

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA



Fotopolimerizadores LED de elevada intensidade - Efeito do tempo de polimerização na resistência adesiva de brackets ortodônticos

Patrícia de Carvalho Ferreira Gomes Amaral de Almeida

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

2012

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA



Fotopolimerizadores LED de elevada intensidade - Efeito do tempo de polimerização na resistência adesiva de brackets ortodônticos

Patrícia de Carvalho Ferreira Gomes Amaral de Almeida

Orientador:

Prof. Doutor Luís Filipe Almeida Silva Jardim

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

2012

INDICE

RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	5
INTRODUÇÃO.....	6
Fotopolimerizadores de cimentos ortodônticos.....	7
OBJECTIVOS.....	9
MATERIAIS E METODOS.....	10
Delineamento experimental.....	10
Preparação dos dentes.....	10
Cimentação dos brackets.....	11
Testes de resistência adesiva sob forças de corte.....	12
Análise do tipo de falha.....	14
Análise estatística.....	15
RESULTADOS.....	17
Resistência adesiva sob forças de corte.....	17
Estatística descritiva.....	17
Análise de variância.....	17
Tipo de falha de união.....	18
DISCUSSÃO.....	21
CONCLUSÕES.....	24
BIBLIOGRAFIA.....	25

RESUMO:

INTRODUÇÃO: A adesão de brackets ao esmalte dentário foi um dos avanços mais significativos nas últimas décadas em ortodontia. Os aparelhos de fotopolimerização mais recentes em Medicina Dentária são os baseados na tecnologia LED estando disponíveis no mercado aparelhos deste tipo capazes de produzir uma radiação luminosa com uma intensidade de 1600mW/cm². Devido ao seu recente lançamento, não existem ainda disponíveis estudos independentes que comprovem a sua eficácia em ortodontia.

OBJETIVOS: Este estudo laboratorial teve por objetivo avaliar a influência do tempo de polimerização sobre as forças de adesão e determinar a relação entre o tempo de polimerização e o tipo de falha de união.

MATERIAL E MÉTODOS: Brackets metálicos foram cimentados em 100 dentes pré-molares humanos íntegros utilizando o sistema adesivo Transbond XT (3M Unitek) e um fotopolimerizador LED com uma intensidade aproximada de 1600mW/cm² (Ortholux Luminous Curing Light, 3M Unitek) durante períodos de 1, 2, 3, 4 e 5 segundos. A resistência adesiva foi determinada utilizando uma máquina de testes Instron e o tipo de falha classificado segundo um Índice de Adesivo Residual. As diferenças entre grupos experimentais foram determinadas com uma análise de variância (ANOVA) com uma dimensão seguida de comparações *post-hoc*, segundo o método de Tukey. A análise do tipo de falha foi efectuada com o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. O nível de significância foi fixado em 1%.

RESULTADOS: Os valores médios de resistência adesiva foram 5.49±1.94 MPa (1segundo), 7.33±2.04 MPa (2 segundos), 8.63±1.7 MPa (3 segundos), 9.24±1.7 MPa (4 segundos) e 11.57±2.62 MPa (5 segundos). A análise de variância demonstrou diferenças significativas entre grupos ($F=24.03$, $p<0.001$), tendo a fotopolimerização durante 5 segundos resultado em valores de adesão significativamente superiores e numa maior proporção de adesivo residual aderido às bases dos brackets, comparativamente aos restantes grupos.

CONCLUSÕES: 1) A fotopolimerização por períodos de tempo inferiores a 5 segundos resultou numa diminuição significativa da resistência adesiva. 2) O aumento do tempo de exposição conduz a uma melhor interface de união entre sistema adesivo e bracket.

PALAVRAS CHAVE: Fotopolimerização, LED, bracket, adesão

SUMMARY:

INTRODUCTION: Adhesion of brackets to the dental enamel was one of the most significant advances in the last few decades in orthodontics. The most recent polymerization devices are based in LED technology and these are able to produce a luminous radiation with an intensity of 1600mW/cm². Due to its recent use, available independent studies still do not exist to prove its effectiveness in orthodontics.

OBJECTIVES: The purposes of this laboratorial study were to evaluate the influence of polymerization time on the adhesion forces of orthodontic brackets and to determine the relation between the polymerization time and the type of bond failure.

MATERIAL AND METHODS: Metallic brackets were bonded on 100 human premolar teeth using the Transbond XT (3M Unitek) adhesive system and a LED curing light with an intensity of 1600mW/cm² (Ortholux Luminous Curing Light, 3M Unitek) during 1, 2, 3, 4 and 5 second periods. Shear bond strength was determined using an Instron test machine and the type of bond failure classified according to an Adhesive Remnant Index. The differences between experimental groups were determined with a one dimension variance analysis (ANOVA) followed by post-hoc comparisons, according to the Tukey method. The analysis of the type of bond failure was made with the Kruskal-Wallis nonparametric test. The level of significance was fixed at 1%.

RESULTS: The average values of adhesive resistance were 5.49±1.94 MPa (1second), 7.33±2.04 MPa (2 seconds), 8.63±1.7 MPa (3 seconds), 9.24±1.7 MPa (4 seconds) and 11.57±2.62 MPa (5 seconds). The variance analysis demonstrated significant differences between groups (F=24.03, p< 0,001), having the 5 second polymerization result in significantly superior values of adhesion and a bigger ratio of residual adhesive adherent to the bases of brackets, comparatively to the remaining groups.

CONCLUSIONS: 1) The polymerization for inferior periods of time than 5 seconds resulted in a significant reduction of the adhesive resistance. 2) The increase of the exposition time leads to one better union interface between adhesive system and bracket.

