

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE E DE SISTEMAS ADESIVOS NA RESISTÊNCIA ADESIVA SOB TENSÕES DE CORTE DO AMÁLGAMA REPARADO.

JAIME PORTUGAL*; MÁRIO F. BERNARDO**; LUÍS JARDIM***;
JORGE LEITÃO****;

RESUMO

O objectivo deste estudo foi determinar a influência de dois métodos de tratamento de superfície e de três sistemas adesivos sobre a resistência adesiva a tensões de corte entre dois incrementos de amálgama, um envelhecido e outro recentemente triturado. **Materiais e métodos:** 80 espécimes de amálgama (Tytin) foram submetidos a um período de três anos de envelhecimento em água (37° C). A superfície de 40 destes espécimes foi submetida à acção abrasiva de uma pedra verde e nos restantes 40 o tratamento da superfície foi realizado com um jacto de óxido de alumínio. Amálgama recém triturado foi condensado sobre estas superfícies, após a aplicação do sistema adesivo (Scotchbond Multipurpose Plus, All-Bond 2 ou Panavia 21 Ex). Nos grupos de controlo não foram utilizados sistemas adesivos. Os espécimes resultantes foram armazenados em água a 37° C durante 7 dias, termociclados e sujeitos a testes de resistência adesiva a tensões de corte. **Resultados:** A análise estatística (ANOVA) mostrou diferenças significativas ($p=0,0317$) entre os espécimes em que foi utilizada a pedra verde ($10,4 \pm 4,0$ MPa) e os sujeitos ao jacto de óxido de alumínio ($9,0 \pm 3,0$ MPa). Foram também encontradas diferenças significativas entre os sistemas adesivos ($p=0,0002$), sendo os valores mais elevados obtidos nos grupos de controlo. **Conclusões:** O tratamento de superfície com pedra verde permitiu obter valores de resistência adesiva sob tensões de corte superiores aos encontrados após abrasão com jacto de óxido de alumínio; o uso dos sistemas adesivos avaliados não aumentou os valores de adesão.

Palavras-chave: amálgama; reparação; adesão

ABSTRACT

The objectives of this investigation were: 1) to determine shear bond strength (SBS) of repaired amalgam, using three bonding agents, and 2) to compare two surface conditioning techniques. **Methods:** 80 flat cylindrical amalgam specimens (Tytin) were stored in water (37°C) for 3 years. Prior to bonding, 40 specimens were Al₂O₃ sandblasted and other 40 specimens were roughened with a greenstone. Amalgam cylinders (Tytin) were bonded to the aged surfaces using three adhesive systems (Scotchbond-Multipurpose-Plus, All-Bond2, and Panavia 21 EX) and a control group without bonding agent. Prior to SBS testing, all specimens were stored in water (37°C) for 7 days and thermocycled. **Results:** ANOVA showed significant differences ($p=0.0317$) between sandblasting (9.0 ± 3.0) versus greenstone roughening (10.4 ± 4.0). Significant differences were also found between the adhesive systems ($p=0.0002$). **Conclusions:** 1) Surface roughening with greenstone resulted in higher SBS compared to sandblasting. 2) The adhesive systems tested did not improve the SBS.

Key-words: amalgam; repair; adhesion

*Médico Dentista. Assistente de Materiais Dentários da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade de Lisboa (FMDUL).

**Médico Dentista. Assistente de Morfologia Dentária da FMDUL.

***Médico Dentista. Professor Associado com Agregação de Ortodontia I – II da FMDUL.

****Médico Estomatologista. Professor Catedrático de Materiais Dentários da FMDUL.

INTRODUÇÃO

O amálgama dentário ainda é um material de eleição em muitas situações clínicas devido à sua durabilidade, facilidade de manipulação, propriedades físicas adequadas e baixo custo ^(1, 14), apesar da crescente preocupação sobre os efeitos ambientais produzidos pela libertação para os esgotos de restos de amálgama nos consultórios dentários, e dos possíveis efeitos nocivos, para a saúde dos pacientes, causados pelo mercúrio libertado a partir do amálgama colocado na cavidade bucal ⁽¹³⁾.

No entanto, mais de metade das restaurações realizadas apresenta deficiências que obrigam à intervenção por parte do clínico, durante os primeiros oito anos em função ⁽³⁾. A reparação de restaurações tem sido indicada em determinadas situações, como uma alternativa viável à sua total remoção e substituição ^(4, 11, 12, 20, 41).

O sucesso da reparação de uma restauração com amálgama depende da capacidade de se conseguir alcançar uma adesão efectiva entre o material existente e o material posteriormente adicionado ⁽¹⁷⁾. Assim o estudo da força de adesão entre as duas porções de amálgama assume uma importância relevante.

O tempo de envelhecimento, a presença de excesso de mercúrio, a rugosidade da superfície do amálgama envelhecido, o tipo de liga utilizado e o uso de sistemas adesivos têm sido referidos como os principais factores que podem influenciar os valores de adesão entre o amálgama remanescente de uma restauração e o incremento de amálgama posteriormente adicionado ⁽²⁵⁾.

Com o objectivo de melhorar a união entre os dois materiais, diversos autores têm estudado a influência do tratamento mecânico da superfície do amálgama envelhecido sobre a força de adesão entre dois incrementos de amálgama. Os métodos de tratamento de superfície referidos na literatura, com a finalidade de aumentar a rugosidade da superfície do amálgama envelhecido envolvem, de um modo geral, a acção de instrumentos abrasivos: brocas, lixas e jacto de óxido de alumínio.

Os primeiros trabalhos publicados, utilizando

brocas de diamante ou tungsténio para aumentar a rugosidade da superfície do amálgama envelhecido, antes da adição de um novo incremento de amálgama, revelaram um aumento na força de adesão entre os dois materiais ^(22, 42).

Estudos mais recentes, avaliando o efeito do tratamento com jacto de óxido de alumínio sobre a força de adesão do amálgama reparado revelaram que, apesar de terem verificado um aumento dos valores de adesão, não se observaram diferenças em comparação com os valores obtidos após tratamento da superfície com instrumentos rotativos ^(13, 19, 25). Fruits, Duncanson e Coury apresentaram no entanto resultados diferentes, concluindo que a influência do tratamento da superfície com jacto de óxido de alumínio sobre os valores de adesão varia consoante o tempo de envelhecimento considerado ⁽¹⁷⁾.

Com o aparecimento dos adesivos amelo-dentinários de quarta geração, foi adquirida a capacidade de adesão a vários substratos como esmalte, dentina, ligas metálicas, amálgama, cerâmica e resinas compostas ⁽¹⁵⁾, tornando possível estabelecer com sucesso a adesão entre vários materiais restauradores. Vários fabricantes desenvolveram "all purpose adhesives" que reclamam aumentar a adesão entre duas porções de amálgama ⁽¹³⁾.

