

# Resinas Compostas: Avaliação da Contração e Profundidade de Polimerização em Função da Matriz Orgânica

Ana Portela\*; Mário Vasconcelos\*\*; Miguel Clemente\*\*\*; José Cavalheiro\*\*\*\*

\*Médica Dentista; Mestre em Medicina Dentária Conservadora; Aluna de Doutoramento em Biomateriais; Assistente convidada da disciplina de Ciência e Tecnologia de Biomateriais do Mestrado integrado em Medicina Dentária da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto.

\*\*Médico Dentista; Professor Associado com Agregação do Mestrado integrado em Medicina Dentária da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto.

\*\*\*Médico Dentista; Mestre em Medicina Dentária Conservadora; Assistente convidado da disciplina de Oclusão do Mestrado integrado em Medicina Dentária da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto.

\*\*\*\*Engenheiro de Materiais; Professor Associado do Departamento de Engenharia dos Materiais da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

[Portela A, Vasconcelos M, Clemente M, Cavalheiro J. Resinas Compostas: Avaliação da Contração e Profundidade de Polimerização em Função da Matriz Orgânica. Rev Port Estomatol Med Dent Cir Maxilofac 2010;51:13-18]

## Key-words:

Polymerization shrinkage;  
Depth of cure;  
Organic matrix;  
Composite resin

## Palavras Chave:

Contração  
de polimerização;  
Profundidade  
de polimerização;  
Matriz orgânica;  
Resina composta

**Abstract:** Objectives: Evaluation of the polymerization shrinkage and depth of cure of two composite resins, with different organic matrix. Methods: Two composite resins were used in this study, the Filtek™Silorane with a silorane resin matrix and the Filtek™P60 with a methacrylate resin matrix. The polymerization shrinkage was determined through the measurement of the density in accordance with the Archimedes principle and the statistical evaluation with the “t student” parametric test to the difference of the expected values ( $p > 0,05$ ). The depth of cure was calculated through the micrometric measurement of the samples, according to the standard ISO4049:2000 (E). In both studies there were used the light curing units LED (Light Emitting Diodes) and QTH (Quartz Tungsten Halogen). Results: It was verified a statistical evidence of which the resin composite Filtek™Silorane reaches values of polymerization shrinkage inferiores [1,14 % (QTH) and 1,18 % (LED)] being also the values of depth of cure inferior [(1,74mm (QTH) and 1,99mm (LED)], comparatively with the composite resin Filtek™P60 [2,33 % (QTH) and 2,42 % (LED)] and [2,45mm (QTH) and 2,85mm (LED)]. Conclusions: The properties of polymerization shrinkage and depth of cure are dependent variables of factors like the type of resin matrix, the content and type of filler and the light curing unit used. The composite resin Filtek™Silorane reported lower polymerization shrinkage and depth of cure compared with the composite resin Filtek™P60.

**Resumo:** Objetivos: Avaliação da contração e profundidade de polimerização de duas resinas compostas, com diferente matriz orgânica. Métodos: Neste estudo foram utilizadas duas resinas compostas, uma com matriz de resina silorane (Filtek™Silorane) e a outra com matriz de resina metacrilato (Filtek™P60). A contração de polimerização avaliou-se pela medição da densidade, de acordo com o princípio de Arquimedes e a avaliação estatística pelo teste paramétrico “t student” à diferença dos valores esperados ( $p < 0,05$ ). Para a profundidade de polimerização procedeu-se à medição micrométrica das amostras, segundo a norma ISO4049:2000(E). Em ambos os estudos foram utilizadas as fontes de luz LED (Diodo Emissor de Luz) e QTH (Quartzo Tungsténio Halogéneo). Resultados: Verificou-se uma evidência estatística de que a resina composta Filtek™Silorane atinge valores de contração de polimerização inferiores [1,14% (QTH) e 1,18% (LED)] sendo também os valores de profundidade de polimerização inferiores [(1,74mm (QTH) e 1,99mm (LED)], comparativamente com a resina composta Filtek™P60 [2,33% (QTH) e 2,42% (LED)] e [2,45mm (QTH) e 2,85mm (LED)]. Conclusões: As propriedades de contração e profundidade de polimerização são variáveis dependentes de factores como o tipo de matriz de resina, o conteúdo e tipo de carga e a fonte de luz utilizada. A resina composta Filtek™Silorane apresentou valores de contração e de profundidade de polimerização inferiores comparativamente com a resina composta Filtek™P60.

## Correspondência para:

Ana Portela

E-mail: aportela@fmd.up.pt

## INTRODUÇÃO

Designam-se por materiais compostos ou compósitos os materiais que resultam da combinação artificial de dois ou mais materiais ou fases distintas, com diferente composição na escala macroscópica e onde os constituintes mantêm a sua identidade física ou química<sup>(1)</sup>. Os constituintes podem ser identificados, exibindo uma interface entre eles e devem representar um volume razoável (superior a 5%). O material resultante deverá apresentar propriedades superiores às dos seus componentes individualmente<sup>(1)</sup>.