KEY WORDS: light cure, LED, bracket, adhesion

INTRODUÇÃO

A adesão de brackets ao esmalte dentário foi iniciada por Newman em 1964 (Newman 1964), sendo um dos avanços mais significativos nas últimas décadas na área da ortodontia. A técnica adesiva envolve duas interfaces de união: uma entre o sistema adesivo e o esmalte, e outra entre o sistema adesivo e a base do bracket (Jardim 1998). Na primeira destas interfaces, o condicionamento da superfície dentária com ácido fosfórico provoca o aumento da energia de superfície e a desmineralização selectiva do esmalte, criando uma superfície irregular. A polimerização do sistema adesivo, após a sua penetração nas irregularidades do esmalte, origina a sua retenção micromecânica (Brannstrom e Noredenvall 1977; Perdigão e Ritter 2001). Na outra interface, a retenção é conseguida através da penetração do sistema adesivo na rede metálica existente na base do bracket ortodôntico (Sharma-Sayal *et al.* 2003; Bishara *et al.* 2004; Wang *et al.* 2004).

Existem diversos tipos de sistemas adesivos que podem promover a adesão directa dos brackets ortodônticos ao esmalte dentário, sendo os mais utilizados em ortodontia os cimentos de resina (Jardim 1998) devido à sua superior resistência mecânica, aos elevados valores de resistência adesiva e ao reduzido numero de falhas clínicas (Gaworski *et al.* 1999; Summers *et al.* 2004; Northrup *et al.* 2007). A polimerização dos cimentos de resina poderá ser activada por duas fontes de energia: compostos químicos ou luz. As resinas fotopolimerizáveis apresentam vantagens em relação às autopolimerizáveis já que não requerem mistura prévia de dois componentes, possibilitam um maior controlo do tempo de trabalho e uma maior facilidade na remoção de excessos, uma vez que a polimerização é desencadeada apenas quando são expostos à luz (Sfondrini, Cacciafesta e Klersy 2002). No entanto, os sistemas adesivos fotopolimerizáveis apresentam algumas desvantagens, sendo a mais significativa o elevado período de tempo dispendido na aplicação da luz (Oesterle, Newman e Shelhart 2001). Assim, têm sido lançados no mercado diversos aparelhos fotopolimerizadores capazes de emitir radiação luminosa de elevada intensidade, com o objectivo de reduzir o tempo de exposição necessário para a activação dos cimentos de resina fotopolimerizáveis (Pandis, Strigou e Eliades 2007).

Os aparelhos de fotopolimerização mais recentes em Medicina Dentária são os baseados na tecnologia *Light Emitting Diode* (LED) estando disponíveis no mercado

aparelhos deste tipo capazes de produzir uma radiação luminosa com uma intensidade de 1600mW/cm². Quando comparados com fotopolimerizadores convencionais, os LED têm uma maior eficácia na conversão de energia eléctrica em energia luminosa, gerando por isso menos calor (Uzel *et al.* 2006), o que em conjunto com outras vantagens técnicas tem contribuído para uma gradual substituição, por parte dos clínicos, dos fotopolimerizadores convencionais por este tipo de aparelho.

Fotopolimerização de cimentos ortodônticos

A obtenção de valores de adesão adequados entre os brackets e as superfícies dentárias é fundamental no tratamento ortodôntico com aparatologia fixa. Quando estes valores não são alcançados, a descimentação acidental de brackets é um dos problemas que pode surgir na prática ortodôntica (Mandall *et al.* 2002).

O grau de conversão das resinas compostas activadas por luz encontra-se directamente dependente da intensidade da radiação luminosa e do tempo de exposição (Rueggeberg, Caughman e Curtis 1994). Sendo o tempo dispendido na aplicação da fonte luminosa uma limitação dos sistemas adesivos fotopolimerizáveis, a redução do tempo de polimerização será uma grande vantagem tanto para o clínico como para o paciente. Os fotopolimerizadores LED parecem ser os mais promissores para se conseguir obter esta redução no tempo de polimerização devido às suas inúmeras vantagens mas, no entanto, por terem sido os últimos a surgir no mercado, são também os que se encontram menos estudados.

Inicialmente, a utilização dos fotopolimerizadores LED não permitiu a redução do tempo de exposição, devido à reduzida intensidade da radiação luminosa emitida (Dunn e Taloumis 2002; Bishara, Ajlouni e Oonsombat 2003).

Num dos primeiros estudos laboratoriais no âmbito da ortodontia, foram comparados dois aparelhos LED com fotopolimerizadores convencionais (Dunn e Taloumis 2002). A radiação luminosa gerada pelos dois fotopolimerizadores LED apresentava uma intensidade de apenas 150mW/cm², enquanto que os fotopolimerizadores de halogéneo emitiam uma luz com 400mW/cm² ou 1030mW/cm². Os autores utilizaram, para todos os grupos, um tempo de exposição de 40 segundos, independentemente do fotopolimerizador usado. No entanto, após a

análise dos resultados obtidos, os autores verificaram que não existiam diferenças estatisticamente significativas entre os valores de resistência adesiva a forças de corte obtidos com os diversos aparelhos de fotopolimerização testados, para o mesmo tempo de polimerização.

Em 2003 foi realizado um estudo em que se compararam os valores de resistência adesiva obtidos com um fotopolimerizador de halogéneo e com um aparelho LED (Bishara, Ajlouni e Oonsombat 2003). Ambos os aparelhos geravam radiação luminosa com $400\text{mW}/\text{cm}^2$ e em ambos os casos o tempo de polimerização foi de 20 segundos. Tal como no estudo anterior, não foram encontradas diferenças.

Mais tarde, foram realizados dois estudos em que os autores confirmaram ser possível uma redução do tempo de exposição de 40 para 20 segundos, sem haver uma diminuição estatisticamente significativa dos valores de resistência adesiva (Swanson 2004; Usumez, Buyukyilmaz e Karaman 2004). Esta diminuição do tempo de exposição à luz era possível para ambos os tipos de fotopolimerizadores. Em ambos os estudos, foram utilizados fotopolimerizadores com capacidade para emitir radiação luminosa de aproximadamente $400\text{mw}/\text{cm}^2$.