Vários estudos têm sido realizados com o objectivo de avaliar a influência de diversos sistemas adesivos sobre a força de união entre uma superfície de amálgama envelhecido e amálgama recentemente triturado.

Apesar de existirem estudos cujos resultados indicam um aumento estatisticamente significativo dos valores de resistência adesiva do amálgama reparado recorrendo ao uso de sistemas adesivos ^(17, 30), na grande maioria dos estudos disponíveis na bibliografia científica, a utilização de sistemas adesivos não aumentou, e muitas vezes até diminuiu os valores de adesão entre amálgama envelhecido e amálgama recentemente triturado ^(8, 13, 21, 25, 28, 29, 34, 37). Segundo estes estudos, os valores mais elevados de resistência adesiva do amálgama reparado são obtidos quando o amálgama recentemente triturado é condensado directamente

sobre a superfície do amálgama envelhecido, sem recorrer a nenhum sistema de união.

Vários estudos publicados procuram, ainda, avaliar a influência do tempo de envelhecimento sobre os valores de resistência adesiva do amálgama reparado. No entanto, os resultados obtidos não reúnem consenso. Em alguns dos estudos, os resultados apontam para uma diminuição dos valores de adesão entre os incrementos à medida que é aumentado o período de envelhecimento do amálgama a reparar (2, 7, 17, 39, 40, 41). Pelo contrário, existem vários estudos que sugerem não haver influência do tempo de envelhecimento sobre os valores de resistência adesiva (16, 18, 22, 23, 26, 33, 42). Uma limitação dos estudos anteriores é, no entanto, a utilização de um período de envelhecimento do amálgama relativamente curto, que varia entre 10 minutos e 120 dias. Quando colocadas em função, as ligas de amálgama, encontram-se sujeitas a constantes transformações como resultado de forças mecânicas, fenómenos de corrosão e alterações lentas de fases cristalográficas no estado sólido (6, 32). Deste modo, a adesão ao amálgama envelhecido por um período de tempo maior poderá ser diferente. A resistência adesiva entre uma restauração com amálgama envelhecido durante um longo período de tempo e um novo incremento de amálgama nunca foi estudada.

O objectivo deste estudo *in vitro* foi determinar a influência de dois métodos de tratamento de superfície e de três sistemas adesivos sobre a resistência adesiva sob tensões de corte entre dois incrementos de amálgama, um envelhecido durante um período de três anos e outro recentemente triturado e condensado sobre o primeiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, foi investigada a resistência adesiva sob forças de corte entre duas porções de amálgama: a primeira, envelhecida durante um período de três anos, e a segunda, posteriormente condensada sobre a primeira. Foi analisado o efeito de dois métodos de tratamento de superfície do amálgama envelhecido, sobre

os valores de resistência adesiva e determinada a eficácia de três sistemas adesivos, como promotores da adesão entre duas porções de amálgama.

A partir de molde em aço foram preparados oitenta cilindros de resina acrílica, com uma cavidade de dimensões normalizadas, de 7,5 milímetros de diâmetro por 3 milímetros de profundidade. Estas cavidades foram preenchidas com amálgama, Tytin, lote 51066 (Kerr Corporation, Romulus, MI, EUA). Após um período de presa inicial de 24 horas, as amostras foram submetidas sucessivamente à acção abrasiva de lixas de carboneto de silício de grão 220, 320, 500 e 1000, montadas numa polidora Stuers, modelo Lunn Major (Stuers, DK-2610 Rodovre, Copenhaga, Dinamarca), com o objectivo de tornar plana a superfície do amálgama. O polimento final foi realizado com pontas de borracha verde (ref. 4572, Dedeco International Inc., Long Eddy, NY, EUA) e pasta de polimento universal (Universal Polishing Paste, Ivoclar AG, Suíça).

O envelhecimento do amálgama foi simulado, conservando as amostras em água destilada durante três anos, numa estufa Vivacare Diagnostic Line Cultura (Vivadent Ets., FL-9494, Schaan, Liechtenstein), mantendo uma temperatura constante de 37° C.

Após este período de envelhecimento, as amostras foram distribuídas aleatoriamente em dois grupos, de acordo com o tratamento de superfície a realizar. No primeiro grupo, a superfície do amálgama foi sujeita a abrasão mecânica com pedras verdes (Shofu Inc., Kyoto 605, Japão) montadas em peça de mão num micromotor Faro F632 (Faro USA, Burlingame, CA, EUA), a 30.000 rotações por minuto. Foi dada uma angulação de aproximadamente 20° entre o longo eixo da pedra verde e a superfície do amálgama, tendo sido efectuadas duas passagens, perpendiculares uma à outra. No outro grupo, as amostras foram submetidas a micro-abrasão com jacto de óxido de alumínio (Al₂O₃) de 50 micrómetros (Danville Engineering, San Ramon, CA, EUA). A micro-abrasão das superfícies do amálgama foi realizada utilizando um

Microetcher intra-oral, versão Erc (Danville Engineering, San Ramon, CA, EUA) a uma distância de 10 milímetros, durante 10 segundos, com um débito de 9 L por minuto e com uma pressão de 0.48 MPa. Para a remoção de possíveis resíduos do material utilizado no tratamento de superfície, o amálgama envelhecido foi pincelado durante 30 segundos com uma solução de ácido fosfórico a 35% [3M Scotchbond Etchant, lote 8KR (3M Dental Products, St. Paul, MN, EUA)]. Após terem sido lavadas durante 30 segundos com jacto de ar/água, as amostras foram secas com jacto de ar durante 5 segundos.

Os diferentes sistemas adesivos utilizados determinaram a ulterior divisão de cada grupo em subgrupos, tendo sido criados oito grupos experimentais com dez amostras (Tabela 1). Foram testados os seguintes adesivos: Scotchbond Multi-Purpose Plus, lote 19980727 (3M Dental Products, St. Paul, MN, EUA), All-Bond 2, lote 089058 (Bisco Inc., Schaumburg, IL, EUA) e Panavia 21 EX, lote 41163 (Kuraray Co., Umeda, Kita-Ku, Osaka, Japão). Como grupos de controlo foram utilizadas amostras em que a adição de novo incremento de amálgama foi feita directamente sobre o amálgama envelhecido, sem a utilização de sistema adesivo.

Tabela 1 – Divisão dos oitenta espécimes em oito grupos segundo o tratamento de superfície efectuado e o sistema adesivo utilizado.

