puderam observar alterações compatíveis com pulpite aguda e que estas foram similares aos efeitos produzidos pela aplicação de calor no grupo controle. Os autores concluíram que o US sem refrigeração não deve ser aplicado por mais tempo que 30 segundos ininterruptamente.

Na busca de um material com propriedades comparáveis ou superiores ao CIV convencional, mas com a característica de reação de presa do CIV modificado por resina, Towler et al.⁷⁹ (2001) avaliaram a

aplicação do US sobre o Fuji IX e os testes realizados foram de nanodureza superficial e resistência a deformação. Nos grupos teste houve a aplicação do US por 10 s e os espécimes foram testados após 17 minutos. No grupo controle, os espécimes foram testados depois de 7,5 h. Os resultados em relação à força/deslocamento exibiram camada superficial frágil em 50% dos espécimes do grupo controle e em 20% do grupo teste. Nos grupos controle, a médias das áreas de aprofundamento da camada superficial foi de $4 \mu\text{m}^2$ e a deformação de 80 nm . Nos grupos teste a área de aprofundamento foi de $0,44 \mu\text{m}^2$ e a deformação de 9 nm. Os autores observaram que a aplicação do US aumentou a nanodureza superficial dos CIV para 2620 MPa, enquanto que no controle, a média foi de 176 MPa. A geleificação instantânea dos materiais alcançada pela aplicação do US promoveu melhoras nestas propriedades, particularmente dentro das primeiras 24 h da reação de presa. A dureza do CIV tratado com US foi superior ao CIV com presa convencional, além de resultar em baixa deformação, sugerindo que a presa do material estaria completa.

Em 2003, Towler et al.⁸⁰ avaliaram a porosidade e o comportamento da fase vítrea do CIV Fuji IX em MEV após diferentes tempos (0 a 32 minutos) de exposição ao US. Com a análise do tamanho das partículas de vidro, ficou evidente a redução do tamanho, a quebra dos aglomerados e o aumento da área superficial com a aplicação do US. A vibração de

alta frequência do cimento pelo US resultou em menor porosidade, maior integração das partículas com a matriz e melhor compactação do material.

Kleverlaan et al.³⁸ (2004) avaliaram a influencia do aumento da temperatura gerado com a aplicação do US na geleificação do Fuji IX Fast, Fuji IX, Ketac Molar Quick e Ketac Molar. Para o ensaio de resistência a compressão, os corpos de prova foram confeccionados a partir de presa convencional, com excitação ultrassônica (45 s) e com fonte de calor externa (70 °C, por 5 minutos). As variações de temperatura dos CIV durante a presa foram mensuradas por um termopar (tipo K) inserido com uma profundidade de 4 mm no centro do material. Os autores observaram diferenças significativas para o Fuji IX e o Ketac Molar quando foi utilizado US e fonte externa de calor. O aumento de temperatura no CIV sob condições de presa convencional foi de 1°C e com a aplicação de US (45s) foi de 13 °C. A temperatura máxima atingida com a aplicação de US foi entre 34 e 39,4 °C (após 60 s). Temperatura entre 44,5 e 46°C foi observada com a aplicação da fonte externa de calor. Após 28 dias de armazenamento não houve diferença significativa entre os métodos de presa. Os autores concluíram que a US pode ser utilizada como método auxiliar de geleificação e promove melhoras nas propriedades do material, em seu estágio inicial da reação de presa.

Após 1 e 7 dias, Twomey et al.⁸¹ (2004), avaliaram o tempo de presa e a resistência a compressão dos CIV comerciais Ketac Molar Quick e Fuji IX Fast e três CIV experimentais. O tempo de presa e de trabalho dos CIV

foi de 100 e 200 s para o Ketac Molar Quick e de 75 e 180 s para o Fuji IX, respectivamente. Com a aplicação do US, a geleificação ou tempo de presa foi de 45 s para todos os cimentos e a resistência a compressão apresentou aumento de 12 e 18% (1 dia) e 15 e 12 % (7 dias). O aumento do peso molecular do ácido poliacrílico de 50 para 200 aumentou a resistência à compressão, mas a mesma foi reduzida quando o peso molecular foi aumentado para 450. A aplicação de US no CIV com aumento no peso molecular de 200 apresentou aumento da resistência em 13% (1 dia) e 24% (7 dias). Os autores concluíram que o US foi benéfico para melhorar a reação de presa e a resistência a compressão dos CIV.

Algera et al.¹ (2005) avaliaram a influencia da aplicação do US e de calor na reação de presa do CIV Fuji IX Fast, Fuji Ortho LC e Fuji Plus, determinando a resistência a tração de braquetes no esmalte, após 15 minutos da cimentação. Foram confeccionados 10 espécimes para cada tipo de presa: presa convencional, com 60 s de aplicação de calor (70 ± 2 °C) ou com 60 s de aplicação de US. O aumento de temperatura foi avaliado em incisivos humanos, com a introdução de termopar no interior da câmara pulpar, preenchida com material de moldagem hidrocoloide. A aplicação de calor e US aumentaram igualmente a resistência de união ao esmalte, em comparação ao controle. A variação máxima de temperatura observada após a aplicação de 60 s de calor foi de 2,5 °C e de 1°C com a aplicação do US por 60 s. O modo de fratura classificado pelo escore do

Índice de Remanescente Adesivo mostrou melhora de todos os materiais com presa pelo calor e US. A presa com calor e US reduziu o tempo de reação de presa e aumentou a resistência de união ao esmalte.

Para avaliar a influência da temperatura no tempo de reação e na resistência compressiva dos CIV Ketac Molar e Fuji IX Fast, Algera et al.² (2006), realizaram medições da propriedade de escoamento utilizando um reómetro e determinando os tempos de trabalho e de presa. As amostras do teste de compressão foram armazenadas em 4 diferentes temperaturas e meios. Os resultados do teste reométrico mostraram que os tempos de trabalho e presa diminuíram com o aumento de temperatura. O teste de compressão também demonstrou aumento resistência durante os períodos iniciais da reação de presa, em consequência da maior temperatura, sem porém observar efeito em longo prazo. A presa dos materiais em óleo atingiu maior resistência à compressão em comparação com armazenagem em água, e Fuji IX Fast foi significativamente mais resistente do que Ketac Molar. Os autores concluíram que o aumento de temperatura entre 60 e 70 °C geleifica o CIV convencional e melhora a resistência a compressão no início da reação de presa.

O efeito do US na liberação de íons dos CIV foi avaliado no estudo de Rushe, Towler⁶⁴ (2006) os quais comparam a liberação de flúor do Ketac Cem, Fuji I e outros quatro CIV experimentais. Alguns espécimes receberam 30 s de US durante a reação de presa e armazenamento em

25 cm³ de água destilada, à 37°C, sendo a concentração de flúor liberada, avaliada após 1, 7, 30 e 90 dias de imersão. Dependendo da composição do CIV, houve aumento de até 40% na liberação de flúor com a aplicação do US. Observaram também que os materiais comercializados exibiram maior liberação de íons que os experimentais.

No estudo de Fagundes et al.³⁰ (2006) foi investigada a influência do US na resistência à tração dos CIV convencionais Fuji II e Ketac Fil Plus, modificados por resina Fuji II LC e Photac Fil Quick Aplicap e de alta viscosidade Ketac Molar. Nos grupos testes a excitação ultrassônica foi aplicada por 15 s. A resistência a tração dos grupos tratados com US foi significativamente maior que do grupo controle, e a maioria das fraturas foram do tipo mista. O US aumentou a resistência de união dos CIV a dentina, após 24 h.

Em 2006, Tanner et al.⁷⁵ realizaram testes de tempo de presa e de resistência à compressão dos CIV comerciais Ketac Cem e Fuji I e três CIV experimentais, com presa convencional e ultrassônica, para cimentação de aparelhos ortodônticos. Os respectivos tempos de trabalho e de presa do Ketac Cem foram de 190 s e 210 s e do Fuji I foi de 210 e 200s. Com a aplicação do US, a geleificação foi alcançada com 5s de excitação. O comando de presa dos CIV foi possível com a aplicação do US, mas o exato tempo de aplicação dependeu da composição do material. A resistência à compressão desses cimentos pôde ser melhorada por cerca de 90% com a aplicação de US, quando aumentou o

peso molecular do ácido poliacrílico e a concentração de ácido tartárico. A aplicação do US permitiu o comando da presa e a melhora dos resultados das propriedades mecânicas.

O objetivo do estudo de Carvalho et al.²¹ (2008) foi avaliar a influencia do US sobre a microdureza dos CIV. Foram confeccionados 10 espécimes para cada período (15 minutos, 1h, 12h e 24h) e para cada uma das nove marcas comerciais avaliadas (Fuji IX, Ketac Molar, Riva Self Cure cápsula e convencional, Ionofil Plus AC, Ionofil Plus, Maxxion R, Bioglass R e Vitro Molar). Nos grupos experimentais, o US foi aplicado por 15 s. Até os primeiros 15 minutos, a maioria dos materiais do grupo controle ainda estava sem consistência de serem testados, com exceção do Fuji IX e Ketac Molar. Efeito estatisticamente significativo do tratamento com US pôde ser observado após a avaliação de 24 horas de armazenamento, com exceção do Bioglass R e Vitro Molar. O US acelerou a dureza superficial dos CIV, reduzindo sua fragilidade nos períodos iniciais de sua presa.

Em 2008, Barata et al.¹⁰ avaliaram a influencia da propagação de US sobre a resistência a compressão e à tração diametral de CIV comerciais (Bioglass R, Ionofill Plus, Magic Glass R, Maxxion R, Vidrion R e Vitro Molar). Três variáveis foram avaliadas: CIV convencional, US por 20s e tempo de armazenamento (1h, 24 h e 7 dias). Todos os cimentos apresentaram aumento na resistência a compressão e a tração diametral, de 1h para 7 dias. A aplicação do US resultou em aumento significativo

somente na resistência a compressão. Os autores concluíram que independente do CIV testado, em todos os grupos houve aumento da resistência com a maturação do material.

Para avaliar a taxa de retenção do selante de fósulas e fissuras de CIV aquecidos durante a reação de presa, Skrinjaric et al.⁷¹ (2008) selaram com CIV ou RC, cento e doze dentes com fissuras bem delineadas morfológicamente. RC foi utilizada no grupo controle (A). O CIV foi aplicado com delineamento de split-mouth nos grupos B e C. No grupo B com condicionamento de superfície com ácido poliacrílico a 10% por 20 s, e sem o condicionamento no grupo C. O CIV foi aquecido com fonte de calor externo por 40 segundos durante a reação de presa ($\Delta t = 3$ °C). A taxa de retenção no grupo A foi de 80,4% após um ano de acompanhamento. O grupo B mostrou retenção de 30,8% e C de 26,7%. Os autores concluíram que a taxa de retenção dos selantes tratados com calor durante a reação de presa foi significativamente menor que a retenção da resina composta.