O rápido desenvolvimento da tecnologia LED possibilitou que, poucos anos após o lançamento dos primeiros aparelhos, surgissem no mercado fotopolimerizadores LED capazes de gerar radiação luminosa com uma intensidade de aproximadamente $1000\text{mW}/\text{cm}^2$. Os estudos realizados com este tipo de aparelhos apontam para a possibilidade de manter os valores de resistência adesiva reduzindo o tempo de exposição do cimento ortodôntico à fonte luminosa para apenas 10 segundos (Mavropoulos 2005; Gronberg 2006; Thind, Stirrups e Loyd 2006).

Recentemente, surgiram no mercado aparelhos fotopolimerizadores LED com capacidade de emitir radiação luminosa com uma intensidade que se aproxima dos $1600\text{mW}/\text{cm}^2$. Devido ao seu recente lançamento, não existem ainda disponíveis estudos independentes que comprovem a sua eficácia em ortodontia.

OBJECTIVOS

1. Estudar a influência do tempo de polimerização sobre a resistência adesiva de brackets ortodônticos utilizando fotopolimerizadores LED de elevada intensidade, de acordo com as seguintes hipóteses:

H0: O tempo de polimerização não influencia os valores de adesão.

H1: O tempo de polimerização influencia os valores de adesão.

2. Determinar a relação entre o tempo de polimerização e o tipo de falha de união, analisando as seguintes hipóteses:

H0: O tipo de falha de união não é influenciado pelo tempo de polimerização.

H1: O tipo de falha de união é influenciado pelo tempo de polimerização.

MATERIAIS E METODOS

1) Delineamento experimental

Neste estudo experimental foi investigada a influência do tempo de polimerização sobre os valores de adesão de brackets metálicos ao esmalte dentário.

Foram constituídos cinco grupos experimentais de acordo com os diferentes tempos de polimerização testados.

Os brackets metálicos foram aplicados sobre o esmalte dentário utilizando um cimento ortodôntico fotopolimerizado durante cinco tempos de polimerização diferentes: 1) 1 segundo; 2) 2 segundos; 3) 3 segundos; 4) 4 segundos e 5) 5 segundos.

Os valores de resistência adesiva foram determinados sob forças de corte. Após a falha adesiva, as superfícies de fractura foram observadas com o objectivo de determinar o tipo de falha de união.

2) Preparação dos dentes

Foram utilizados 100 dentes pré-molares humanos extraídos, íntegros, sem restaurações e isentos de cárie ou qualquer tipo de lesões de esmalte na face vestibular.

Todos os dentes foram processados de acordo com a especificação técnica da ISO/TS nº11405:2003 (ISO 2003). Após lavagem em água corrente, os restos de sangue, o tecido periodontal e o tártaro foram removidos com o auxílio de curetas. Em seguida foram imersos numa solução bacteriostática/bactericida de cloramina a 0,5% à temperatura de 4°C, durante o período de uma semana. Por fim, os dentes foram colocados em água destilada e armazenados em frigorífico à temperatura de 4°C.

Imediatamente antes dos procedimentos adesivos, uma pedra verde montada em contra-ângulo foi aplicada de encontro ao esmalte da superfície vestibular dos espécimes, de forma a garantir a total remoção de possíveis restos de tártaro.

Os 100 dentes foram aleatoriamente divididos em grupos de 20 dentes. Foram assim criados 5 grupos experimentais de acordo com a variável independente estudada.

3) Cimentação dos brackets

Neste estudo foram utilizados 100 brackets metálicos para pré-molares. A adesão do sistema adesivo à base dos brackets foi promovida por uma rede metálica.

Todos os brackets foram colados ao esmalte dentário com o mesmo sistema adesivo fotopolimerizável, o Transbond XT (3M Unitek, Monrovia CA 91016 EUA).



Figura 1 – Sistema adesivo utilizado

Após a limpeza do esmalte foi efectuado o seu condicionamento com uma solução de ácido fosfórico a 35% (Transbond XT Etching gel, 3M Unitek, Monrovia CA 91016 EUA), durante 30 segundos. Em seguida, o esmalte foi lavado com jacto de água/ar e seco com um jacto de ar isento de óleos, durante 15 e 5 segundos, respectivamente. Após a verificação do correcto condicionamento do esmalte, foi então aplicada uma camada uniforme de adesivo (Transbond XT primer, 3M Unitek, Monrovia CA 91016 EUA). Por fim, o cimento de resina (Transbond XT Light Cure Orthodontic Adhesive, 3M Unitek, Monrovia CA 91016 EUA) foi colocado na base dos brackets e estes aplicados sobre as superfícies de esmalte. Os brackets foram ajustados na sua posição e firmemente pressionados de encontro às superfícies dentárias. Os excessos de cimento foram cuidadosamente removidos com uma sonda periodontal. O sistema adesivo foi então fotopolimerizado durante o tempo correspondente a cada grupo experimental.

O tempo de polimerização determinou a divisão dos espécimes em 5 grupos. O aparelho de polimerização utilizado foi o Ortholux Luminous Curing Light (3M Unitek, Monrovia CA 91016 EUA). Este aparelho emite uma luz com um comprimento de onda entre 430 e 480 nm, com uma intensidade de aproximadamente 1600mW/cm². A intensidade da luz emitida pelo fotopolimerizador foi verificada imediatamente antes de se iniciar a polimerização de cada grupo. Para tal foi utilizado um radiômetro (Demetron L.E.D. Radiometer, nº série: 79300882, Kerr, Danbury, CT 06810, EUA) com capacidade para registar intensidade luminosa até 2000mW/cm².



Figura 2 – *Fotopolimerizador LED Ortholux Luminous Curing light*

4) Testes de resistência adesiva sob forças de corte

Após a cimentação dos brackets, os dentes foram incluídos, de forma padronizada, em cilindros de metacrilato de isobutilo autopolimerizável (Sample-Kwick, Buehler, Lake Bluff, IL 60044, EUA). Foram utilizados anéis de aço de modo a assegurar uma dimensão uniforme dos cilindros (17 mm de altura por 12 mm de diâmetro). Os anéis foram preenchidos com a resina acrílica e a raiz dos dentes imersa no acrílico. A padronização da posição do bracket, em relação ao cilindro de acrílico, foi efectuada com o auxílio de um fio de aço de secção rectangular (0,45x0,65mm).