Grupo Experimental	n	Tratamento de superfície	Sistema adesivo
Grupo I	10	Pedra verde	Scotchbond MP Plus
Grupo II	10	Pedra verde	All-Bond 2
Grupo III	10	Pedra verde	Panavia 21 EX
Grupo IV	10	Pedra verde	Sem adesivo
Grupo V	10	Jacto de óxido de alumínio	Scotchbond MP Plus
Grupo VI	10	Jacto de óxido de alumínio	Scotchbond All-Bond 2
Grupo VII	10	Jacto de óxido de alumínio	Panavia 21 EX
Grupo VIII	10	Jacto de óxido de alumínio	Sem adesivo

Os cilindros de resina acrílica com as restaurações de amálgama envelhecido, foram colocados dentro dos moldes de aço, utilizados durante a sua fabricação. Anéis de teflon, de forma e dimensão padronizadas (13 milímetros de diâmetro externo, 5 milímetros de diâmetro interno e 3 milímetros de altura), que serviram de matriz para a condensação do novo incremento de amálgama permitindo a normalização da sua posição relativamente à superfície de amálgama envelhecido. Estes anéis, seccionados em duas metades e contendo no seu interior uma cápsula de gelatina (Torpac Inc., Fairfield, NJ, EUA), com 4.8 milímetros de diâmetro, tendo como objectivo facilitar a desinserção da amostra após a presa do amálgama (Figura 1A).



Figura 1 - Sequência laboratorial [A – Amálgama envelhecido colocado no interior de um molde de aço e matriz utilizada para a reparação dos espécimes (anel de teflon e cápsula de gelatina); B – Aplicação dos sistemas adesivos; C – Condensação do novo incremento de amálgama; D – Espécime com amálgama reparado].

Os sistemas adesivos foram então aplicados sobre a superfície de amálgama envelhecido, de acordo com as instruções do fabricante (Figura 1B). Imediatamente após a aplicação do sistema adesivo, foi condensado o novo incremento de amálgama, Tytin, lote 7-1080 (Kerr Corporation, Romulus, MI, EUA) (Figura 1C).

Nos grupos experimentais IV e VIII, que serviram de grupos controlo, não foram utiliza-

dos sistemas adesivos. Após o tratamento de superfície, o novo incremento de amálgama foi directamente condensado sobre a superfície do amálgama envelhecido.

Após um período de presa inicial de 1 hora, foram retirados o molde de aço, o anel de teflon e a cápsula de gelatina, individualizando-se o espécime. Este era composto por um cilindro de amálgama com 4,8 milímetros de diâmetro, unido à superfície da restauração de amálgama envelhecido incluída no cilindro de acrílico original (Figura 1D).

Após um período de 7 dias em que foram conservados em água à temperatura de 37° Centígrados, numa estufa Vivacare Diagnostic Line Cultura (Vivadent Ets., FL-9494, Schaan, Liechtenstein), os espécimes foram submetidos a 500 ciclos térmicos (imersão alternada, durante 20 segundos, em banhos a 5° C e 55° C, com um tempo de transferência entre os banhos de 6 segundos), utilizando uma unidade de termociclagem Aralab, modelo Refri 200-E (Aralab, Talaíde, Cascais, Portugal). Antes de se realizarem os testes de resistência adesiva, os espécimes foram de novo conservados em água a 37° C, durante 24 horas.

Os valores de resistência adesiva sob tensões de corte, entre o amálgama envelhecido e o incremento de amálgama posteriormente adicionado, foram determinados utilizando uma máquina universal de testes mecânicos Instron, modelo 4502 (Instron Ltd., Bucks, HP12 3SY, Inglaterra). Os espécimes foram montados no braço fixo do Instron, com a superfície do amálgama envelhecido alinhada em relação ao braço superior móvel da máquina de testes, de maneira a assegurar a obtenção de forças de corte. As cargas foram aplicadas numa zona junto à união entre as duas porções de amálgama, utilizando para o efeito um ansa de aço inoxidável Remanium (Dentaurum, D-7530, Pforzheim, Alemanha) de secção redonda, com 0,8 milímetros de diâmetro e 20 centímetros de comprimento (Figura 2). Os testes foram efectuados à velocidade de 1 milímetro por minuto, utilizando uma célula de carga de 1 KiloNewton (KN). A força máxima em Newton foi registada no momento da falha do

sistema adesivo e/ou fractura do amálgama. Os valores de resistência adesiva sob tensões de corte, expressos em MegaPascal (MPa), foram calculados automaticamente pelo computador.



Figura 2 – Teste resistência adesiva sob tensões de corte do espécime reparado.

Com o objectivo de determinar o tipo de falha de união ocorrida, as interfaces de fractura de todos os espécimes foram observadas com um estereomicroscópio Nikon, modelo SMZ-2 (Nikon Europe BV, P.O.B. 7609, Holanda), com uma ampliação de 40 vezes. As interfaces de fractura dos espécimes reparados foram também fotografadas com uma máquina fotográfica digital Nikon, modelo Coolpix 990 (Nikon Corporation, Tóquio 100-8331, Japão).

O tipo de falha de união observado ao nível da interface de fractura dos espécimes reparados com sistemas adesivos, foi classificado de acordo com a seguinte metodologia, adaptada de Jardim ⁽²⁴⁾: AD/AV – Falha adesiva, com fractura ao nível da interface entre o sistema adesivo e o amálgama envelhecido; MI – Falha mista, com resíduos de sistema adesivo em ambas as superfícies; AD/AN – Falha adesiva, com fractura ao nível da interface entre o sistema adesivo e o amálgama posteriormente condensado.

De acordo com a metodologia seguida por Lopes ⁽³¹⁾, foram ainda registados dois tipos de falha passíveis de ocorrer em ambas as superfícies de amálgama, com o objectivo de estudar o comportamento dos substractos de amálgama quando sujeitos a tensões de corte: CAV –

Falha coesiva do amálgama envelhecido; CAN – Falha coesiva do amálgama posteriormente adicionado.

Após a determinação do tipo de falha de união e da eventual falha coesiva dos substratos de amálgama, foi feita a sua distribuição pelos grupos experimentais estudados.

Com o objectivo de explicar o mecanismo responsável pelo tipo de falha ocorrido, as superfícies de fractura de espécimes seleccionados, representativos dos vários grupos experimentais estudados, foram analisadas em microscopia electrónica de varrimento. Os espécimes foram fixados em discos de alumínio com cola de cianoacrilato (Bond-It Plus, Holt Lloyd & Raposo Lda, Albarrique, Sintra, Portugal). De maneira a garantir a condutividade eléctrica, os espécimes foram metalizadas com um alvo de ouro sob vácuo durante 120 segundos, utilizando um sputter coater Joel, modelo JFC-1100 E (Joel Ltd, Tóquio, Japão), calibrado para 10 mA. Os espécimes foram então observados, utilizando um microscópio electrónico de varrimento Hitachi S-450 (Hitachi Ltd, Tóquio, Japão), operado com uma tensão de aceleração de 15 KV.

A caracterização da superfície do amálgama envelhecido, resultante do tratamento com jacto de óxido de alumínio e da abrasão com pedra verde, foi também efectuada em microscopia óptica e microscopia electrónica de varrimento, utilizando a metodologia anteriormente descrita.

Os valores de resistência adesiva sob forças de corte foram analisados estatisticamente com uma análise de variância factorial (ANOVA), com duas dimensões. Como variável dependente foi utilizada a resistência adesiva sob tensões de corte. O método de tratamento de superfície e o sistema adesivo foram utilizados como variáveis independentes.