Na literatura também há relatos da aplicação do US sobre adesivos dentinários. Bagis et al.⁹ (2009) avaliaram o efeito da US de alta frequência na resistência a microtração de diferentes adesivos autocondicionantes. Foram utilizados adesivos de um passo autocondicionantes no grupo controle, e US (20s) no grupo experimental, previamente a reconstrução da porção coronária em resina composta. Os autores observaram que a aplicação de US aumentou a resistência de

união à dentina do adesivo G-Bond e a fratura de maior prevalência foi a adesiva em dentina.

Em 2009, Talal et al.⁷⁴ investigaram o momento e efeito da aplicação do US e o tempo de duração da reação de presa de CIV. Os cimentos Fuji IX Fast e Ketac Molar foram analisados no espectrômetro infravermelho (ATR/FTIR). A aplicação do US foi iniciada em 30 ou 40 s depois do início da mistura, por 15 ou 55 s. O US acelerou o processo de reação de presa em ambos os cimentos quando aplicado por mais de 15 s. Aceleração da reação de presa foi maior quando o US foi aplicado após 40 s do início da espatulação. O efeito da aplicação do US na reação de presa do CIV foi influenciada pelo momento da aplicação e dependente da composição do material, pois o Ketac Molar mostrou maior sensibilidade que o Fuji IX.

Utilizando os cimentos fosfato de zinco, silicofosfato, policarboxilato e CIV, Duymus et al.²⁸ (2009) avaliaram a variação de temperatura que ocorre durante a reação de presa destes materiais, medida com um termostato, com 5 leituras para cada proporção (pó/líquido) do cimento. Os dados revelaram que o fosfato de zinco apresentou a maior variação de temperatura durante a reação de presa (13,58, 10,92 e 13,80°C), enquanto o CIV apresentou a menor variação (2,54, 2,75 e 1,82°C).

Thanjal et al.⁷⁸ (2010) investigaram a liberação de flúor de CIV comerciais e experimentais, variando o tipo de presa (convencional, US por 55s ou irradiação de calor), a composição (ausência de flúor ou partículas de vidro reativos com zircônia) e o modo de mistura

(encapsulado ou espatulação manual). Cada espécime foi imerso em 10 ml de água deionizada analisada por um eletrodo íon seletivo nos períodos de 1, 3, 7, 14, 21 e 28 dias. Todas as amostras com presa US liberaram mais flúor que o grupo controle, ao contrário das amostras com presa pela irradiação de calor. A adição de zircônia aumentou a liberação de flúor, embora o conteúdo de flúor no cimento tenha sido reduzido. O modo de mistura dos cimentos não demonstrou efeito na liberação de flúor.

O efeito da aplicação de fontes de energia externa durante a presa do CIV também foi investigada por O'Brien et al.⁵⁶ (2010). Foi utilizado Ketac Molar (cápsulas) em espécimes de diferentes espessuras (4 mm de diâmetro por 1, 2, ou 4 mm de espessura) sem aplicação de fonte de energia (controle), com o pré-aquecimento em banho Maria de cápsulas antes da mistura ($40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$, por 90 s), aplicação de luz de alta irradiância (40 s) ou US (40 s). A dureza Vickers foi medida 0,5 h, 4 h e 1 semana após a mistura do material, na face superior e inferior dos espécimes. O aumento de temperatura da superfície inferior de cada espécime foi monitorado por 5 min durante a reação de presa. Nenhuma diferença estatística na dureza entre a face superior e inferior foi identificada para o grupo controle e amostras pré-aquecidas, independente da espessura e tempo da aferição. Com o tempo de 0,5h após a mistura, a dureza superficial da face superior dos tratamentos pré-aquecimento, irradiação de luz e US foram significativamente maiores que o controle. Após 4 h, a

dureza geral das amostras pré-aquecidas foram significativamente maiores. O pré-aquecimento das cápsulas de CIV antes da mistura resultou em maiores valores de dureza através de profundidade até 4h, comparado com os espécimes tratados com irradiação de luz ou com excitação ultrassônica.

Lopes et al.⁴⁰ (2010) avaliaram o efeito da aplicação do US sobre a microdureza e a rugosidade superficial de CIV antes e após ensaio de escovação. O material utilizado foi o Fuji IX GP e o Ketac Molar EasyMix e o US foi aplicado por 30 s nos grupos experimentais. Os resultados demonstraram aumento da dureza superficial para todos os grupos com a aplicação do US, sendo maior para o Ketac Molar EasyMix. O US causou também diminuição da rugosidade superficial para o Ketac Molar EasyMix. Após o ensaio de escovação, a rugosidade aumentou em ambos os materiais. Pode-se concluir que a aplicação de US foi efetiva para aumentar a dureza superficial dos materiais, além de melhorar a rugosidade superficial do Ketac Molar EasyMix.

Para examinar o efeito do US sobre a reação de presa do cimento de poliacrilato de zinco e sua interação com fluoreto estanhoso, Shahid et al.⁶⁸ (2010), utilizaram Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR). O US foi aplicado por 15 s, após 60 s do início da espatulação do material. Os resultados demonstraram que o cimento foi sensível ao US, independente da adição de fluoreto estanhoso. A variação do espectro FTIR registrou o momento de pico da reação presa,

em que houve a mudança dos ácidos carboxílicos em sais do grupo carboxílico. Esse momento da reação foi observada após 45 minutos da espatulação do cimento do grupo controle e com aplicação do US esse tempo diminuiu para 10 minutos. Os autores concluíram que o US pode ser um coadjuvante útil para o uso clínico nos cimentos de policarboxilato de zinco de cimentação e restauração provisória.

O efeito da aplicação de US (45s) sobre a dureza Vickers do Fuji IX, foi avaliado por Baloch et al.¹¹ (2011) por meio de três leituras de microdureza imediatamente após os procedimentos de acabamento e polimento dos espécimes. A microdureza superficial do grupo tratado com US foi significativamente maior que do grupo controle no período inicial de sua reação de presa.

Shahid et al.⁶⁹ (2011) investigaram o efeito do US na absorção de flúor pelos CIV convencionais (Fuji IX e Amalgomer), modificado (Glass Carboner) e experimental sem flúor (LG30). Os corpos de prova foram confeccionados com presa convencional estabelecida em 6 minutos após a espatulação do cimento ou presa com a aplicação de US (55 s). A concentração de flúor da solução foi mensurada por Potenciometria Eletrodo Íon Seletivo (ISE - TISAB decomplexant). Somente os CIV Glass Carboner e LG30 apresentaram aumento na absorção de flúor com a aplicação do US, enquanto o Fuji IX e Amalgomer apresentaram redução. Os autores concluíram que a presa auxiliada pelo US tem influência na absorção do flúor, mas em menor proporção que na sua liberação. De

acordo com os autores, esse efeito foi atribuído à redução do tamanho das partículas.

Moshaverinia et al.⁵¹ (2011) investigaram o efeito da aplicação do US nas propriedades físicas de um CIV convencional experimental contendo NVC (N-vinylcaprolactam). Amostras foram confeccionadas de ácido acrílico, itacônico e NVC termolímero sintetizado com pó do Fuji IX, na proporção 3,6:1 (P/L) recomendada pelo fabricante e armazenadas pelo período de um dia a quatro semanas. O cimento comercial Fuji IX foi usado como controle. A excitação ultrassônica foi aplicada após 20s do início da espatulação. Foram avaliados a microdureza (Vickers), o tempo de trabalho e de presa (agulhas Gillmore) e a sorção de água. A aplicação do US acelerou o processo de reação de presa e aumentou a dureza superficial de todos os espécimes. A presa com US também representou diminuição significativa na sorção de água devido a melhora na reação ácido/base dentro da matriz, além da aceleração do processo de maturação. Os autores relataram que a aplicação do US é uma forma potencial de ampliar as aplicações clínicas do CIV convencional na dentística restauradora, tais como restaurações de cavidade classe V.

Por meio de microtração e microscopia de interface, Cantoro et al.²⁰ (2011) avaliaram a influência da manipulação e aplicação do US no potencial de união de cimentos resinosos à dentina. Cinquenta e seis cavidades padronizadas mesio-oclusais classe II foram preparadas em terceiros molares extraídos. Inlays de Classe II foram confeccionadas em

resina composta. As amostras foram divididas aleatoriamente em dois grupos (n = 28) de acordo com a técnica de cimentação: cimentadas sob pressão de assentamento estático ou cimentadas sob vibração ultrassônica. As inlays foram cimentadas utilizando duas marcas de cimentos resinosos autoadesivos, comercializadas encapsuladas ou não. Pode-se observar que a apresentação comercial dos cimentos e a técnica de cimentação influenciaram na resistência de união à dentina. Análise de MEV revelou estrutura homogênea e porosidades reduzidas para todos os cimentos dos grupos experimentais, como resultado de vibração US. Os autores concluíram que o uso da técnica de US proporcionou procedimentos clínicos mais rápidos e controlados.

A porosidade dos CIV Fuji IX GP, Ketac Molar e Ketac Molar Easymix após aplicação de US (30s) durante sua reação de presa, também foi avaliada por Coldebella et al.²⁶ (2011). Após a presa completa do material, os espécimes foram fraturados e levados à MEV. As imagens obtidas foram avaliadas quanto a porosidade interna do material usando o programa de computador Image J. Os autores observaram que o US reduziu a porosidade de todos os materiais testados, o Fuji IX de 3,9% para 2,8%, Ketac Molar Easymix de 4,4% para 2,6% e o Ketac Molar de 2,4% para 1,6%. Pode-se concluir que o US foi um método efetivo para a redução da porosidade interna dos CIV.

A resistência de união à dentina de CIV foi testada após aplicação do US e armazenamento em água (Azevedo et al.⁷ 2011). Após obtenção de

superfície plana em dentina, 36 molares permanentes foram restaurados com Fuji IX GP, Ketac Molar Easymix e Vitremer. Metade dos dentes recebeu aplicação de US (30s) imediatamente após a inserção do material. Após o armazenamento em água pelo período de 24 h ou 30 dias, os mesmos foram submetidos ao ensaio de microtração. Com 24 h, o Ketac Molar com presa US apresentou resistência de união significativamente maior do que o grupo controle. O CIV Vitremer apresentou os maiores valores de resistência de união, independente da aplicação do US e do período de armazenamento. Após 30 dias de armazenamento não houve diferença significativa entre os grupos controle e experimentais. Os autores concluíram a excitação ultrassônica pode contribuir para evitar a perda de retenção de restauração de CIV nas fases iniciais de sua reação de presa.