Figura 3 – *Prémolar com bracket preparado para inclusão em metacrilato*

Após este procedimento, todos os espécimes foram conservados em água destilada, numa estufa (Memmert, 854 Schwabach, Alemanha) à temperatura de 37°C, durante um período de 72 horas.

Em seguida, os espécimes foram submetidos a termociclagem, utilizando uma unidade de termociclagem Aralab, modelo Refri 200-E, nº fabrico: 238 (Aralab, Talaíde, 2750 Cascais, Portugal). Os espécimes foram imersos alternadamente num banho frio e num banho quente, a 5° e 55°C, respectivamente, durante 500 ciclos (Jardim 2005). O tempo de imersão em cada banho de água destilada foi de 20 segundos e o tempo de transferência entre os banhos de 5 segundos.



Figura 4 – *Espécimes na unidade de termociclagem*

Após a termociclagem e antes de se realizarem os testes de resistência adesiva, os espécimes foram de novo conservados em água destilada a 37°C, durante um período de tempo igual a 72 horas.

Os valores de resistência adesiva entre o bracket e esmalte foram determinados sob forças de corte, utilizando uma máquina de testes mecânicos universal Instron, modelo 4502, nº de série: H3307 (Instron Lda., Bucks, HP 123SY, Inglaterra).



Figura 5 – Máquina universal de testes Instron e pormenor da ansa metálica usada para produzir a força.

Os espécimes foram montados no braço fixo do Instron, com a superfície de união entre o bracket e o esmalte alinhada em relação ao braço superior móvel da máquina de testes, de modo a assegurar a obtenção de forças de corte. As cargas foram aplicadas, utilizando uma ansa de aço inoxidável Remanium (Dentaurum, D-7530, Pforzheim, Alemanha) de secção redonda, com 0,8mm de diâmetro e 20cm de comprimento. Os testes foram efectuados à velocidade de 1mm por minuto, utilizando uma célula de carga de 1 KiloNewton. No momento da falha, as forças máximas foram registadas em Newton. Os valores de resistência adesiva a tensões de corte, expressos em MegaPascal (MPa), foram calculados automaticamente pelo computador associado à máquina de testes mecânicos, dividindo a força registada no momento da falha pela área da base do bracket.

5) Análise do tipo de falha

Com o objectivo de determinar o tipo de falha de união, as interfaces de fractura de todos os espécimes foram observadas com um estereomicroscópio Meiji Techno, modelo EMZ-8TR, nº de série 411479 (Meiji Techno Co., Lda, Saitama 354-0043, Japão), com uma ampliação de 20 vezes. O tipo de falha foi classificado segundo o Índice de Adesivo Residual (Artun e Bergland 1984; Jardim, Marques e Leitão 2001):

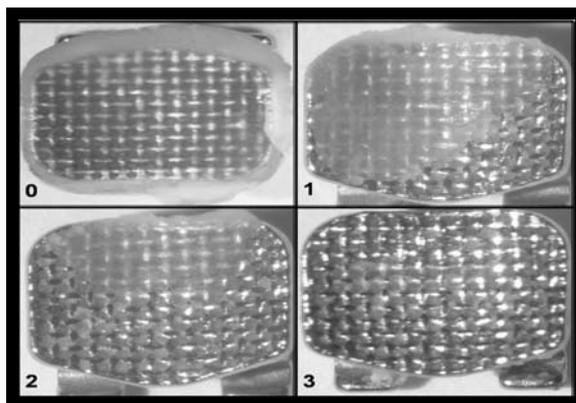


Figura 6 – Base dos brackets representativa de cada um dos Índices de Adesivo Residual (Artur e Bergland, 1984)

Índice 0 – 100% de sistema adesivo remanescente na base do bracket, correspondendo a falha na interface esmalte-sistema adesivo.

Índice 1 – Falha mista com mais de 50% de sistema adesivo remanescente na base do bracket.

Índice 2 – Falha mista com menos de 50% de sistema adesivo remanescente na base do bracket.

Índice 3 – Ausência de sistema adesivo na base do bracket, correspondendo a falha na interface bracket-sistema adesivo.

6) Análise estatística

A dimensão da amostra (n) foi determinada, tendo em conta os resultados obtidos num estudo piloto previamente realizado, de modo a fixar o erro estatístico tipo I (α) em 0,05 e o erro tipo II (β) em 0,20. Foi utilizada a seguinte fórmula desenvolvida por Snedecor e Cochran: $n = 1 + 2C(s/d)^2$, em que s é o desvio padrão, d representa a diferença a ser detectada e C a constante dependente do valor de α e β seleccionados (Dell, Holleran e Ramakrishnan 2002).

Os dados obtidos foram analisados por intermédio de uma aplicação informática comercial – IBM SPSS Statistics 20.0.0 for Mac (SPSS Inc., Chicago, Il 60606, EUA).

De acordo com a metodologia corrente, foi efectuada a estatística descritiva dos valores de resistência adesiva sob forças de corte. Para cada grupo experimental foi calculada a média, o desvio padrão e os valores máximo e mínimo.

Os valores de resistência adesiva obtidos foram submetidos a uma análise de variância factorial (ANOVA) com uma dimensão. A resistência adesiva sob tensões de corte foi utilizada como variável dependente. O tempo de polimerização foi utilizado como variável independente. Sempre que se justificou, foram efectuadas comparações entre os diferentes grupos experimentais com provas *post-hoc* segundo o método de Tukey.

Por fim, foi realizada a análise do tipo de falha de união. Foi determinada a distribuição dos vários tipos de falha pelos diversos grupos experimentais. Neste caso, como o tipo de falha era uma variável ordinal, a análise estatística foi realizada com testes não paramétricos. O teste de Kruskal-Wallis foi utilizado para determinar a influência do tempo de polimerização, seguido de testes *post-hoc* às ordens (Rank) da falha, segundo o método de LSD.