Em seguida, foram efectuadas análises de variância com uma dimensão, comparando os sistemas adesivos, para cada método de tratamento de superfície estudado. As comparações entre os diferentes sistemas adesivos foram realizadas com provas post-hoc, segundo o

método de Student-Newman-Keuls.

O nível de significância estatística (α) foi fixado em 5%.

RESULTADOS

Os valores médios de resistência adesiva são apresentados na figura 3, variando entre 13.13 MPa e 5.83 MPa. Os valores médios mais elevados foram obtidos nos grupos em que a adesão entre as duas porções de amálgama foi conseguida sem recorrer a sistemas adesivos.

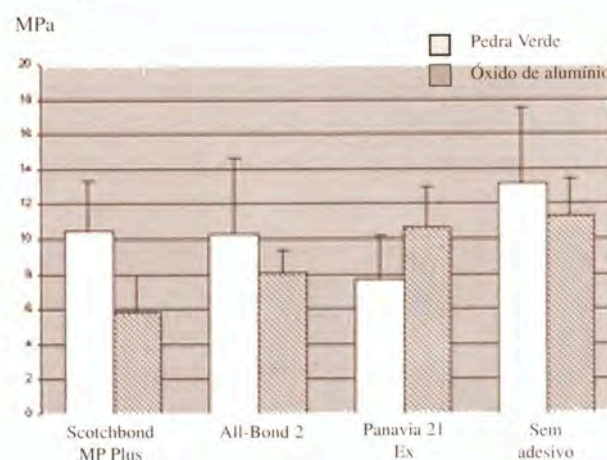


Figura 3 - Valores de resistência adesiva sob tensões de corte (médias e desvios padrão) obtidos nos diversos grupos experimentais.

A análise de variância factorial (ANOVA), com duas dimensões, demonstrou diferenças estatisticamente muito significativas entre os sistemas adesivos estudados ($p = 0.0002$). Os resultados desta análise demonstraram também a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos de superfície investigados ($p = 0.0317$). A constatação de uma interacção estatisticamente significativa entre as variáveis independentes ($p = 0.0013$), tornou necessário realizar uma análise de variância factorial (ANOVA), de uma dimensão, para analisar o efeito do sistema adesivo na resistência adesiva sob tensões de corte, para cada tratamento de superfície. Como se observaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0.05$) entre os adesivos, para os dois tipos de tratamento de superfície, os valores médios foram, em seguida, comparados

seguindo o método de Student-Newman-Keuls.

Nas amostras submetidas à acção abrasiva com pedra verde, a utilização do Panavia 21 EX conduziu a uma diminuição estatisticamente significativa na resistência adesiva, quando comparada com a obtida no grupo em que não foi utilizado sistema adesivo. Por outro lado, nas amostras submetidas ao jacto de óxido de alumínio, os espécimes reparados com Scotchbond MP Plus e All-Bond 2 apresentaram valores significativamente mais baixos que os observados no grupo de controlo (sem agente adesivo).

Em todos os espécimes reparados com sistemas adesivos, a falha de união foi do tipo misto, com resíduos de sistema adesivo em ambos os substratos de amálgama. A interface de fractura dos espécimes reparados sem sistema adesivo também foi observada, verificando-se ter existido em todos os espécimes, fractura a nível da união dos dois incrementos de amálgama.

Verificaram-se 1,25% de fracturas coesivas do amálgama envelhecido (1 fractura no grupo de espécimes reparados sem sistema adesivo após tratamento de superfície com pedra verde) e 5% de fracturas coesivas do amálgama posteriormente condensado (4 fracturas no grupo de espécimes reparados com Panavia 21 EX após jacto de óxido de alumínio).

DISCUSSÃO

A resistência adesiva a tensões de corte do amálgama reparado, avaliada no presente trabalho, é apenas um dos múltiplos factores que determinam a qualidade da interface entre o amálgama envelhecido e o amálgama posteriormente adicionado. No entanto, este aspecto parece constituir um valioso indicador do grau de união entre os dois incrementos de amálgama. Estudos anteriores, revelaram que quanto maiores os valores de resistência adesiva às forças de corte, menor será a probabilidade de fracasso da restauração, quer por infiltração marginal⁽³⁶⁾, quer por fractura ao longo da interface de união⁽¹³⁾.

Os estudos previamente publicados estão de

acordo quanto ao facto de a criação de rugosidades (micro-retenções) na superfície do amálgama envelhecido, utilizando tanto instrumentos rotativos como jacto de óxido de alumínio, aumentar os valores de resistência adesiva do amálgama reparado^(13, 22, 25, 42). No entanto, são escassos os trabalhos que comparam, entre si, a eficácia destes dois métodos de tratamento de superfície.

No presente estudo laboratorial, verificou-se que os valores de adesão mais elevados foram obtidos quando o amálgama recentemente triturado foi directamente condensado sobre a superfície do amálgama envelhecido, sem a utilização de sistemas adesivos. Verificou-se ainda, que nestes casos, a utilização do jacto de óxido de alumínio não produziu um aumento da resistência adesiva, em relação à abrasão da superfície do amálgama envelhecido com pedra verde. Estes resultados estão em conformidade com os obtidos por outros autores, que utilizaram o mesmo amálgama usado no presente estudo, com um tempo de envelhecimento de 5 e 7 dias respectivamente^(13, 25). Na tentativa de explicar estes resultados, é referido que a simples inspecção visual dos espécimes sujeitos à acção abrasiva de um instrumento rotativo revela uma superfície mais rugosa, em comparação com a superfície do amálgama que se obteve com a aplicação de jacto de óxido de alumínio⁽²⁵⁾. O aumento da área de superfície associado à maior rugosidade conduziria, deste modo, a um aumento das retenções micro-mecânicas. No entanto, a observação com microscópio electrónico de varrimento realizada no presente trabalho, demonstrou que a rugosidade criada pela pedra verde corresponde fundamentalmente a sulcos e cristas na superfície do amálgama (Figura 4A). Pelo contrário, a acção do jacto de óxido de alumínio produz uma superfície mais irregular, com um elevado grau de rugosidade e inúmeras micro-retenções (Figura 4B). Por este facto, seria de esperar um aumento dos valores de adesão para os espécimes tratados com jacto de óxido de alumínio. No entanto, os resultados obtidos mostram valores de resistência adesiva sob forças de corte mais elevados, com a utilização de pedra verde. Uma possível explicação para estes resultados, poderá ser o facto de as partículas do amálgama serem demasi-

ado grandes para possibilitar a sua condensação no interior das irregularidades presentes na superfície do amálgama envelhecido sujeito à acção do jacto de óxido de alumínio ⁽¹³⁾. Assim, a área de contacto entre o amálgama envelhecido e o amálgama posteriormente adicionado seria drasticamente reduzida.