Em recente estudo, Mata⁴² (2012) avaliou a produção de calor na superfície e no interior do Ketac Molar Easymix, assim como a temperatura transmitida à câmara pulpar através de restaurações de Ketac Molar Easymix e Vitremer após aplicação de US. A temperatura superficial foi aferida por meio de uma câmera termográfica infravermelha (por 80 s) e a temperatura no interior do material, por meio um termômetro digital (por 2 minutos). A temperatura transmitida à câmara pulpar durante a aplicação de US (45 s) foi avaliada em 48 pré-molares humanos por meio de um termistor foi inserido na câmara pulpar. Verificou-se aumento significativo de 2,7°C na temperatura interna do grupo que recebeu US e

a temperatura superficial não apresentou diferença entre os grupos controle e experimental. Nos grupos que receberam aplicação de US, o Ketac Molar EasyMix apresentou aumento médio de temperatura de 3,6°C com velocidade 0,07°C/s e o Vitremer aumento de 2,8°C, com velocidade 0,06°C/s, após 10s de início da aplicação do US. A aplicação de fotopolimerização não proporcionou aumento de temperatura, porém manteve o calor alcançado pela aplicação do US. Os resultados obtidos demonstraram o aumento de temperatura gerado pela utilização do US é segura para seu uso clínico.

Guglielmi et al.³⁴ (2012) investigaram a influência do US e luz halógena na microinfiltração e dureza do esmalte adjacente a restaurações de CIV, após desafio cariogênico artificial. Foi utilizado Ketac Molar EasyMix e os espécimes foram distribuídos aleatoriamente em 3 grupos: grupo controle (GC), luz alógena (LG) – irradiação de luz por 60s e grupo US (UG) – aplicação da excitação ultrassônica por 15s. Todos os espécimes foram então submetidos a desafio cariogênico por ciclagem de pH. Metade da amostra foi submersa em azul de metileno por 4 h, e seccionadas para análise da penetração do corante. As amostras restantes foram submetidas a avaliações transversais de microdureza Knoop e cálculo de alterações minerais no esmalte adjacente. A aceleração da reação de presa do CIV pelo US resultou em significativo aumento da microinfiltração nas margens das restaurações. Não foram observadas alterações na microdureza significantes entre os grupos. Os

autores concluíram que o uso de luz para reação de presa não interferiu nas propriedades do CIV, entretanto o uso do US afetou o selamento marginal.

Proposição

Avaliar a influência de diferentes protocolos de tratamento de superfície na resistência máxima à tração de reparos de restaurações de CIV, associados à aplicação de US.

Material e método

Confecção dos corpos de prova

Para a confecção dos corpos de prova foi utilizada uma matriz de tira de poliéster (4 mm de altura x 8 mm de diâmetro), acomodada sobre uma placa de vidro e preenchida com três porções de Ketac Molar Easymix (3M ESPE, Seefeld, Alemanha – lote 414801, validade: 09/2012), manipulado de acordo com as instruções do fabricante (proporção pó/líquido de 3,6/1,0 g) e inseridas em um único incremento. Os espécimes foram preparados em temperatura ambiente de 23 ± 2 °C e umidade relativa do ar de $50 \pm 10\%$, de acordo com as recomendações e especificações da ANSI/ADA³.

O CIV foi inserido com o auxílio de seringa Centrix (DFL Indústria e Comércio S.A., Rio de Janeiro, RJ) e, logo após, uma tira de poliéster foi posicionada sobre o material e realizada pressão digital para melhor acomodação e escoamento de excessos do material.

Decorridos 5 minutos do início da espatulação do material, a matriz de poliéster foi removida, os corpos de prova foram protegidos com verniz ácido-resistente (Base Incolor, Colorama, L'Oréal Brasil, Rio de Janeiro, RJ) e armazenados em 100% de umidade, em estufa a 37° C, por 24 horas.

Na sequência, passaram por termociclagem em água, com 500 ciclos de 30 segundos, à temperatura de 5 ± 2 ° C e 55 ± 2 ° C, para

simular o envelhecimento da restauração induzido pelo estresse térmico (Shaffer et al.⁶⁷, 1998; Arici, Arici⁵, 2003). A superfície superior do corpo de prova foi desgastada com lixas de carbeto de silício de granulação 320 e lubrificada com água durante 30 segundos para obtenção de uma superfície plana, simulando o desgaste fisiológico de uma restauração decorrente da função mastigatória.

Tratamento da superfície

- Grupo 1 (sem tratamento): os corpos de prova do grupo controle não receberam nenhum tratamento de superfície antes da confecção do reparo.
- Grupo 2 (fresa diamantada - FD): uma fresa esférica diamantada de nº 1014 (KG Sorensen, São Paulo, SP) em alta rotação, com velocidade, pressão e irrigação constantes (380.000 rpm e 70 psi), foi levemente conduzida sobre toda a superfície dos corpos de prova de CIV envelhecidos (Yap et al.⁸⁹, 2000).
- Grupo 3 (abrasão à ar - AA): cada corpo de prova deste grupo recebeu a aplicação de um jato de partículas de óxido de alumínio (50 µm) por 4 s. O aparelho (Rondoflex 360, KaVo, Lake Zurich, IL, USA) com a ponta aplicadora (com 0,48 mm de diâmetro) foi posicionada com angulação de 90° sobre a superfície do material, sob pressão constante de 90 psi.

- Grupo 4 (ácido fosfórico a 35% - AF): ácido fosfórico à 35% (3M ESPE, São Paulo, SP) foi aplicado sobre a superfície dos corpos de prova, por 15 s¹⁵.
- Grupo 5 (ácido poliacrílico a 11,5% - AP): aplicação de ácido poliacrílico à 11,5% (SS White, Rio de Janeiro, RJ) por 20 s^{89,90}.
- Grupo 6 (fresa diamantada e ácido fosfórico à 35% - FD + AF): a superfície do corpo de prova recebeu o tratamento com fresa esférica diamantada, de acordo com o protocolo descrito no grupo 2 e em seguida, foi condicionada com o ácido fosfórico à 35%, seguindo o protocolo de tratamento do grupo 4.
- Grupo 7 (fresa diamantada e ácido poliacrílico à 11,5% - FD + AP): a superfície do corpo de prova recebeu o tratamento com fresa esférica diamantada, de acordo com o protocolo descrito no grupo 2 e em seguida, foi condicionada com o ácido poliacrílico à 11,5%, descrito no tratamento do grupo 5.
- Grupo 8 (abrasão a ar e ácido fosfórico à 35% - AA + AF): a superfície do corpo de prova recebeu o tratamento de abrasão a ar, de acordo com o protocolo aplicado no grupo 3 e em seguida, foi condicionada com o ácido fosfórico à 35%, seguindo o protocolo de tratamento do grupo 4.
- Grupo 9 (abrasão a ar e ácido poliacrílico à 11,5% - AA + AP): a superfície do corpo de prova recebeu o tratamento de abrasão a ar, de acordo com o protocolo descrito no grupo 3 e em seguida, foi

condicionada com o ácido poliacrílico à 11,5%, de acordo com o protocolo de tratamento do grupo 5.

Imediatamente ao tratamento de superfície, todos os corpos de prova foram lavados com água, com auxílio de uma seringa tríplice (10 s) e delicadamente secos com papel absorvente.

Confeção do reparo e aplicação do US

Após os tratamentos das superfícies, os corpos de prova foram novamente posicionados na matriz de poliéster para confeção do reparo. Para facilitar a visualização e classificação das fraturas dos CIV, o reparo foi confeccionado com CIV e adicionado 0,5 µg de rodamina. O material foi manipulado de acordo com as instruções do fabricante, e logo após foi inserido sobre a superfície do CIV já tratada.

A aplicação de US foi realizada durante 0, 15 ou 30 segundos, deslizando a ponta ativa do aparelho sobre a parede lateral e superior do corpo de prova, protegidos com a tira de poliéster.

O aparelho utilizado foi o PROFÍ III BIOS (Dabi Atlante, Ribeirão Preto, SP), operado a 28 kHz de frequência oscilatória, potência acústica de 24 W e com 80% da amplitude total de vibração da ponta^{7,26,40}. A ponta utilizada foi do modelo Perio E 'Espátula' (Dabi Atlante, Ribeirão Preto, SP)^{7,26,30,40}, sem irrigação, para evitar que a água interferisse na reação de presa do CIV²³.

Após 5 minutos, foi removida a tira de poliéster e então foi realizada nova proteção superficial com verniz ácido-resistente, para armazenamento do espécime por 24 horas, em 100% de umidade e estufa a 37° C.

Foram confeccionados 15 corpos de prova para cada grupo, de acordo com o tratamento de superfície e aplicação de US para a confecção do reparo (Tabela 1).

Tabela 1 - Distribuição dos grupos, de acordo com o tratamento mecânico e químico e tempo de aplicação de ultrassom (s)

Grupos	Tratamento	Tratamento	Aplicação de ultrassom		
	mecânico	químico	0''	15''	30''
G1	Ausente	Ausente	5	5	5
G2	Fresa diam. (FD)	Ausente	5	5	5
G3	Abrasão à ar (AA)	Ausente	5	5	5
G4	Ausente	Ácido fosfórico (AF)	5	5	5
G5	Ausente	Ácido poliacrílico (AP)	5	5	5
G6	FD	AF	5	5	5
G7	FD	AP	5	5	5
G8	AA	AF	5	5	5
G9	AA	AP	5	5	5

Ensaio mecânico de microtração

Os corpos de prova foram fixados com godiva de baixa fusão, em uma base de madeira e levados à máquina metalográfica (Isomet 1000, Buehler Ltd, Lake Bluf, IL, EUA) equipada com disco diamantado de 0,3 mm de espessura (Diamond Wafering Blade, Buehler Ltd. Lake Bluf, IL, EUA), sob refrigeração constante, peso de 200 gf e velocidade de 250 rpm.

Foram realizados cortes seriados de 1,3 mm de espessura, perpendicularmente ao longo eixo do corpo de prova. Após rotação do corpo em 90°, nova série de cortes foi realizada, resultando em espécimes em forma de palitos, com área transversal de secção de aproximadamente 1 mm².

Cada espécime foi cuidadosamente inspecionado em lupa estereoscópica (Modelo SZX7, Olympus, São Paulo, SP) com 30x de aumento. Quando apresentou irregularidades ou bolhas no material, o espécime foi excluído da amostra. Os espécimes selecionados tiveram a área de união (CIV envelhecido/CIV reparo) individualmente mensurada com paquímetro digital (Mod. 500-144B, Mytutoyo Sul Americana Ltda., São Paulo, SP), com resolução de 0,01 mm.