RESULTADOS

1) Resistência adesiva sob forças de corte

Estatística descritiva

A estatística descritiva dos valores de resistência adesiva sob forças de corte (média, desvio padrão, valor mínimo e máximo) é apresentada na tabela 1. Os valores apresentam-se expressos em MegaPascal (MPa). De um modo geral, verificou-se um aumento dos valores de resistência adesiva quando se aumenta o tempo de polimerização.

Tempo de exposição	N	Média	Desvio Padrão	Mín	Máx
1 segundo	19	5,43	1,96	1,66	8,8
2 segundos	19	7,34	2,00	3,34	11
3 segundos	20	8,60	1,72	6	11,85
4 segundos	19	9,32	1,68	6,58	12,69
5 segundos	20	11,55	2,86	6	17

Tabela 1: *Análise descritiva dos valores de resistência adesiva sob forças de corte (MPa).*

Análise de variância

Os valores de resistência adesiva sob forças de corte foram submetidos a uma análise de variância factorial (ANOVA), com uma dimensão, para analisar o efeito do tempo de polimerização (variável independente) sobre a resistência adesiva sob forças de corte (variável dependente). Os resultados desta análise, apresentados na tabela 2, demonstram a existência de influência estatisticamente muito significativa ($p < 0,001$) do tempo de polimerização sobre a resistência adesiva.

Variação	SQ	GL	QM	Valor F	Valor P
Entre grupos	403,03	4	100,757	24,325	<0,001
Em cada grupo	381,72	92	4,142		
Total	784,102	96			

SQ – Soma dos quadrados; GL – Graus de liberdade; QM – Quadrado médio

Tabela 2: *Análise de variância (ANOVA) com uma dimensão, da resistência adesiva sob forças de corte (variável independente: tempo de polimerização; variável dependente: resistência adesiva).*

Como foram encontradas diferenças estatisticamente significativas, foram efectuadas comparações entre os diferentes grupos experimentais com provas *post-hoc* segundo o método de Tukey (Figura 7).

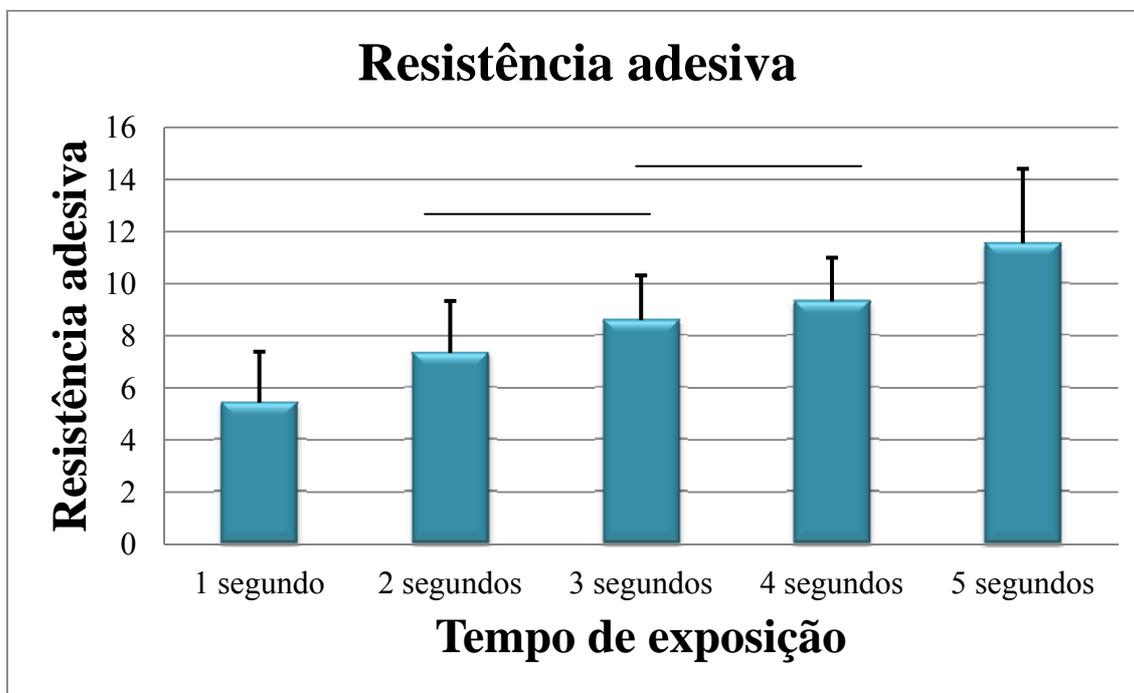


Figura 7: Valores médios resistência adesiva sob forças de corte (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)

Os testes *post-hoc* segundo Tukey revelaram uma diminuição estatisticamente significativa quando diminuímos o tempo de polimerização de 3 segundos (tempo recomendado pelo fabricante) para 1 segundo e um aumento estatisticamente significativo quando aumentamos o tempo de polimerização para 5 segundos.

2) Tipo de falha de união

A tabela 3 apresenta a distribuição do tipo de falha de união pelos diversos grupos experimentais. A maior parte dos espécimes apresentou um tipo de falha mista, ficando parte do adesivo aderido à base do bracket e o restante à superfície do esmalte. O tipo de falha caracterizado pela totalidade do adesivo na superfície do esmalte praticamente só

se verificou em alguns espécimes polimerizados durante 1 segundo. À medida que o tempo sujeito a energia luminosa aumenta o tipo de falha, apesar de ainda mista, passou a verificar-se maioritariamente entre o sistema adesivo e a superfície do esmalte.

Tempo de polimerização	Tipo de falha			
	Índice 0	Índice 1	Índice 2	Índice 3
1 segundo	0(0%)	2(11%)	10(52%)	7(37%)
2 segundos	1(5%)	3(16%)	14(74%)	1(5%)
3 segundos	0(0%)	2(10%)	18(90%)	0(0%)
4 segundos	0(0%)	7(37%)	12(63%)	0(0%)
5 segundos	1(5%)	7(35%)	12(60%)	0(0%)

Tabela 3: Prevalência dos tipos de falha nos diferentes grupos experimentais (Índice 0 – 100% de sistema adesivo remanescente na base do bracket, correspondendo a falha na interface esmalte-sistema adesivo; Índice 1 – Falha mista com mais de 50% de sistema adesivo remanescente na base do bracket; Índice 2 – Falha mista com menos de 50% de sistema adesivo remanescente na base do bracket; Índice 3 – Ausência de sistema adesivo na base do bracket, correspondendo a falha na interface bracket-sistema adesivo).