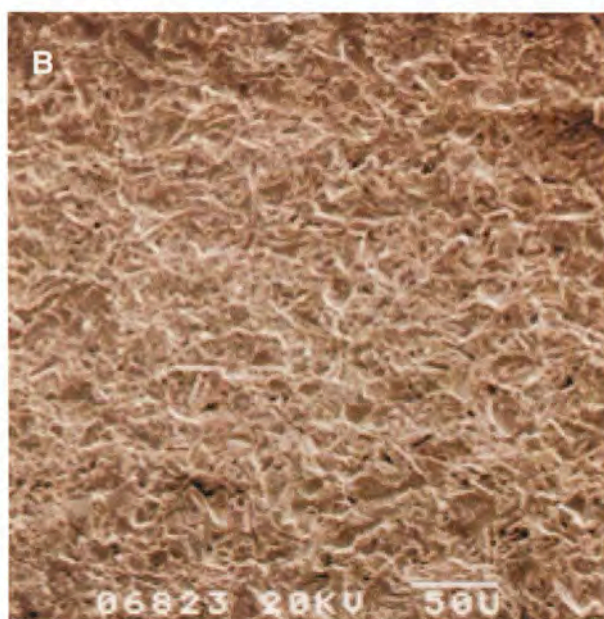
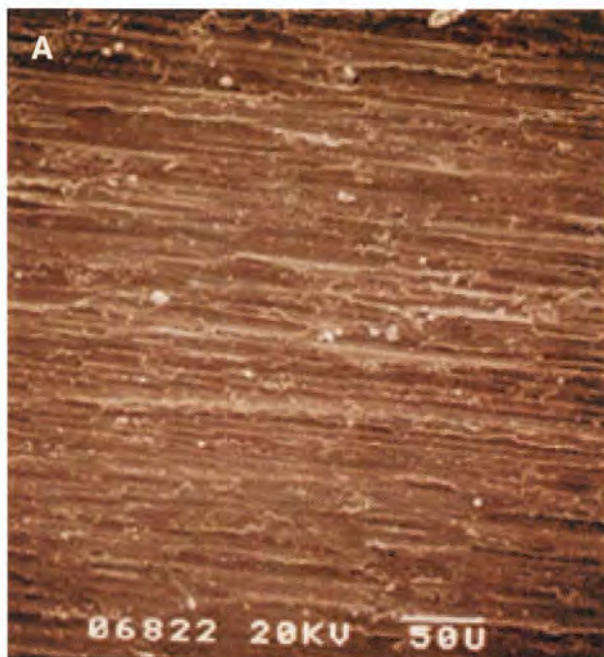


Figura 4 – Micrografias da superfície do amálgama envelhecido após: A) abrasão com pedra verde; B) microabrasão com jacto de óxido de alumínio. Ampliação original 230 x.

O facto de neste estudo se terem observado os valores mais elevados de resistência adesiva sob forças de corte nos grupos em que não foram utilizados sistemas adesivos, parece demonstrar que, ao condensar amálgama recentemente triturado sobre uma superfície de amálgama já endurecido, se forma uma verdadeira união entre as duas porções de amálgama. Ao entrar em contacto com a superfície do amálgama, com estágio de presa mais avançado, o mercúrio livre do novo incremento parece ser capaz de dissolver as fases metalúrgicas do amálgama envelhecido, dando origem à formação de compostos inter-metálicos, promotores de união ⁽²⁷⁾.

Os sistemas adesivos testados no presente trabalho, não aumentaram os valores de adesão entre os dois incrementos de amálgama, tendo mesmo em alguns casos, diminuído significativamente estes valores. Os resultados obtidos estão de acordo com a maioria dos estudos previamente publicados ^(8, 21, 25, 28, 29, 34, 37).

Os valores de adesão obtidos com o Scotchbond Multi-purpose Plus apresentaram variações consideráveis, dependendo do tipo de tratamento de superfície realizado. Os espécimes reparados com este sistema adesivo, após abrasão do amálgama envelhecido com pedra verde apresentaram valores de resistência adesiva bastante mais elevados (10.45 MPa), que os encontrados nos espécimes reparados após o tratamento de superfície com jacto de óxido de alumínio (5.83 MPa). A utilização de All-Bond 2 originou resultados similares, com os valores médios de resistência adesiva a variarem entre 10.29 MPa e 8.08 MPa, conforme tenha sido efectuado o tratamento de superfície com pedra verde ou com jacto de óxido de alumínio, respectivamente. Estes resultados são comparáveis aos obtidos num dos raros estudos em que foi avaliado o efeito do All-Bond 2 na reparação de amálgama ⁽¹³⁾. Utilizando um período de envelhecimento de 5 dias, os valores médios de resistência adesiva sob forças de corte variaram entre 11.9 MPa, para os espécimes submetidos à acção abrasiva de uma broca de tungsténio e 6.4 MPa, quando o tratamento de superfície foi realizado com jacto de óxido de alumínio.

Outro estudo, no entanto, refere valores mais elevados, entre 25.0 e 32.9 MPa, utilizando ensaios de resistência adesiva sob forças de flexão⁽¹⁷⁾.

Possivelmente devido à sua maior viscosidade, o Panavia 21 EX teve um comportamento diferente dos sistemas adesivos anteriormente discutidos. Os valores médios de resistência adesiva obtidos com o tratamento de superfície com jacto de óxido de alumínio (10.61 MPa) foram mais elevados que os verificados nos espécimes sujeitos à acção abrasiva da pedra verde (8.08 MPa). Estes valores são similares aos obtidos em estudos anteriores^(9, 38).

Com o objectivo de explicar os resultados obtidos no presente estudo, as interfaces de fractura foram analisadas em microscópio óptico e microscópio electrónico de varrimento.

Nos espécimes reparados com sistemas adesivos ocorreu uma falha de união do tipo misto, com resíduos de sistema adesivo aderido à superfície do amálgama envelhecido e do amálgama posteriormente adicionado. No entanto, o padrão morfológico da superfície de fractura não se revelou igual para todos os espécimes. Em alguns espécimes o sistema adesivo encontrava-se predominantemente sobre a superfície do amálgama envelhecido, noutros estava predominantemente sobre o amálgama posteriormente adicionado.

Nos espécimes sujeitos à acção do jacto de óxido de alumínio e reparados com Scotchbond Multi-purpose Plus e All-Bond 2, foi encontrado uma falha de união do tipo misto. Apesar de se encontrarem resíduos do sistema adesivo em ambas as superfícies da fractura, o adesivo localizava-se predominantemente aderido à superfície do amálgama envelhecido. Este tipo de distribuição do sistema adesivo nas superfícies de fractura parece indicar que a interface de união entre o sistema adesivo e o amálgama posteriormente adicionado é menos resistente, a forças de corte. A abrasão do amálgama, com jacto de óxido de alumínio produz um

elevadíssimo grau de rugosidade com inúmeras micro-porosidades. A penetração destes sistemas adesivos nas micro-retenções parece ser o principal factor de união entre o adesivo e o amálgama envelhecido.