Os palitos foram individualmente fixados, com adesivo de cianocrilato (Super Bonder Gel e Ativador 7456, Henkel Loctite Ltda, São Paulo, SP), a um dispositivo metálico adaptado na máquina para ensaios mecânicos (DL, EMIC Equipamentos de Ensaio Ltda, Curitiba, PR),

previamente ajustada para o ensaio de microtração, com célula de carga de capacidade máxima de 1 kN e velocidade de 0,5 mm/min.

Os movimentos de tração foram controlados por um software (Tesc – Test Script, EMIC Equipamentos de Ensaio Ltda, Curitiba, PR) e cessados com o rompimento do espécime, quando os valores de resistência à tração foram obtidos pela razão entre a carga máxima e a área de união do espécime (MPa).

Fractografia

As partes fraturadas dos espécimes foram examinadas em lupa estereoscópica (Modelo SZX7, Olympus, São Paulo, SP) com 30x de aumento para determinação do tipo de fratura, classificada em coesiva do CIV envelhecido, coesiva do CIV reparado, adesiva (na interface de união entre os CIV) ou mista.

Tratamento estatístico dos dados

O procedimento de análise de variância a três fatores independentes foi utilizado para avaliar o efeito de diferentes tratamentos de superfície (químico e mecânico), com aplicação de US por determinado períodos, sobre a resistência máxima à tração de reparos de restaurações de CIV. Esta análise foi complementada por comparações múltiplas pelo teste de Tukey. Ressalta-se que as condições de homogeneidade de variâncias e de normalidade dos erros experimentais

foram comprovadas, respectivamente pelos testes de Levene e de Shapiro-Wilk. Adotou-se o nível de significância de 5% para a tomada de decisões.

No estudo dos tipos de fraturas nas superfícies dos espécimes submetidos aos ensaios de tração, analisaram-se as frequências e porcentagens de ocorrência de cada tipo.

Resultado

Na Tabela 2 estão apresentadas as médias e desvios padrão dos valores de resistência máxima à tração (MPa) dos reparos de restaurações de CIV submetidos ao tratamentos de superfície químicos ou mecânicos, expostos à excitação US.

Tabela 2 - Médias e desvios padrão (DP) de resistência máxima à tração (MPa), de acordo o tratamento de superfície e o tempo de US (s)

Trat. Mec.	Trat. Quim.	0 s			15 s			30 s		
		Média	DP		Média	DP		Média	DP	
Ausente	Ausente	11,59	1,14	abc	7,94	1,34	a	10,39	2,15	a
FD	Ausente	10,10	1,39	abc	9,09	1,71	ab	8,54	1,06	a
AA	Ausente	13,05	1,51	bc	11,29	0,61	ab	9,76	2,12	a
Ausente	AF	10,42	1,46	abc	10,35	0,70	ab	9,37	2,57	ab
FD	AF	13,52	1,70	c	12,14	1,76	b	11,74	1,65	ab
AA	AF	9,94	0,70	ab	10,27	1,91	ab	10,56	0,98	ab
Ausente	AP	8,76	1,77	a	7,92	1,16	a	10,76	0,83	b
FD	AP	9,96	1,61	ab	9,70	0,80	ab	11,89	2,22	b
AA	AP	11,00	1,48	abc	11,58	2,20	b	12,48	2,57	b

Médias com letras iguais, na coluna, não tem diferença estatística pelo teste de Tukey ($p > 0,0167$). Não houve comparação estatística nas linhas (horizontal).

A análise de variância de três fatores (tratamento mecânico, tratamento químico e tempo de US) indicou efeitos significativos tanto de fatores principais como de interações entre eles. Foram realizadas três análises, uma em cada tempo de US. Pelo critério de Bonferroni, o nível de significância foi de 1,67% (Apêndice).

Sem aplicação de US a análise de variância apontou efeito significativo da interação entre os tratamentos mecânico e químico ($p < 0,001$), assim como com a aplicação de US por 15 s ($p = 0,012$). Mas com a aplicação de US por 30 s somente ocorreu efeito significativo de tratamento químico ($p = 0,015$). Para estudar as significâncias apontadas pelas análises de variância foi utilizado o teste de comparações múltiplas de Tukey, ao nível de 1,67%.

Sem a aplicação de US, a menor média de resistência à tração foi do tratamento de superfície somente com AP e a maior de FD+AF. As outras médias consistiram em resultados intermediários, com as médias de FD+AP e AA+AF não diferentes significativamente da menor, enquanto a média de AA não diferiu da maior, sendo as restantes não diferentes significativamente de qualquer uma das médias.

Com US por 15 s, as menores médias foram do controle (sem tratamento de superfície) e do tratamento com apenas AP. As maiores ocorreram com FD+AF e AA+AP, sendo as médias restantes valores intermediários sem diferença significativa desses extremos.

No caso da aplicação de ultrassom por 30 s, as menores médias ocorreram na ausência do tratamento químico e as maiores na presença do tratamento com AP. Na presença do tratamento químico com AF as médias se mostraram equivalentes entre si e com todas as outras. Deve-se notar que esta comparação não envolveu as médias dos grupos individuais, mas das três médias representativas de tratamento químico: controle, AF e AP, independentemente do tratamento mecânico.

Na Figura 1 estão representadas graficamente as médias amostrais e intervalos de confiança de 98,33% para as médias populacionais. Esses intervalos auxiliam na quantificação das diferenças significativas entre médias apontadas acima. Quanto maior a sobreposição dos intervalos, mais fraca será a evidência de diferença entre as médias.

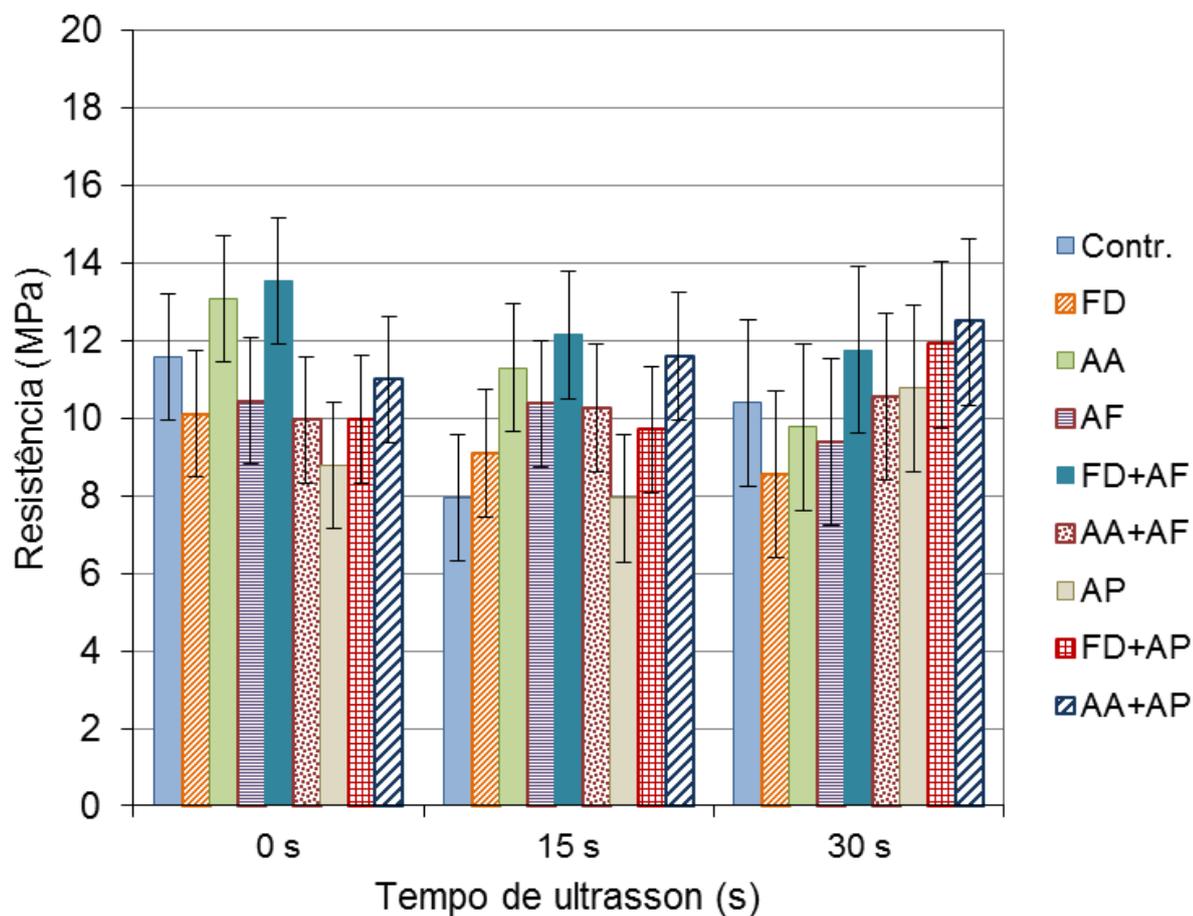


FIGURA 1 - Médias amostrais (colunas) e intervalos de confiança de 98,33% para as médias populacionais (barras) de resistência máxima à tração (MPa) de acordo com o tempo de US e o tratamento de superfície.

Na Tabela 3 estão apresentadas as contagens e porcentagens dos tipos de fratura observados nos espécimes submetidos ao ensaio de tração, classificada em adesiva, coesiva (do cimento envelhecido ou do reparo) ou mista. Essas porcentagens também estão representadas graficamente nas Figuras 2, 3 e 4.

Tabela 3 – Frequência e porcentagem, entre parênteses, de ocorrência dos tipos de fratura de acordo com o tempo de US e tratamento de superfície mecânico ou químico

Tempo de Ultrassom (s)	Trat. Mec.	Trat. Quim.	Tipo de fratura			
			Adesiva	Mista	Cimento Envelhecido	Reparo
0	Ausente	Ausente	8 (14)	3 (5)	23 (39)	25 (42)
	FD	Ausente	15 (25)	1 (2)	30 (50)	14 (23)
	AA	Ausente	2 (4)	6 (12)	26 (53)	15 (31)
	Ausente	AF	0 (0)	3 (6)	32 (59)	19 (35)
	FD	AF	1 (3)	11 (28)	16 (40)	12 (30)
	AA	AF	1 (3)	0 (0)	27 (71)	10 (26)
	Ausente	AP	6 (8)	12 (17)	32 (44)	22 (31)
	FD	AP	18 (32)	9 (16)	21 (38)	8 (14)
	AA	AP	0 (0)	2 (5)	27 (68)	11 (28)
15	Ausente	Ausente	12 (18)	8 (12)	22 (33)	25 (37)
	FD	Ausente	27 (40)	13 (19)	26 (39)	1 (1)
	AA	Ausente	6 (10)	6 (10)	33 (56)	14 (24)
	Ausente	AF	4 (6)	3 (5)	39 (60)	19 (29)
	FD	AF	0 (0)	2 (4)	22 (47)	23 (49)
	AA	AF	2 (4)	9 (18)	27 (55)	11 (22)
	Ausente	AP	14 (26)	0 (0)	33 (61)	7 (13)
	FD	AP	3 (7)	2 (5)	24 (56)	14 (33)
	AA	AP	3 (6)	11 (22)	29 (58)	7 (14)
30	Ausente	Ausente	5 (8)	8 (13)	39 (61)	12 (19)
	FD	Ausente	15 (23)	31 (48)	14 (22)	5 (8)
	AA	Ausente	1 (2)	7 (15)	24 (51)	15 (32)
	Ausente	AF	9 (17)	1 (2)	29 (55)	14 (26)
	FD	AF	0 (0)	3 (7)	34 (74)	9 (20)
	AA	AF	2 (4)	1 (2)	28 (61)	15 (33)
	Ausente	AP	3 (5)	3 (5)	32 (51)	25 (40)
	FD	AP	15 (42)	3 (8)	16 (44)	2 (6)
	AA	AP	0 (0)	2 (4)	25 (52)	21 (44)

Destaca-se a predominância da fratura coesiva no cimento envelhecido, seguida na maioria das vezes pela fratura coesiva no reparo. Algumas exceções ocorreram com aumento da fratura adesiva ou mista, sempre envolvendo o tratamento mecânico com fresa diamantada.