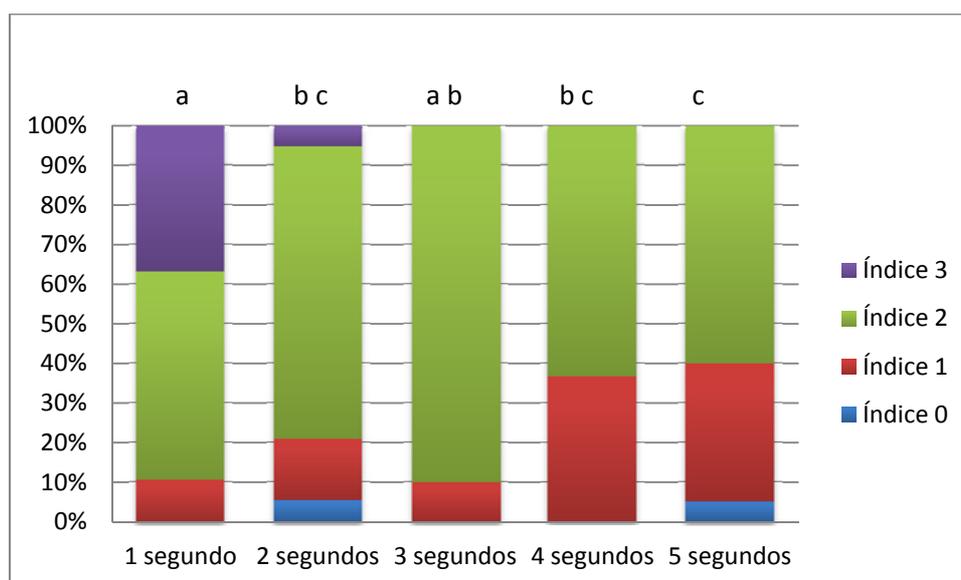


Figura 8 – Análise do tipo de falha (os grupos representados pela mesma letra não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

O teste de Kruskal-Wallis revelou que a influência do tempo de polimerização sobre o tipo de falha foi estatisticamente significativa ($p=0.002$).

Na figura 8 estão expressas as diferenças que se observaram com os testes de comparações múltiplas segundo o método LSD.

DISCUSSÃO

Os brackets ortodônticos estão sujeitos durante o tratamento a forças induzidas pelos arcos, a forças mastigatórias e ainda a forças induzidas pelo paciente. Os valores de resistência adesiva atingidos devem ser suficientes para resistir a todas estas forças de modo a evitar a descimentação dos brackets. Assim, o estudo da magnitude dos valores de resistência adesiva gerados entre os brackets e os dentes assume uma importância relevante.

Reynolds em 1975 sugeriu que o valor de resistência adesiva entre o bracket e o dente deveria ser entre 6 a 8 MPa para um bom desempenho clínico. No entanto, devemos considerar a influência de diversos factores sobre os valores de adesão como o tipo de condicionamento ácido, o sistema adesivo utilizado, a forma e o tempo de armazenamento dos espécimes e a configuração do teste mecânico utilizado (Johnston, Hussey e Burden 1996; Johnston *et al.* 1998; C.R.A. 2002; Wendl e Droschl 2004; Klocke e Kahl-Nieke 2005a; Katona e Long 2006; Klocke e Kahl-Nieke 2006).

A ausência de uniformidade na metodologia utilizada pelos autores de diversos estudos de adesão de brackets limita a comparação dos valores absolutos de resistência adesiva obtidos e a extrapolação desses resultados para o ambiente clínico. Por isso, neste estudo, tal como na maioria dos estudos *in vitro* em que é avaliada a resistência adesiva de brackets ortodônticos (Evans *et al.* 2002; Sfondrini, Cacciafesta e Klersy 2002; Ip e Rock 2004; Usumez, Buyukyilmaz e Karaman 2004; Signorelli *et al.* 2006; Staudt, Krejci e Mavropoulos 2006) foi efectuado um condicionamento ácido dos espécimes de 30 segundos como medida de segurança e de uniformização, apesar do fabricante do sistema adesivo utilizado recomendar a sua utilização apenas durante 15 segundos (3M-Unitek-Orthodontic-Products 2005).

Encontram-se descritas na literatura diversas formas de realizar os ensaios mecânicos quando o objectivo é avaliar a resistência adesiva de brackets ao esmalte. Apesar da grande maioria dos autores avaliar a resistência adesiva a tensões de corte, a forma como a força é aplicada varia consoante os casos. Segundo Portugal (2008) é na área central e gengival do bracket que o cimento ortodôntico apresenta um menor grau de conversão e, como tal, uma menor resistência adesiva. Assim, neste estudo, a força foi aplicada no sentido gengivo-oclusal com uma ansa de aço inoxidável. Desta forma a força foi aplicada na zona de menor resistência mecânica.

A velocidade com que foram realizados os ensaios mecânicos nos estudos previamente publicados não é homogênea. Neste trabalho foi utilizada uma velocidade de 1 mm/min tal como na maioria dos estudos em que as forças foram aplicadas aos brackets no sentido gengivo-oclusal (Jardim 1998; Oesterle, Newman e Shellhart 2001; Sfondrini *et al.* 2006; Signorelli *et al.* 2006; Godinho, Oliveira e Jardim 2007; Portugal 2008).

A necessidade de obter um grau de conversão elevado tem sido referida como fundamental para garantir propriedades físicas e mecânicas adequadas das resinas compostas (Ferracane e Greener 1986; Peutzfeldt e Asmussen 1996; Ferracane *et al.* 1997). O grau de conversão dos cimentos ortodônticos com resina, tal como todas as resinas compostas foto-ativadas, encontra-se dependente da composição da resina e da energia que lhe é transmitida, isto é, das características da radiação luminosa e do tempo de exposição (Asmussen 1982a; Rueggeberg, Caughman e Curtis 1994).