A observação da interface de fractura dos espécimes submetidos à acção abrasiva da pedra verde e em que foi utilizado o Scotchbond Multi-Purpose Plus ou o All-Bond 2, revelou a existência de resíduos do sistema adesivo em ambas as superfícies de fractura. No entanto, foi possível encontrar uma maior percentagem de adesivo sobre a superfície do amálgama envelhecido. Por outro lado, parecem existir áreas da interface de união onde o sistema adesivo se encontrava ausente em ambas as superfícies de fractura. Com o objectivo de clarificar o mecanismo de união ocorrido nestes grupos, as superfícies de fractura de um espécime representativo de cada grupo foram analisadas com microscópio electrónico de varrimento. A análise da topografia das superfícies de fractura com microscópio electrónico de varrimento revelou a existência de vastas áreas em que o amálgama envelhecido não se encontrava recoberto pelo sistema adesivo. O estudo da superfície de fractura correspondente ao incremento de amálgama posteriormente condensado permitiu encontrar apenas pequenos vestígios de adesivo, confirmando a existência de áreas da interface de união em que o amálgama envelhecido teria estado em contacto directo com o amálgama posteriormente condensado (Figura 5).

A superfície resultante da acção abrasiva da pedra verde apresenta-se relativamente plana, com inúmeras estrias e alguns sulcos e cristas. Esta superfície relativamente plana e a maior fluidez do Scotchbond MP Plus e All-Bond 2 poderão justificar a escassez de adesivo encontrado nas interfaces de fracturas. Por não existirem micro-retenções, a maior parte do adesivo, tendo uma consistência bastante fluída, poderá ter sido empurrado para o exterior da zona de união no momento da conden-

sação do novo incremento de amálgama, criando inúmeras áreas em que o amálgama recentemente condensado está em íntimo contacto com a superfície do amálgama envelhecido. Parece ser este, o factor responsável pelos valores de adesão mais elevados, obtidos com a pedra verde em relação ao jacto de óxido de alumínio, quando foram utilizados o Scotchbond MP Plus e o All-Bond 2.

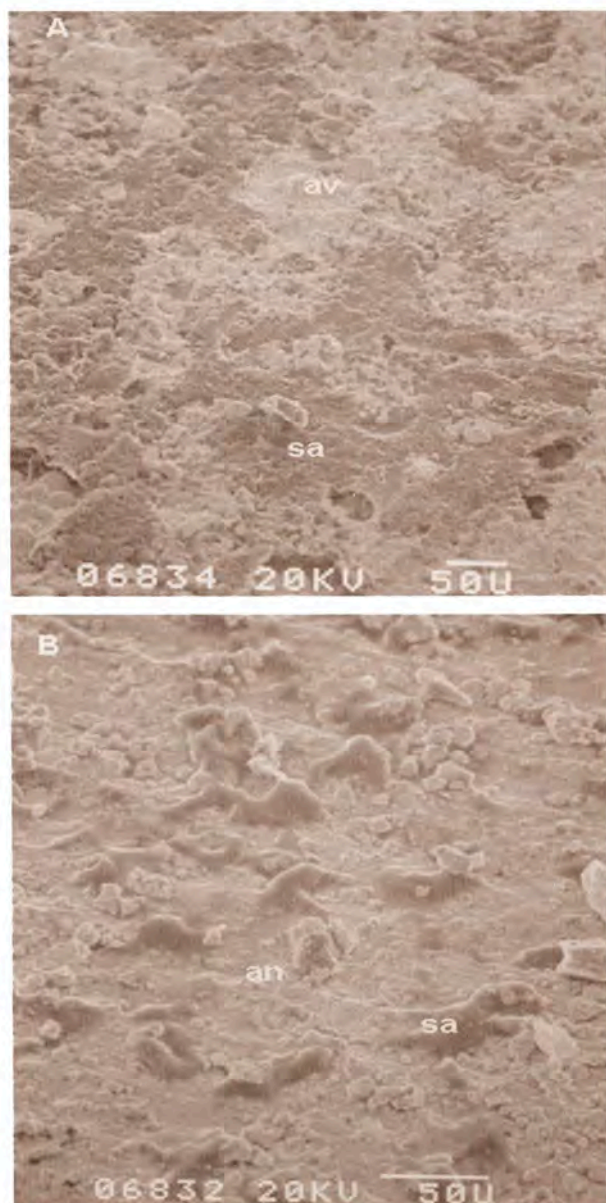


Figura 5 – Micrografias das superfícies de fractura de um espécime reparado com Scotchbond Multi-Purpose Plus, após tratamento de superfície com pedra verde. A) Amálgama envelhecido. *Ampliação original 950 x*; B) Amálgama posteriormente adicionado. *Ampliação original 1000 x*.

(av – amálgama envelhecido; sa – sistema adesivo; an – amálgama novo).

Nos espécimes restaurados com Panavia 21 EX e sujeitos a tratamento de superfície com pedra verde, a falha observada foi do tipo misto, encontrando-se os resíduos de cimento sobre a superfície do amálgama posteriormente adicionado. Sobre a superfície do amálgama envelhecido apenas foram encontrados pequenos vestígios do sistema adesivo. Ao contrário do sucedido com os outros sistemas adesivos, não se observaram áreas da interface de união sem sistema adesivo. Como o Panavia 21 EX, que apresenta uma consistência mais espessa, criou uma barreira que impediu o contacto directo entre o amálgama envelhecido e o recém condensado. Esta poderá ser uma explicação para os valores de resistência adesiva sob forças de corte, obtidos neste grupo, serem inferiores aos observados nos grupos cujos espécimes foram sujeitos a tratamento de superfície com pedra verde e reparados com Scotchbond MP Plus ou All-Bond 2.

A falha ocorrida nos espécimes sujeitos à acção abrasiva do jacto de óxido de alumínio e reparados com Panavia 21 EX foi do tipo misto. Em 70% dos espécimes, o sistema adesivo encontrava-se predominantemente sobre a superfície do amálgama posteriormente adicionado. Nos restantes espécimes deste grupo verificou-se o oposto, o sistema adesivo situava-se predominantemente sobre a superfície do amálgama envelhecido. A penetração do sistema adesivo nas micro-retenções existentes na superfície do amálgama, criadas pelas partículas de óxido de alumínio, parece ser o factor responsável pelo aumento da força de união entre o Panavia 21 EX e o amálgama envelhecido, relativamente aos espécimes sujeitos à acção abrasiva da pedra verde. Na tentativa de compreender a forma como se processa a união deste cimento ao amálgama sobre ele condensado, as superfícies de fractura de um dos espécimes onde se verificou falha coesiva do novo incremento de amálgama foram estudadas com microscópio electrónico de varrimento. A análise da porção de amálgama fracturado revelou a presença de cimento no seu interior (Figura 6).