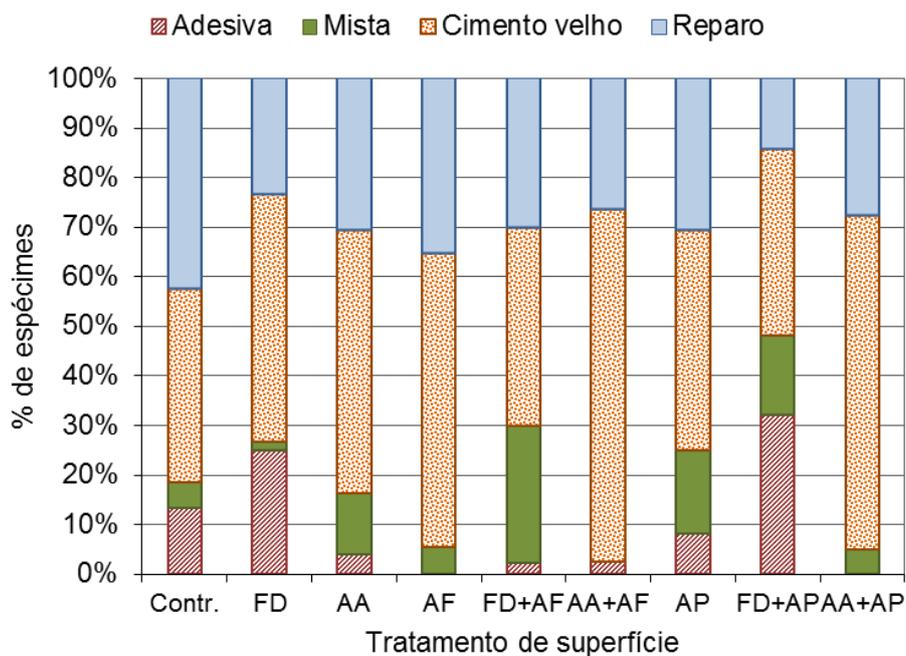


FIGURA 2 - Porcentagem de tipos de fraturas nos espécimes submetidos ao ensaio de tração, de acordo com o tratamento de superfície sem US.

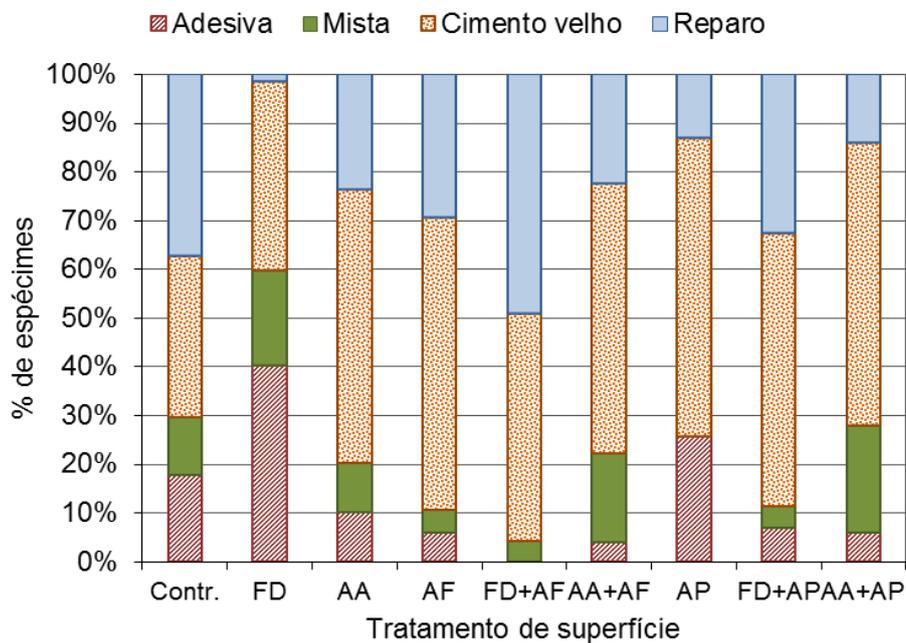


FIGURA 3 - Porcentagem de tipos de fraturas nos espécimes submetidos ao ensaio de tração, de acordo com o tratamento com US por 15s.

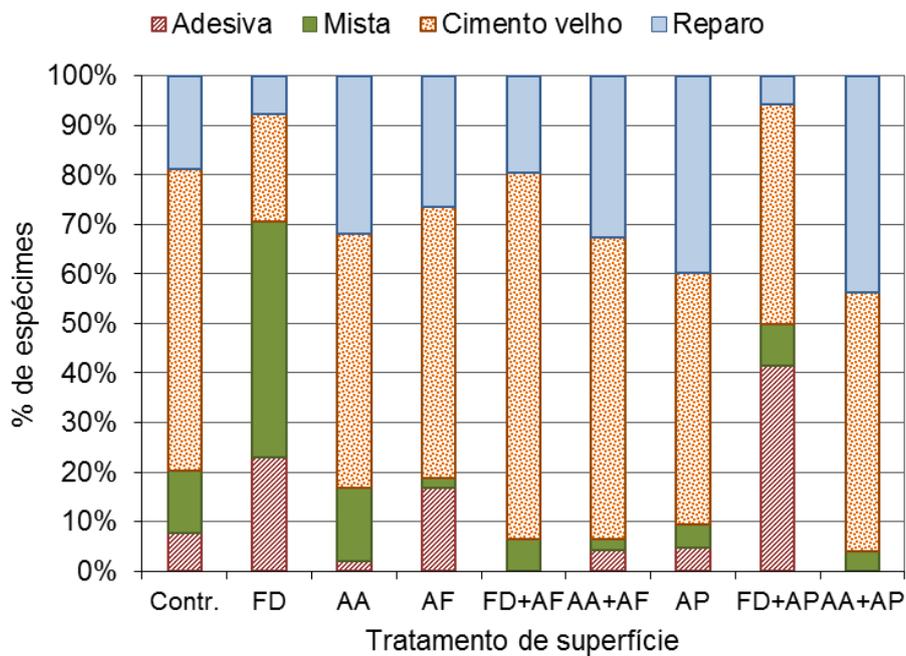


FIGURA 4 - Porcentagem de tipos de fraturas nos espécimes submetidos ao ensaio de tração, de acordo com o tratamento com US por 30s.

Discussão

O teste de microtração é uma importante ferramenta para o estudo da resistência de união, introduzida por Sano et al.⁶⁵, em 1994. A nova proposta parecia solucionar as limitações dos ensaios tradicionais de cisalhamento e tração, como distribuição mais uniforme de tensões, fraturas predominantemente coesivas nos substratos testados, além de permitir a localização das áreas de adesão e diminuição na dimensão dos espécimes⁶⁵. Entretanto, a confecção dos corpos de prova para execução deste teste mostrou-se crítica, e suas particularidades se refletem na divergência de resultados obtidos na literatura. Uma série de fatores deve ser considerada na análise dos resultados, como o substrato envolvido, formato do corpo-de-prova, método de corte para sua obtenção, área de adesão e características das superfícies fraturadas¹⁹. Existe também muita variedade de metodologias na execução do teste e os valores de resistência são influenciados pelos diferentes dispositivos de microtração, impossibilitando a comparação fidedigna de resultados numéricos entre os trabalhos^{14,19}.

Outra controvérsia existente na literatura diz respeito ao que se considera como unidade experimental no teste de microtração. Quando da introdução do método, considerava-se o corpo de prova (palito) como unidade experimental, com a vantagem de que poucos dentes forneceriam uma grande amostra. Dessa maneira, incorria-se uma falha

estatística, pois os dados eram tratados de forma independente quando na verdade não o eram. Considerando que os corpos de prova provenientes de um mesmo dente haviam recebido o mesmo tratamento, passou-se a considerar o dente como unidade experimental¹⁹. Desse modo, no presente trabalho, para efeito de análise estatística, foi calculada média dos palitos testados para cada reparo de restauração.

Previamente aos procedimentos de confecção do reparo, os corpos de prova passaram por termociclagem, de 500 ciclos com temperatura de $5 \pm 2^\circ \text{C}$ e $55 \pm 2^\circ \text{C}$. Segundo Arici, Arici⁵ (2003), a termociclagem induz ao envelhecimento acelerado pela exposição ao estresse térmico. É uma simulação laboratorial de um processo in vivo de variações de temperatura no meio bucal, comum em muitos testes de indicador de penetração, infiltração marginal e resistência à tração. É indicado para a investigação do modo de fratura, mesmo com materiais friáveis como o CIV³³.

Como todos os cimentos baseados em água, a fragilidade é uma característica inerente dos CIV, que pode conduzir a fratura ou desgaste⁴¹. Desta forma, há necessidade clínica de reparo do CIV, assim como em situações em que há falta de material na restauração devido a erro técnico ou infiltração marginal⁴¹.

A principal razão de falha de restaurações CIV é a fratura da mesma, a qual indica propriedades físicas inadequadas do CIV como material restaurador para regiões de alto estresse^{19,54,62}.

A resistência à fratura depende de fatores estruturais que dependem da inclusão de bolhas, distribuição de rachaduras, falhas na superfície e internamente no cimento^{20,22}. O material também é suscetível a fratura e ao desgaste antes de atingir sua presa final. A reação de presa do CIV depende da concentração de água e por isso deve ser protegido superficialmente no meio bucal^{23,37,46}. Se o material desidratar nesta fase, se torna frágil devido a formação de fendas e trincas. Na presença de excesso de água, sua presa fica comprometida e a restauração torna-se opaca, devido a perda de íons. Sua presa é lenta e contínua, e sua maturação final não é alcançada em menos de uma semana^{23,44,46,54}.