Os resultados obtidos no presente trabalho revelaram que a diminuição do tempo de exposição resultou numa diminuição da resistência adesiva que em alguns casos se poderá revelar insuficiente para resistir às forças desenvolvidas durante o tratamento.

A análise estatística realizada com os dados obtidos permitiu verificar que a resistência adesiva entre brackets metálicos e o esmalte foi influenciada pelo tempo de polimerização.

Ao considerarmos os valores de resistência adesiva obtidos com a aplicação dos 3 segundos recomendados pelo fabricante (3M-Unitek-Orthodontic-Products 2005) observamos que revelam valores considerados suficientes para um bom desempenho clínico por alguns autores (Reynolds 1975). No entanto, existe uma diferença significativa entre a polimerização obtida com 5 segundos de aplicação da luz e os restantes tempos de polimerização, o que nos leva a sugerir a sua utilização já que nos oferece maiores garantias de sucesso sem aumentar significativamente o tempo clínico.

De uma maneira geral, a falha de união foi predominantemente do tipo misto, em que menos de 50% do sistema adesivo ficou aderido à base do bracket. No entanto, à medida que o tempo de exposição foi aumentando, observou-se um número crescente de espécimes com um tipo de falha em que a maioria do sistema adesivo permaneceu na base do bracket. A análise do tipo de falha de união parece indicar que o aumento do

tempo de exposição conduz a uma melhoria na interface de união estabelecida entre o sistema adesivo e o bracket, com uma polimerização mais homogénea do sistema adesivo (Portugal 2008). Este parece ser o factor responsável pelo aumento dos valores de resistência adesiva.

Os fotopolimerizadores baseados na tecnologia LED possibilitaram a obtenção de valores de adesão mais elevados do que os obtidos com fotopolimerizadores convencionais. A utilização de fotopolimerizadores LED torna ainda possível o uso de um menor tempo de exposição do sistema adesivo à fonte luminosa, e deste modo, a redução do tempo dispendido na clínica.

Nos testes laboratoriais observam-se condições óptimas de colocação dos brackets e de controlo de contaminação por humidade, difíceis de reproduzir na clínica. Por outro lado, quando colocados em função no meio oral, os sistemas adesivos encontram-se sujeitos a fenómenos de biodegradação por acção da saliva, ácidos e bactérias além de estarem sujeitos a diversos tipos de forças. Na literatura tem sido sugerido que os valores de adesão obtidos *in vivo* são inferiores aos obtidos nos testes realizados *in vitro* (Pickett *et al.* 2001; Hildebrand *et al.* 2007). A extrapolação para a clínica dos resultados obtidos neste trabalho deve ser efectuada com prudência.

CONCLUSÕES

Em resumo, os resultados do presente estudo laboratorial permitem concluir que:

1. O tempo de polimerização influencia os valores de adesão, verificando-se uma diferença significativa entre a resistência adesiva obtida com 5 segundos de aplicação da luz e os restantes tempos de polimerização.
2. O tipo de falha de união foi influenciado pelo tempo de polimerização, observando-se uma maior proporção de adesivo residual na base do brecket à medida que o tempo de exposição foi aumentando.

BIBLIOGRAFIA

3M-Unitek-Orthodontic-Products

Artun J, Bergland S (1984). "Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etch enamel pretreatment." *Am J Orthod* 85(4): 333-340.

Asmussen E (1982a). "Factors affecting the quantity of remaining double bonds in restorative resin polymers." *Scand J Dent Res* 90(6): 490-496.

Bishara SE, Ajlouni R, Oonsombat C (2003). "Evaluation of a new curing light on the shear bond strength of orthodontic brackets." *Angle Orthod* 73(4): 431-435.

Bishara SE, Soliman MM, Oonsombat C, Laffoon JF, Ajlouni R (2004). "The effect of variation in mesh-base design on the shear bond strength of orthodontic brackets." *Angle Orthod* 74(3): 400-404.

Brannstrom M, Noredenvall KJ (1977). "The effect of acid etching on enamel, dentin, and the inner surface of the resin restoration: a scanning electron microscopic investigation." *J Dent Res* 56(8): 917-923.

C.R.A. (2002). "Adhesives, do high shear numbers equal clinical success?" *Clinical Research Associates Newsletter* 26(6): 1-3.

Dell RB, Holleran S, Ramakrishnan R (2002). "Sample size determination." *Ilar J* 43(4): 207-213.

Dunn WJ, Taloumis LJ (2002). "Polimerization of orthodontic resin cement with light-emitting diode curing units." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 122(3): 236-241.

Evans LJ, Peters C, Flickinger C, Taloumis L, Dunn W (2002). "A comparison of shear bond strengths of orthodontic brackets using various light sources, light guides and cures times." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 121(5): 510-515.

Ferracane JL, Greener EH (1986). "The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins." *J Biomed Mater Res* 20(1): 121-131.

Ferracane JL, Mitchem JC, Condon JR, Todd R (1997). "Wear and marginal breakdown of composites with various degrees of cure." *J Dent Res* 76(8): 1508-1516.

Gaworski M, Weinstein M, Borislow AJ, Braitman LE (1999). “Decalcification and bond failure: A comparison of a glass ionomer and a composite resin bonding system in vivo.” *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 116(5): 518-521.

Godinho J, Oliveira SSA, Jardim L (2007). “Comparison of two self-etching primers and effect of saliva contamination on shear bond strength of orthodontic brackets.” *Rev Port Estomatol Cir Maxilofac* 48(4): 197-203.

Gronberg K, Rossouw PE, Miller BH, Buschang P (2006). “Distance and time effect on shear bond strength of brackets cured with a second generation light emitting diode unit.” *Angle Orthod* 76(4): 682-688.

Hildebrand NK, Raboud DW, Heo G, Nelson AE, Major PW (2007). “Argon laser vs conventional visible light-cured orthodontic bracket bonding: an in-vivo and in-vitro study.” *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131(4): 530-536.