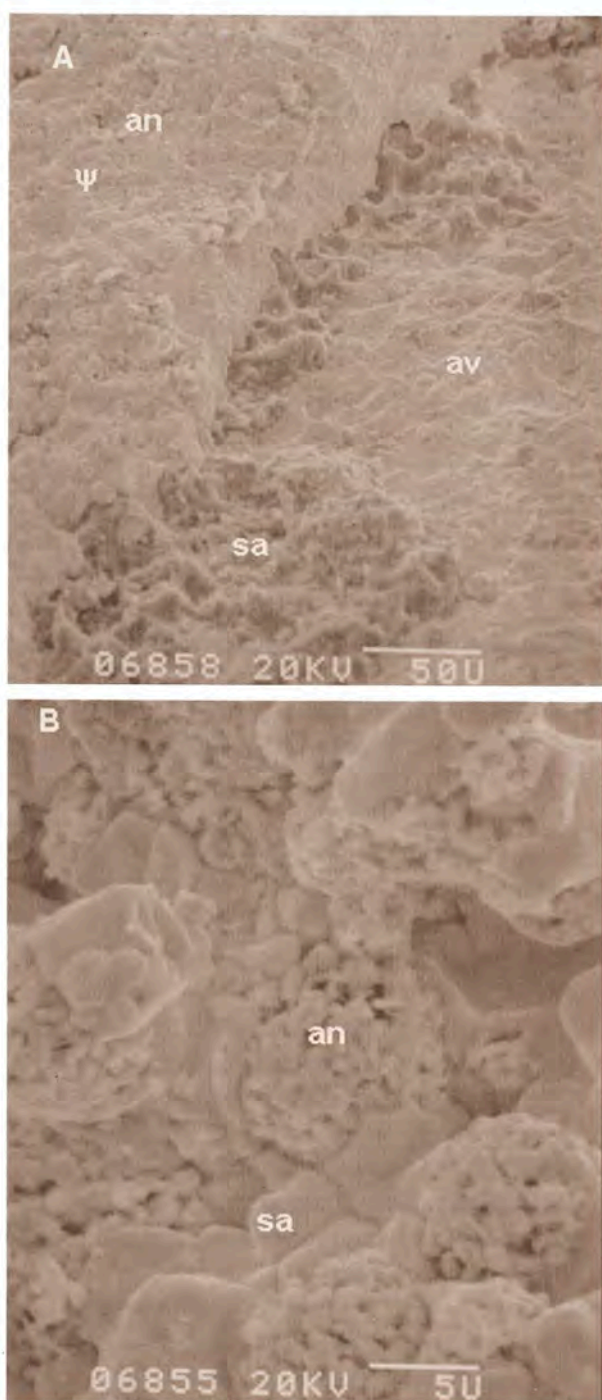


Figura 6 – A) Micrografia ilustrando falha coesiva verificada num espécime reparado com Panavia 21 EX após tratamento de superfície com jacto de óxido de alumínio. *Ampliação original 310 x*; B) Micrografia do amálgama novo fracturado revelando incorporação de sistema adesivo no seu interior (*Ampliação da área marcada com Ψ na figura A*). *Ampliação original 3100 x*. (av – amálgama envelhecido; sa – sistema adesivo; an – amálgama novo).

A retenção mecânica, criada pela incorporação do cimento no amálgama recém tritura-

do, poderá ser a justificação para os maiores valores de resistência adesiva encontrados neste grupo, comparativamente aos valores obtidos quando, após o mesmo tratamento de superfície, foram utilizados os outros sistemas adesivos estudados. No entanto, a incorporação de sistema adesivo no amálgama sobre ele condensado diminui a resistência mecânica deste material de restauração ⁽¹⁰⁾. Este facto poderá justificar as fracturas coesivas do amálgama condensado sobre o Panavia 21 EX, que ocorreram em alguns dos espécimes submetidos à acção abrasiva do jacto de óxido de alumínio.

Apesar dos sistemas adesivos utilizados neste estudo possuírem reconhecida adesão química ao amálgama de prata, a penetração do sistema adesivo nas micro-retenções existentes no amálgama envelhecido e a incorporação de adesivo no interior do amálgama durante a condensação parece ser o principal factor de união.

A aplicação do jacto abrasivo de óxido de alumínio e a utilização de sistemas adesivos como promotores de adesão entre duas porções de amálgama com diferentes estádios de presa tornam a técnica mais dispendiosa, aumentam o tempo necessário e dificultam o processo de reparação do amálgama. No presente estudo não se verificou nenhum aumento dos valores de resistência adesiva sob forças de corte nos espécimes reparados com sistemas adesivos. Nos espécimes reparados sem recurso a sistemas adesivos, o tratamento de superfície com jacto de óxido de alumínio não contribuiu para aumentar os valores de adesão. Os valores mais elevados foram obtidos quando o amálgama foi condensado directamente sobre a superfície de amálgama envelhecido previamente sujeita à acção abrasiva de pedra verde. Por último, segundo estudos anteriores ^(5, 35), alguns sistemas adesivos, parecem sofrer deterioração ao longo do tempo, tendo como consequência a diminuição da sua eficácia. Com base nestes factos, a utilização dos sistemas adesivos estudados, como promotores de união entre dois incrementos de amálgama e o recurso ao jacto de óxido de alumínio parecem não ser aconselháveis.

CONCLUSÕES

Nas condições experimentais utilizadas neste estudo, verificou-se que o método de tratamento de superfície utilizado, influenciou significativamente os valores médios de resistência adesiva sob tensões de corte entre os dois incrementos de amálgama. De um modo geral, o tratamento de superfície com pedra verde conduziu a valores médios de resistência adesiva mais elevados, comparativamente aos valores obtidos com a utilização do jacto de óxido de alumínio.

Os sistemas adesivos testados, influenciaram significativamente os valores médios de resistência adesiva sob tensões de corte entre os dois incrementos de amálgama. A utilização dos sistemas adesivos testados no presente estudo, não aumentou os valores médios de resistência adesiva sob tensões de corte do amálgama reparado, em relação aos espécimes reparados condensando o amálgama recentemente triturado directamente sobre a superfície do amálgama envelhecido.