Danos no cimento antes de completar sua reação levam a um prejuízo em suas propriedades físicas. Portanto, a aceleração desse processo pode superar algumas desvantagens associadas a presa lenta do material³⁴. A aceleração da reação de presa dos CIV pode ser conseguida com a aplicação de US^{1,38,51,68,74,75,79,81}.

Além de reduzir o tempo de presa, a aplicação do US confere outras melhoras nas propriedades físicas como aumento da dureza superficial^{11,21,40,51,56,79}, aumento da liberação^{64,78} e absorção de íons flúor⁶⁹, diminuição da rugosidade superficial⁴⁰, da porosidade interna^{20,26,80} e da sorção de água⁵¹. Quanto às propriedades mecânicas, seus efeitos aumentam a resistência à flexão^{4,79}, à compressão^{2,10,75,81}, de união ao esmalte¹ e dentina^{7,20,30}.

Os efeitos da aplicação do US na reação de presa dos CIV é baseado nos mecanismos de propagação de ondas. O microfluxo acústico gera a movimentação e colisões de pequenas partículas e a transferência de energia às partículas adjacente³⁵, resultando em quebra dos aglomerados de partículas de vidro^{68,80}. As partículas menores apresentam área maior para reação com os ácidos carboxílicos, aumentando a velocidade da reação e melhor integração e distribuição das partículas e a matriz^{68,69,74,78,80}. A pressão de radiação movimenta as partículas mais densas a partir do transdutor na mesma direção da propagação da onda³⁵, melhorando a compactação do material na cavidade^{20,51,80}.

A atividade cavitacional gerada pela aplicação do US envolve fenômenos complexos desde a criação, oscilação, crescimento e colapso de bolhas no interior do material. Após o colapso da bolha, esta pode fragmentar, repetir o ciclo de crescimento/colapso inúmeras vezes³⁵ ou emergir até a superfície²⁹. Embora a aplicação de US não elimine completamente a porosidade do material, resulta em efeito benéfico da diminuição do tamanho e quantidade de poros^{20,26,80}.

A absorção acústica faz com que na passagem de uma onda ultrassônica através de um meio, parte de sua energia seja perdida e dissipada em forma de calor, elevando a temperatura local^{35,39}. Apesar do aumento de temperatura isoladamente melhorar algumas propriedades mecânicas dos CIV^{2,38}, alguns autores acreditam que o calor gerado do

US não seja a única causa desse benefício^{56,68,78} e os mecanismos de ação do US no cimento devem ser melhor esclarecidos.

O aparelho de US utilizado nesta pesquisa foi ajustado conforme estudos anteriores^{7,26,40,42} e foi operado a 28 kHz de frequência oscilatória. Esta faixa de frequência é ótima para água, e produz um efeito cavitacional mais eficiente, com bolhas de maior diâmetro (10-20 μm) que promovem aumento da energia de colapso⁹.

O tempo de aplicação do US em CIV é bastante controverso na literatura, variando de 5s⁷⁵ a 60s¹. Apesar de alguns trabalhos apresentarem a relação direta entre o aumento de tempo de aplicação e melhores resultados^{4,74,80}, neste estudo foram estabelecidos os tempos de 15 e 30s. De acordo com Veréz-Fraguela et al.⁸³ (2000) as lesões histopatológicas do tecido pulpar são progressivamente mais aparentes com o aumento do tempo de aplicação e recomendam que o US, sem a irrigação com água, não deva ser aplicado por mais de 30s.

A presa rápida permite um menor tempo operatório, restaurações mais convenientes para o paciente e para o clínico, assegurando ao paciente o uso de cargas mastigatórias em menor tempo, sem risco de danos a restauração^{74,90}.

As técnicas de reparo dependem do material utilizado. O reparo de Am requer que o dente apresente características retentivas, porque uma união molecular significativa não pode ser obtida e a resistência e retenção da restauração resultante são questionáveis. Reparos de

restaurações de RC requerem remoção da lesão cariosa recorrente, com execução dos procedimentos de união apropriados e inserção de nova restauração de RC. Além disso, a resistência e retenção total resultante da restauração reparada são questionáveis, exceto pela retenção oferecida pelo agente de união²⁵. Nos reparos de restaurações de CIV, os autores supõem que há uma interação entre partículas de vidro expostas do antigo material e ácido poliacrílico do novo, produzindo uma união química entre eles^{36,89,90}. Consideram também que a retenção pode ser melhorada com a adesão do novo material a estrutura dentária¹⁵.

De acordo com Jamaluddin et al.³⁶ (1994) o reparo de CIV pode ser conseguido com sucesso pelo tratamento da superfície do cimento. Na tentativa de criar superfícies rugosas, que possam promover o embricamento mecânico ou união química do material, os mais variados tratamentos químicos e mecânicos têm sido utilizados⁷⁰.

Neste estudo, a menor média de resistência à tração de reparo foi quando utilizado AP e as maiores foram obtidas quando se combinou o tratamento de FD+AF (Tabela 2). Este último tratamento já é muito utilizado, é simples, eficiente e já aponta bons resultados obtidos em outros estudos encontrados na literatura^{13,36}. De acordo com Brackett, Johnston¹⁵ (1989), todos os reparos de espécimes que receberam tratamento químico antes do reparo com CIV alcançaram no mínimo 40% da resistência flexural dos espécimes que não foram reparados. Observaram também que os reparos realizados com tratamento com

ácido fosfórico a 37% apresentaram resistência flexural significativamente maior que os tratados com ácido poliacrílico a 40%. Da mesma maneira, Jamaluddin e Pearson³⁶ (1994) encontraram que o tratamento com ácido fosfórico foi melhor e produziu reparos com aproximadamente 80% da resistência flexural do grupo controle.

Tratamentos mecânicos buscam aumento da rugosidade superficial para promover microrretenção mecânica, a qual geralmente promove resistência de união mais eficiente do reparo e assume o papel principal na retenção nos reparos de resinas. Esta rugosidade pode ser promovida pela AA através de partículas de óxido de alumínio ou com FD^{13,27,45,70,72}. O tratamento químico com ácidos também promove a retenção mecânica do novo material nas irregularidades criadas pelo condicionamento da superfície dentária¹⁵. Neste trabalho, quando da aplicação de 30 s de US, pode-se observar as maiores médias de resistência à tração de reparo na presença de tratamento com AP. Porém, apesar do tratamento com AP ser considerado o mais indicado para o condicionamento superficial do substrato dentário para promover a adesão dos CIV⁵⁷, aos 15s de aplicação de US, foi o tratamento que apresentou as menores médias de resistência a tração (Tabela 2, Figura 1).

Deve-se destacar também que foi observado que na ausência de tratamento químico, encontrou-se as menores médias de resistência a tração quando o US foi aplicado por 30s (Tabela 2, Figura 1).

A associação de tratamentos mecânicos a tratamentos químicos também mostrou bons resultados. Neste estudo, pode-se observar também que quando da aplicação de US por 30s melhores resultados puderam ser observados após tratamento com FD+AF e AA+AP (Tabela 2, Figura 1).

Deve-se destacar também, além do importante papel representado por agentes químicos e mecânicos na retenção de reparos em CIV, a influência do US, o qual, de acordo com Towler et al.⁸⁰ (2003) proporciona evidente a redução do tamanho da partículas, quebra dos aglomerados e aumento da área superficial para reação do material, resultando em menor porosidade, maior integração das partículas com a matriz e melhor compactação do material. De acordo com Mata⁴² (2012), o aumento de temperatura gerado pela utilização do US até 45s de aplicação é seguro para seu uso clínico, quando consideramos possíveis danos pulpare.

Neste estudo pode-se observar também predominância da fratura coesiva no cimento envelhecido, seguida na maioria das vezes pela fratura coesiva no reparo. Algumas exceções ocorreram com aumento da fratura adesiva ou mista, sempre envolvendo o tratamento mecânico com fresa diamantada (Tabela 3), independente do tempo de aplicação de US (Figuras 2, 3 e 4).

De acordo com Christensen²⁵ (2007) a indicação de CIV para o reparo de restaurações é oportuna, pois preservam a estrutura dentária e os pacientes apreciam essa abordagem clínica conservadora, rápida e de

baixo custo. Considerando a odontologia conservadora e preservativa que buscamos nos dias atuais, a realização de reparos em restaurações mal sucedidas diante do estresse funcional, torna-se excelente procedimento quando comparada a substituição total do material restaurador.

Apesar da diferença numérica entre os tratamentos de superfície propostos, deve-se inferir que, de acordo com experiência clínica, possivelmente estes números não representem diferença no desempenho clínico de reparos de restaurações. Entretanto, devido a ausência de evidências científicas, muito cuidado deve-se ter ao extrapolar os resultados desses trabalhos in vitro para o uso clínico.

Conclusão

Diante de uma odontologia conservadora e preservativa podemos concluir que a união dos reparos de restaurações com CIV foi favorecida quando o preparo da superfície do material remanescente foi realizado com fresa diamantada e aplicação de ácido fosfórico a 35%.

O tratamento do CIV com excitação ultrassônica para a confecção do reparo favoreceu a resistência de união quando o mesmo foi aplicado pelo tempo de 30 s e após o material remanescente receber tratamento mecânico associado à aplicação de ácido poliacrílico a 11,5%.

Referências*

1. Algera TJ, Kleverlaan CJ, de Gee AJ, Prahal-Andersen B, Feilzer AJ. The influence of accelerating the setting rate by ultrasound or heat on the bond strength of glass ionomers used as orthodontic bracket cements. *Eur J Orthod.* 2005; 27: 472-6.
2. Algera TJ, Kleverlaan CJ, Prahl-Andersen B, Feilzer AJ. The influence of environmental conditions on the materials properties of setting glass-ionomer cements. *Dent Mater.* 2006; 22: 852-6.
3. American National Standard / American Dental Association. Specification No.66 for dental glass ionomer cements. Council on Dental Materials, Instruments and Equipment. *J Am Dent Assoc.* 1989; 119: 205.
4. Arcoria CJ, Butler JR, Wagner MJ, Vitasek BA. Bending strength of Fuji and Ketac glass ionomers after sonification. *J Oral Rehabil.* 1992; 19:607-13.
5. Arici S, Arici N. Effects of thermocycling on the bond strength of a resin-modified glass ionomer cement: an in vitro comparative study. *Angle Orthod.* 2003; 73:692-6.
6. Attin T, Vataschki M, Hellwig E. Properties of resin-modified glass ionomer restorative materials and two polyacid-modified resin composite materials. *Quintessence Int.* 1996; 27:203- 9.