Ip TB, Rock WP (2004). “A comparison of three light curing units for bonding adhesive pre-coated brackets.” *J Orthod* 31(3): 243-247; discussion 202-243.

Jardim L (1998). Estudo da adesão de brackets ortodônticos a materiais dentários restauradores – Contribuição pessoal. Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa.

Jardim L, Marques P, Leitão J (2001). “Orthodontic bonding to porcelain: surface treatment and adhesive agent.” *J Dent Res* 80(4): 1244.

Jardim L, Godinho J, Oliveira S, Leitão J (2005). “Shear bond strength of brackets bonded with two self-etching primers.” *World J Orthod* 6(supplement): 182.

Johnston CD, Hussey DL, Burden DJ (1996). “The effect of etch duration on the microstructure of molar enamel: an in vitro study.” *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 109(5): 531-534.

Johnston CD, Burden DJ, Hussey DL, Mitchell CA (1998). “Bonding to molars: the effect of etch time.” *Eur J Orthod* 20(2): 195-199.

Katona TR, Long RW (2006). “Effect of loading mode on bond strength of orthodontic brackets bonded with 2 systems.” *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129(1): 60-64.

Klocke A, Kahl-Nieke B (2005a). "Influence of force location in orthodontic shear bond strength testing." *Dent Mater* 21(5): 391-396.

Klocke A, Kahl-Nieke B (2006). "Effect of debonding force direction on orthodontic shear bond strength." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129(2): 261-265.

Langley R (1979). *Practical statistics simply explained*. (Tradução de 2nd ed., Pan Books, London.

Mandall NA, Millet DT, Mattick CR, Hickman J, Worthington HV, Macfarlane TV (2002). "Orthodontic adhesives: a systematic review." *J Orthod* 29(3): 205-210

Mavropoulos A, Staudt CB, Kiliaridis S, Krejci I (2005). "Light curing time reduction: in vitro evaluation of new intensive light-emitting diode curing units." *Eur J Orthod* 27(4): 408-412.

Newman GV (1964). "Bonding plastic orthodontic attachments to tooth enamel." *J N J State Dent Soc* 35: 346-358.

Northrup RG, Berzins DW, Bradley TG, Schuckit W (2007). "Shear bond strength comparison between two orthodontic adhesives and self-ligating and conventional brackets." *Angle Orthod* 77(4): 701-706.

Oesterle LJ, Newman SM, Shellhart WC (2001). "Rapid curing of bonding composite with a xenon plasma arc light." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 119(6):610-616.

Pandis N, Strigou S, Eliades T (2007), "Long term failure rate of brackets bonded with plasma and high intensity light emitting diode curing lights." *Angle Orthod* 77(4):707-710.

Perdigão J, Ritter AV (2001). Adesão aos tecidos dentários. In: Baratieri LN, Monteiro Junior S, Andrada MAC, Vieira LCC, Ritter AV, Cardoso AC. *Odontologia Restauradora – Fundamentos e Possibilidades*. 1st ed., Livraria Santos Editora Comp. Imp. Lda., São Paulo: 85-128.

Peutzfeldt A, Asmussen E (1996). "In vitro wear, hardness, and conversion of diacetyl-containing and propanol-containing resin materials." *Dent Mater* 12(2): 103-108.

Pickett KL, Sadowsky PL, Jacobson A, Lacefield W (2001). "Orthodontic in vivo bond strength: comparison with in vitro results." *Angle Orthod* 71(2): 141-148.

Portugal J (2008). "Efeito das condições de fotopolimerização sobre o desempenho laboratorial e clínico de um sistema adesivo ortodôntico." Tese de Doutorado, Universidade de Lisboa.

Reynolds IR (1975). "A review of direct orthodontic bonding." *Br J Orthod* 2(3): 171-178.

Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW (1994). "Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite." *Oper Dent* 19(1): 26-32.

Sfondrini MF, Cacciafesta V, Klersy C (2002). "Halogen versus high-intensity light-curing of uncoated and pre-coated brackets: a shear bond strength study." *J Orthod* 29(1): 45-50.

Sharma-Sayal SK, Rossouw PE, Kulkarni GV, Titley KC (2003). "The influence of orthodontic bracket base design on shear bond strength." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 124(1): 74-82.

Signorelli MD, Kao E, Ngan PW, Gladwin MA (2006). "Comparison of bond strength between orthodontic brackets bonded with halogen and plasma arc curing lights: an in-vitro and in-vivo study." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129(2): 277-282.

Staud CB, Krejci I, Mavropoulos A (2006). "Bracket bond strength dependence on light power density." *J Dent* 34(7): 498-502.

Summers A, Kao E, Gilmore J, Gunel E, Ngan P (2004). "Comparison of bond strength between a conventional resin adhesive and a resin-modified glass ionomer adhesive: an in vitro and in vivo study." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 126(2): 200-206

Swanson T, Dunn WJ, Childers DE, Taloumis LJ (2004). "Shear bond strength of orthodontic brackets bonded with light-emitting diode curing units at various polymerization times." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 125(3): 337-341.

Thind BS, Stirrups DR, Lloyd CH (2006). "A comparison of tungsten-quartz-halogen, plasma arc and light-emitting diode light sources for the polymerization of an orthodontic adhesive." *Eur J Orthod* 28(1):78-82.

Usumez S, Buyukyilmaz T, Karaman AL (2004). "Effect of light-emitting diode on bond strength of orthodontic brackets." *Angle Orthod* 74(2):259-263.

Uzel A, Buyukyilmaz T, Kayalioglu M, Uzel L (2006). "Temperature rise during orthodontic bonding with various light-curing units – an in vitro study." *Angle Orthod* 76(2):330-334.

Wang WN, Li CH, Chou TH, Wang DD, Lin LH, Lin CT (2004). "Bond strength of various bracket base designs." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 125(1):65-70.

Wendl B, Droschl H (2004). "A comparative in vitro study of the strength of directly bonded brackets using different curing techniques." *Eur J Orthod* 26(5): 535-544.