BIBLIOGRAFIA

1. Anderson MH, McCoy RB. Dental amalgam: The state of the art and science. *Dent Clin North Am* 1993; 37(3): 419-431.
2. Bagheri J, Chan KC. Repair of newly condensed amalgam restorations. *Iowa Dent J* 1993; 79 (3): 13-14.
3. Barbakow F, Gaberthuel T, Lutz F, Schuepbach P. Maintenance of amalgam restorations. *Quintessence Int* 1988; 19 (12): 861-870.
4. Berge M. Flexural strength of joined and intact amalgam. *Acta Odontol Scand* 1982; 40 (5): 313-317.
5. Bichacho N, Pilo R, Brosh T, Berkovich M, Helft M. Shear bond strength of composite resin to fresh amalgam. *Oper Dent* 1995; 20 (2): 68-73.
6. Boyer DB, Edie JW. Composition of clinically aged amalgam restorations. *Dent Mater* 1990; 6 (4): 146-150.
7. Brown KB, Molvar MP, Demarest VA, Hasegawa TK Jr, Heinecke PN. Flexural strength of repaired high-copper amalgam. *Oper Dent* 1986; 11 (4): 131-135.
8. Carr-Hosie MA, Miranda FJ, Collard EW, Duncanson MG Jr. The effect of Amalgambond on the flexural bond strength of dental amalgam. *J Okla Dent Assoc* 1992; 82 (3): 20-24.
9. Caughman WF, Kovarik RE, Rueggeberg FA, Snipes WB. The bond strength of Panavia EX to air-abraded amalgam. *Int J Prosthodont* 1991; 4 (3): 276-281.
10. Charlton DG, Murchison DF, Moore BK. Incorporation of adhesive liners in amalgam: Effect on compressive strength and creep. *Am J Dent* 1991; 4 (4): 184-188.
11. Cipriano TM, Santos JFF. Clinical behavior of repaired amalgam restorations: A two-year study. *J Prosthet Dent* 1995; 73 (1): 8-11.
12. Cowan RD. Amalgam repair: a clinical technique. *J Prosthet Dent* 1983; 49 (1): 49-51.
13. Diefenderfer KE, Reinhardt JW, Brown SB. Surface treatment effects on amalgam repair strength. *Am J Dent* 1997; 10 (1): 9-14.
14. Dunne SM, Gainsford ID, Wilson NHF. Current materials and techniques for direct restorations in posterior teeth. Part 1: silver amalgam. *Int Dent J* 1997; 47 (3): 123-136.
15. Eliades G. Setting mechanisms of dentine bonding agents. *Transactions of The Academy of Dental Materials* 1992; 5 (2): 152-175.
16. Forsten L. Transverse strength of repaired amalgam. *Arsb Odontol Samf Finl* 1969-70:52-58.
17. Fruits TJ, Duncanson MG Jr, Coury TL. Interfacial bond strengths of amalgam bonded to amalgam and resin composite bonded to amalgam. *Quintessence Int* 1998; 29 (5): 327-334.
18. Fukuba S, Hiraoka H, Shimasue K, Shintani H, Inoue T. Studies on the repaired filling using dispersed phase amalgam. *Hiroshima Daigaku Shigaku Zasshi* 1977; 9 (1): 25-32.
19. Giannini M, Paulillo LA, Ambrosano GM. Effect of surface roughness on amalgam repair using adhesive systems. *Braz Dent J* 2002; 13(3): 179-183.
20. Gordon M, Ben-Amar A, Librus S, Liberman R. Bond strength of mechanically condensed repaired high-copper amalgam. *Quintessence Int* 1987; 18 (7): 471-474.
21. Hadavi F, Hey JH, Ambrose ER, Elbadrawy HE. The influence of an adhesive system on shear bond strength of repaired high-copper amalgams. *Oper Dent* 1991; 16: 175-180.
22. Hadavi F, Hey JH, Czech D, Ambrose ER. Tensile bond strength of repaired amalgam. *J Prosthet Dent* 1992; 67 (3): 312-317.

23. Hibler JA, Foor JL, Miranda FJ, Duncanson MG Jr. Bond strength comparisons of repaired dental amalgams. *Quintessence Int* 1988; 19 (6): 411-415.
24. Jardim L. Estudo da adesão de brackets ortodônticos a materiais dentários restauradores – Contribuição pessoal. Tese de Doutorado, Universidade de Lisboa, 1998.
25. Jessup JP, Vandewalle KS, Hermes CB, Buikema DJ. Effects of surface treatments on amalgam repair. *Oper Dent* 1998; 23(1): 15-20.
26. Jorgensen KD, Saito T. Bond strength of repaired amalgam. *Acta Odontol Scand* 1968; 26: 605-615.
27. Kirk EEJ. Amalgam to amalgam bond, a preliminary report. *Dent Pract* 1962; 12: 371-373.
28. Lacy AM, Rupprecht R, Watanabe L, Hiramatsu D. Amalgam-amalgam and amalgam-composite resin bond strengths. *J Dent Res* 1989; 68: 189 (Abs 59).
29. Lacy AM, Rupprecht R, Watanabe L. Use of self-curing composite resins to facilitate amalgam repair. *Quintessence Int* 1992; 23 (1): 53-59.
30. Leelawat C, Sherer W, Chang J, Vijayaraghavan T, LeGeros J. Bonding fresh amalgam to existing amalgam: a shear and flexural strength study. *J Esthet Dent* 1992; 4 (2): 46-49.
31. Lopes LMP. Estudo da união do amálgama de prata ao dente obtida com diferentes materiais adesivos – Contribuição pessoal. Tese de Doutorado, Universidade de Lisboa, 1999.
32. Marshall SJ. Dental amalgam – Structures and properties. In: Anusavice KJ. *Phillips' Science of Dental Materials*. 10th edition. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 1996; p. 361-385.
33. Miyata T. Bonding of repaired amalgam evaluated by tensile strength and scanning electron microscopic observation. *Nippon Shika Zairyo Kikai Gakkai Zasshi* 1972; 28: 92-108.
34. Nuckles DB, Draughn RA, Smith TI. Evaluation of an adhesive system for amalgam repair: Bond strength and porosity. *Quintessence Int* 1994; 25 (12): 829-833.
35. Pilo R, Brosh T, Shapinko E, Dodiuk H. Long-term durability of adhesive systems bonded to fresh amalgam. *J Prosthet Dent* 1996; 76 (4): 431-436.
36. Retief DH, Mandras RS, Russell CM. Shear bond strength required to prevent microleakage at the dentin/restoration interface. *Am J Dent* 1994; 7: 43-46.
37. Roeder LB, DeSchepper EJ, Powers JM. In vitro bond strength of repaired amalgam with adhesive bonding systems. *J Esthet Dent* 1991; 3 (4): 126-132.
38. Rueggeberg FA, Caughman WF, Gao F, Kovarik RE. Bond strength of Panavia EX to dental amalgam. *Int J Prosthodont* 1989; 2 (4): 371-375.
39. Schaller HG, Gotze W, Kirn B, Oehler A. Flexural strength tests of repaired amalgam specimen. *Dtsch Zahnarztl Z* 1989; 44 (7): 542-543.
40. Scott GL, Grisius RJ. Bond strength at the interface of new and old spherical amalgam. *US Navy Med* 1969; 54 (5): 34.
41. Terkla LG, Mahler DB, Mitchem JC. Bond strength of repaired amalgam. *J Prosthet Dent* 1961; 11 (5): 942-947.
42. Walker AC Jr, Reese SB. Bond strength of amalgam to amalgam in a high-copper amalgam. *Oper Dent* 1983; 8 (3): 99-102.