⁸De acordo com o estilo Vancouver, disponível no site: http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html.

7. Azevedo ER, Coldebella CR, Zuanon ACC. Effect of ultrasonic excitation on the microtensile bond strength of glass ionomer cements to dentin after different water storage times. *Ultrasound Med Biol.* 2011; 37: 2133-8.
8. Azevedo MS, Vilas Boas D, Demarco FF, Romano AR. Where and how are brazilian dental students using glass ionomer cement? *Braz Oral Res.* 2010; 24: 482-7
9. Bagis B, Turkaslan S, Vallittu PK, Lassila LVP. Effect of high frequency ultrasonic agitation on the bond strength of self-etching adhesives. *J Adhes Dent.* 2009; 11:369-74.
10. Barata TJE, Bresciani E, Adachi A, Fagundes TC, Carvalho CAR, Navarro MFL. Influence of ultrasonic setting on compressive and diametral tensile strengths of glass ionomer cements. *Mater Res.* 2008; 11: 57-61.
11. Baloch FA, Mirza AJ, Baloch D. An in-vitro study compares the microhardness of glass ionomer cement set conventionally versus set under ultrasonic waves. *Inter J Health Sci.* 2010; 4: 149-55.
12. Bonifácio CC, Kleverlaan CJ, Raggio DP, Werner A, Carvalho RCR. Physical-mechanical properties of glass ionomer cements indicated for atraumatic restorative treatment. *Aust Dent J.* 2009; 54: 233-7.
13. Bonstein T, Garlapo D, Donarummo Jr J, Bush PJ. Evaluation of varied repair protocols applied to aged composite resin. *J Adhes Dent.* 2005; 7:41-9.

14. Botta AC, Salvia ACRD, Nogueira Júnior L, Pavanelli CA, Pagani C. Influencia de diferentes dispositivos de microtração nos valores de resistência coesiva. *Braz Dent Sci.* 2009; 12: 34-9.
15. Brackett WW, Johnston WM. Repair of glass ionomer restorative materials: flexure strength of specimens repaired by two methods. *J Prosthet Dent.* 1989; 32: 261-4.
16. Burke FJT, Wilson NHF, Cheung SW, Mjör IA. Influence of patient factors on age of restorations at failure and reasons for their placement and replacement. *J Dent.* 2001; 29: 317-24.
17. Burke FJT, Lucarotti PSK. Re-intervention in glass ionomer restorations: What comes next? *J Dent.* 2009; 37:39-43.
18. Burrow MF, Harada N, Kitasako Y, Nikaido T, Tagami J. Seven-year dentin bond strengths of a total-and self-etch system. *Eur J Oral Sci.* 2005; 113:265-70.
19. Camargo MA, Silveira BL, Delfino CS, Zaroni WCS, Matos AB. Ensaio de microtração: uma revisão crítica da literatura. *Rev Inst Ciênc Saúde* 2007; 25: 313-8.
20. Cantoro A, Goracci C, Coniglio I, Magni E, Polimeni A, Ferrari M. Influence of ultrasound application on inlays luting with self-adhesive resin cements. *Clin Oral Invest.* 2011; 15: 617-23.
21. Carvalho CA, Fagundes TC, Barata TJE, Navarro MF. Influence of ultrasonic setting on microhardness of glass-ionomer cements. *J Minim Interv Dent.* 2008; 1: 66-76.

22. Cattani-Lorente MA, Gondin C, Meyer JM. Early strength of glass ionomer cements. *Dent Mater.* 1993; 9:57-62.
23. Cattani-Lorente MA, Dupuis V, Payan J, Moya F, Meyer JM. Effect of water on the physical properties of resin-modified glass ionomer cements. *Dent Mater.* 1999; 15:71-8.
24. Catuna MC. Sonic energy. A possible dental application. Preliminary report of an ultrasonic cutting method. *Ann Dent.* 1953; 12: 256-60.
25. Christensen GJ. When and how to repair a failing restoration. *J Am Dent Assoc.* 2007; 138:1605-7.
26. Coldebella CR, Santos-Pinto L, Zuanon ACC. Effect of ultrasonic excitation on the porosity of glass ionomer cement: a scanning electron microscope evaluation. *Microsc Res Tech.* 2011; 74:54-7.
27. Dall'Oca S, Papacchini F, Radovic I, Polimeni A, Ferrari M. Repair potential of a laboratory-processed nano-hybrid resin composite. *Int J Oral Sci.* 2008, 50:403-12.
28. Duymus ZY, Ylmaz B, Karaalioglu FO. An investigation of thermal changes of various permanent dental cements. *Dent Mater J.* 2009; 28: 285-9.
29. Eskin GI. Cavitation mechanism of ultrasonic melt degassing. *Ultrason Sonochem.* 1995; 2: 137-41.

30. FagundesTC, Barata TJE, Bresciani E, Cefaly DFG, Carvalho CAR, Navarro MFL. Influence of ultrasonic setting on tensile bond strength of glass-ionomer cements to dentin. *J Adhes Dent.* 2006; 8: 401-7.
31. Frencken JE, Songpaisan Y, Phantumvanit P, Pilot T. An atraumatic restorative treatment (ART) technique: evaluation after one year. *Int Dent J.* 1994; 44: 460-4.
32. Fukuyama T, Oda S, Yamashita H, Sekiguchi H, Yakushiji M. Clinical survey on type of restoration in deciduous teeth. *Bull Tokyo Dent Coll.* 2008; 49: 41-50.
33. Gale MS, Darvell BW. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent.* 1999, 27: 89-99.
34. Guglielmi CAB, Mohana A, Hesse D, Lenzi L, Bonini GC, Raggio DP. Influence of ultrasound or halogen light on microleakage and hardness of enamel adjacent to glass ionomer cement. *Int J Paediat Dent.* 2012; 22:110–5
35. Humphrey VF. Ultrasound and matter – physical interactions. *Prog Biophys Mol Biol.* 2007; 93: 195-211.
36. Jamaluddin A, Pearson GJ. Repair of glass ionomer cements – methods for conditioning the surface of the cement to achieve bonding. *J Oral Rehabil.* 1994; 21: 649-53.

37. Karaođlanođlu S, Akgül N, Özdamak HN, Algül HM. Effectiveness of surface protection for glass-ionomer, resin-modified glass-ionomer and polyacid-modified composite resins. *Dent Mater J*. 2009; 28:96-10
38. Kleverlaan CJ, van Duinen RNB, Feilzer AJ. Mechanical properties of glass ionomer cements affected by curing methods. *Dent Mater*. 2004; 20: 45-50.
39. Laird WR, Walmsley AD. Ultrasound in dentistry. Part 1--Biophysical interactions. *J Dent*. 1991; 19: 14-7.
40. Lopes JHP, Murilo S, Coldebella CR, Zuanon ACC. Avaliação de ondas de ultrassom sobre cimentos de ionômero de vidro: rugosidade superficial e dureza. *Rev Odontol Bras Central*. 2010; 18(48): 42-7.
41. Maneenut C, Sakoolnamarka R, Tyas MJ. The repair potential of resin-modified glass-ionomer cements. *Dent Mater*. 2010; 26: 659-65.
42. Mata M. Temperatura superficial e interna de cimentos de ionômeros de vidro e transmissão de calor à câmara pulpar. Aplicação de ondas de ultrassom [Dissertação de Mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2012.
43. Matsumura H, Salonga JP, Taira Y, Atsuta M. Effect of ultrasonic instrumentation on bond strength of three dental cements bonded to nickel-chromium alloy. *J Prosthet Dent*. 1996; 75:309-13.

44. McLean JW, Nicholson JW, Wilson AD. Proposed nomenclature for glass-ionomer dental cements and related materials. *Quintessence Int.* 1994, 25: 587-9.
45. McLean JW. Evolution of glass-ionomer cements: a personal view. *J Esthet Dent.* 1994, 6: 195-206.
46. Milne KA, Calos NJ, O'Donnell JG, Kennard CHL, Vega S, Marks D. Glass-ionomer dental restorative. Part I: a structural study. *J Mater Sci Mater Med.* 1997, 8: 349-56.
47. Murr IA. Repair versus replacement of failed restorations. *Inter Dent J.* 1993; 43:466-72.
48. Murr IA. Glass-ionomer cement restorations and secondary caries: A preliminary report. *Quintessence Int.* 1996; 27:171-4.
49. Murr IA. Clinical diagnosis of recurrent caries. *J Am Dent Assoc.* 2005; 136:1426-33.
50. Moncada G, Fernández E, Martín J, Arancibia C, Mjör I, Gordan VV. Increasing the longevity of restorations by minimal intervention: a two-year clinical trial. *Oper Dent.* 2008; 33: 258-64.
51. Moshaverinia A, Ansari S, Moshaverinia M, Shricker SR, Chee WWL. Ultrasonically set novel NVC-containing glass-ionomer cements for applications in restorative dentistry. *J Mater Sci Mater Med* 2011; 22: 2029–34
52. Mount GJ. Adhesion of glass-ionomer cement in the clinical environment. *Oper Dent.* 1991;16: 141-8.

53. Mount GJ, Ngo HC. Minimal intervention: a new concept for operative dentistry. *Quintessence Int.* 2000; 31: 527-33.
54. Mount GJ, Tyas MJ, Ferracane JI, Berg JH, Ngo HC. A revised classification for direct tooth-colored restorative materials. *Quintessence Int.* 2009; 40:691-7.
55. Ngo HC, Mount G, Mc Intyre J, Tuisuva J, Von Doussa RJ. Chemical exchange between glass-ionomer restorations and residual carious dentine in permanent molars: an in vivo study. *J Dent.* 2006; 34: 608-13.
56. O'Brien T, Shoja-Assadi F, Lea SC, Burke FJT, Palin WM. Extrinsic energy affect hardness through depth during set of a glass-ionomer cement. *J Dent.* 2010; 38:490-5.
57. Pashley HD. Smear layer: physiological considerations. *Oper Dent.* 1984; 3(Suppl.):13-29.
58. Peez R, Frank S. The physical-mechanical performance of the new Ketac Molar Easymix compared to commercially available glass ionomer restorative. *J Dent.* 2006; 34: 582-7.
59. Pereira LC, Nunes MCP, Dibb RGP, Powers JM, Roulet JF, Navarro MFL. Mechanical properties and bond strength of glass-ionomer cements. *J Adhes Dent.* 2002; 4:73-80.
60. Prosser HJ, Jerome SM, Wilson AD. The effect of additives on the setting properties of a glass-ionomer cement. *J Dent Res.* 1982; 61:1195-8.

61. Qvist V, Laurberg L, Poulsen A, Teglers T. Eight-year on conventional glass ionomer and amalgam restorations in primary teeth. *Acta Odontol Scand.* 2004; 62: 37-45.
62. Qvist V, Manscher E Teglers T. Resin-modified and conventional glass ionomer in primary teeth: 8 year results. *J Dent.* 2004, 32: 285-94.
63. Qvist V, Poulsen A, Teglers T, Mjör IA. The longevity of different restorations in primary teeth. *Int J Paediat Dent.* 2010; 20:1-7.
64. Rushe N, Towler MR. The influence of ultrasonic setting on fluoride release from glass polyalkenoate cements. *J Mat Sci Mater Med.* 2006; 41: 5775-7.
65. Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho R, Pashley DH. Relation between surface area for adhesion and tensile bond strength – Evaluation of a micro-tensile bond test. *Dent Mater.* 1994; 10:236-40.
66. Scholtanus JD, Huysmans MCDNJM. Clinical failure of class-II restorations of a highly viscous glass-ionomer material over a 6-year period: a retrospective study. *J Dent.* 2007; 35: 156-162.
67. Shaffer RA, Charlton DG, Hermes CB. Repairability of three resin-modified glass ionomer restorative materials. *Oper Dent.* 1998, 23: 168-72.

68. Shahid R, Billington RW, Hill RG, Pearson GJ. The effect of ultrasound on the setting reaction of zinc polycarboxylate cements. *J Mater Sci Mater Med.* 2010; 21: 2901-5.
69. Shahid R, Billington RW, Hill RG. The effect of ultrasound on the uptake of fluoride by glass ionomer cements. *J Mater Sci Mater Med.* 2011; 22: 247-51.
70. Silva e Souza Jr MH, Freitas ABDA, Mondelli RFL, Ishiquiriama A. Avaliação da estabilidade de reparos em resina composta por testes de tração e cisalhamento utilizando diferentes tratamentos de superfície. *J Bras Clín Odont Integ.* 2003; 7(39): 196-201.
71. Skrinjaric K, Vranic DN, Glavina D, Skrinjaric I. Heat-treated glass ionomer cement fissure sealants: retention after 1 year follow-up. *Int J Paediat Dent.* 2008; 18:368-73.
72. Souza EM, Francischone CE, Powers JM, Rached RN, Vieira S. Effect of different surface treatment on the repair bond strength of indirect composites. *Am J Dent.* 2008; 21:93-6.
73. Sunnegårdh-Grönberg K, van Dijken JAWV, Funergård U. Selection of dental materials and longevity of replaced restorations in Public Dental Health clinics in northern Sweden. *J Dent.* 2009; 37:673-8.
74. Talal A, Tanner KE, Billington R, Pearson GJ. Effect of ultrasound on the setting characteristics of glass ionomer cements studied by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *J Mater Sci Mater Med.* 2009; 20:405-11.

75. Tanner D A, RusheN, Towler MR. Ultrasonically set glass polyalkenoate cements for orthodontic applications. *J Mater Sci Mater Med.* 2006; 17: 313-8.
76. Tantbirojn D, Rusin RP, Bui HT, Mitra SB. Inhibition of dentin demineralization adjacent to a glass-ionomer/composite sandwich restoration. *Quintessence Int.* 2009; 40:287-94.
77. Ten Cate JM, van Duinen RNB. Hipermineralization of dentinal lesions adjacent to glas-ionomer cement restorations. *J Dent Res.* 1995; 74:1266-71.
78. Thanjal NK, Billington RW, Shahid S. Kinetics of fluoride ion release from dental restorative glass ionomer cements: the influence of ultrasound, radiant heat and glass composition. *J Mater Sci Mater Med.* 2010; 21:589-95.
79. Towler MR, Bushby AJ, Billington RW, Hill RG. A preliminary comparison of the mechanical properties of chemically cured and ultrasonically cured glass ionomer cements, using nano-indentation techniques. *Biomaterials.* 2001; 22: 539-41.
80. Towler MR, Crowley CM, Hill RG. Investigation into the ultrasonic setting of glass ionomer cement: Part I: Postulated Modalities. *J Mat Sci Mater Med.* 2003; 22: 1401-6.

81. Twomey E, Towler MR, Crowley CM, Doyle J, Hampshire S. Investigation into the ultrasonic setting of glass ionomer cements. Part II: setting times and compressive strengths. *J Mat Sci Mater Med.* 2004; 39: 4631-2.
82. van Amerongen WE. Dental caries under glass ionomer restorations. *J Public Health Dent.* 1996; 56: 150-4.
83. Verez-Fraguela JL, Valles MAV, Calvo LJE. Effects of ultrasonic dental scaling on pulp vitality in dogs: an experimental study. *J Vet Dent.* 2000; 17: 75-9.
84. Walmsley AD, Williams AR, Laird WRE. Acoustic absorption within human teeth during ultrasonic descaling. *J Dent.* 1986; 14: 2-6.
85. Wilson AD, Kent BE. A new translucent cement for dentistry. The glass ionomer cement. *Br Dent J.* 1972; 132: 133-5.
86. Wilson AD, Prosser HJ, Powis DM. Mechanism of adhesion of polyelectrolyte cements to hydroxyapatite. *J Dent Res.* 1983; 62: 590-2.
87. Xie D, Brantley WA, Culbertson BM, Wang G. Mechanical properties microstructures of glass-ionomer cements. *Dent Mater.* 2000; 16: 129-38.
88. Yap AUJ, Quek CEY, Kau CH. Repair of new-generation tooth-colored restoratives: methods of surface conditioning to achieve bonding. *Oper Dent.* 1998; 23: 173-8.

89. Yap AUJ, Lye KW, Sal CW. Effects of aging on repair of resin-modified glass-ionomer cements. *J Oral Rehab.* 2000; 27:422-7.
90. Yap AUJ, Pek YS, Cheang P. Physico-mechanical properties of a fast-set highly viscous GIC restorative. *J Oral Rehab.* 2003; 30:1 -8.

Apêndice

Sumários das análises de variância

Tabela A1 – Sumários da análise de variância para avaliação de resistência máxima à tração

Effect	Graus de liberdade	Média quadrática	F	p
Tratamento mecânico (M)	2	23,04	8,78	<0,001 *
Tratamento químico (Q)	2	6,16	2,35	0,100
M x Q	4	22,78	8,68	<0,001 *
Tempo (T)	2	9,32	3,55	0,032 *
M x T	4	2,61	1,00	0,413
Q x T	4	16,16	6,16	<0,001 *
M x Q x T	8	3,57	1,36	0,222
Resíduo	108	2,62		

* Significativo ao nível de 5%

Tabela A2(a) – Sumários da análise de variância para avaliação de resistência máxima à tração sem excitação ultrassônica

Effect	Graus de liberdade	Média quadrática	F	p
Tratamento mecânico (M)	2	5,12	2,44	0,102
Tratamento químico (Q)	2	11,98	5,70	0,007 *
M x Q	4	15,46	7,36	<0,001 *
Resíduo	36	2,10		

* Significativo ao nível de 1,67% (aplicada a correção de Bonferroni)

Tabela A2(b) – Valores p do teste de Tukey para a comparação de médias de resistência máxima à tração sem excitação ultrassônica

Tratam.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média	
1 Contr.		0,788	0,798	0,934	0,484	0,684	0,083	0,701	0,999	11,59	abc
2 FD	0,788		0,060	1,000	0,017	1,000	0,867	1,000	0,985	10,10	abc
3 AA	0,798	0,060		0,131	1,000	0,039	0,001	0,042	0,403	13,05	bc
4 AF	0,934	1,000	0,131		0,041	1,000	0,674	1,000	0,999	10,42	abc
5 FD+AF	0,484	0,017	1,000	0,041		0,011	0,000	0,011	0,168	13,52	c
6 AA+AF	0,684	1,000	0,039	1,000	0,011		0,930	1,000	0,960	9,94	ab
7 AP	0,083	0,867	0,001	0,674	0,000	0,930		0,922	0,294	8,76	a
8 FD+AP	0,701	1,000	0,042	1,000	0,011	1,000	0,922		0,966	9,96	ab
9 AA+AP	0,999	0,985	0,403	0,999	0,168	0,960	0,294	0,966		11,00	abc

Tabela A3(a) – Sumários da análise de variância para avaliação de resistência máxima à tração com excitação ultrassônica por 15s

Effect	Graus de liberdade	Média quadrática	F	p
Tratamento mecânico (M)	2	20,84	9,79	<0,001 *
Tratamento químico (Q)	2	9,22	4,33	0,021
M x Q	4	7,97	3,74	0,012 *
Resíduo	36	2,13		

* Significativo ao nível de 1,67% (aplicada a correção de Bonferroni)

Tabela A3(b) – Valores p do teste de Tukey para a comparação de médias de resistência máxima à tração com excitação ultrassônica por 15s

Tratam.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média	
1 Contr.		0,938	0,022	0,215	0,002	0,254	1,000	0,612	0,010	7,94	^a
2 FD	0,938		0,327	0,903	0,050	0,933	0,935	0,999	0,186	9,09	^{ab}
3 AA	0,022	0,327		0,982	0,990	0,970	0,021	0,731	1,000	11,29	^{ab}
4 AF	0,215	0,903	0,982		0,595	1,000	0,209	0,998	0,916	10,35	^{ab}
5 FD+AF	0,002	0,050	0,990	0,595		0,535	0,002	0,205	0,999	12,14	^b
6 AA+AF	0,254	0,933	0,970	1,000	0,535		0,248	0,999	0,882	10,27	^{ab}
7 AP	1,000	0,935	0,021	0,209	0,002	0,248		0,602	0,009	7,92	^a
8 FD+AP	0,612	0,999	0,731	0,998	0,205	0,999	0,602		0,529	9,70	^{ab}
9 AA+AP	0,010	0,186	1,000	0,916	0,999	0,882	0,009	0,529		11,58	^b

Tabela A4(a) – Sumários da análise de variância para avaliação de resistência máxima à tração com excitação ultrassônica por 30s

Effect	Graus de liberdade	Média quadrática	F	p
Tratamento mecânico (M)	2	2,30	0,63	0,538
Tratamento químico (Q)	2	17,29	4,75	0,015 *
M x Q	4	6,50	1,79	0,153
Resíduo	36	3,64		

* Significativo ao nível de 1,67% (aplicada a correção de Bonferroni)

Tabela A4(b) – Valores p do teste de Tukey para a comparação de médias de resistência máxima à tração com excitação ultrassônica por 30s, independente de tratamento mecânico

Trat. Químico	1	2	3	Média	
1 Ausente		0,339	0,011	9,56	a
2 AF	0,339		0,237	10,56	ab
3 AP	0,011	0,237		11,71	b

Autorizo a reprodução deste trabalho.
(Direitos de publicação reservados ao autor)

Araraquara, 30 de julho de 2012

Elcilaine Rizzato Azevedo