Actualmente, o material de eleição utilizado para restauração estética directa em Medicina Dentária enquadra-se nesta definição. Consiste numa matriz orgânica de resina, o constituinte contínuo, e numa fase dispersa, a carga, que actua de forma a melhorar as propriedades mecânicas da matriz<sup>(1,2)</sup>.

Materiais como os cimentos de silicato e as resinas acrílicas foram utilizados durante alguns anos para restauração estética directa, como alternativa ao amálgama dentário. As várias limitações que estes materiais apresentavam, levaram ao desenvolvimento das resinas compostas na década de 60 por Bowen. A sua principal inovação foi o bisfenol A-glicidilmetacrilato (bis-GMA) e a utilização de um silano para revestir as partículas de carga, permitindo a sua adesão química à resina<sup>(2)</sup>. Desde então, têm surgido inúmeras inovações tecnológicas no que respeita à composição das resinas compostas, de forma a melhorar o seu desempenho clínico. Contudo, até muito recentemente, todas as resinas compostas disponíveis comercialmente tinham como base comum a polimerização de radicais de metacrilatos. Os dimetacrilatos mais utilizados são o bis-GMA e vários dimetacrilatos alifáticos como o UDMA e o TEGDMA, os quais representam o componente orgânico da resina composta<sup>(2)</sup>. O bis-GMA apresenta propriedades superiores aos outros dimetacrilatos devido ao seu relativo elevado peso molecular. A densidade da dupla ligação do grupo metacrilato é menor no monómero de bis-GMA, sendo um factor importante na redução da contração de polimerização, comparativamente com outros dimetacrilatos<sup>(2-5)</sup>.

Apesar das resinas compostas utilizadas actualmente apresentarem excelentes propriedades mecânicas, a contração de polimerização e a tensão associada à alteração volumétrica da resina é ainda uma desvantagem. O monómero de bis-GMA sem carga, apresenta valores de contração de polimerização considerados baixos (6-8%) comparativamente com monómeros de baixo peso molecular, contudo, o seu elevado peso molecular interfere com as propriedades reológicas da resina composta, aumentando a sua viscosidade<sup>(4)</sup>. Para diminuir a viscosidade

utilizam-se diluentes, que podem ser monómeros de metacrilato como o TEGDMA, mas a sua utilização é limitada uma vez que aumenta a contração de polimerização<sup>(2,3,6,7)</sup>. Por outro lado, a menor viscosidade destes monómeros facilita a incorporação de partículas de carga na matriz, melhorando consideravelmente as suas propriedades, diminuindo a quantidade de matriz presente na resina composta e, conseqüentemente, diminuindo a contração de polimerização<sup>(2,8)</sup>.

A contração de polimerização é uma das principais causas de fracasso das restaurações com resina composta devido à formação de fendas marginais, fractura da estrutura dentária e a microinfiltração subsequente<sup>(9)</sup>. Nos últimos anos tentou-se ultrapassar esta limitação através do desenvolvimento de várias técnicas de manipulação e restauração com resinas compostas (técnica incremental)<sup>(10,11)</sup>, bem como o desenvolvimento de diferentes aparelhos de fotopolimerização (QTH, LED) adaptando as diferentes variáveis dependentes (tempo de exposição, intensidade)<sup>(12,13)</sup>. Também as resinas compostas sofreram modificações no que diz respeito à sua composição, alterando a natureza do componente orgânico, a matriz de resina<sup>(4,5,14,15)</sup> e aumentando e modificando o componente inorgânico, as partículas de carga<sup>(6,16)</sup>.

É no seguimento desta linha de investigação que surgem as resinas compostas com matriz Silorane<sup>®</sup>3M, que consiste num sistema de monómeros catiónicos em anel aberto (Figura 1) e não numa estrutura linear como o monómero de bis-GMA (Figura 2). A grande vantagem desta nova resina composta indicada para restauração de dentes posteriores é a contração de polimerização inferior a 1%<sup>(15,17,18)</sup>, significativamente inferior aos valores apresentados pelas resinas compostas com matriz bis-GMA, 2 a 3%<sup>(19)</sup>.

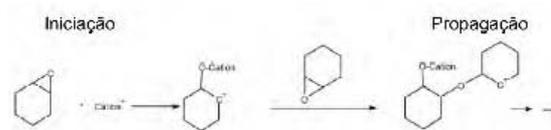


Figura 1 - Polimerização dos monómeros catiónicos em anel aberto da resina composta Silorane<sup>(15)</sup>.

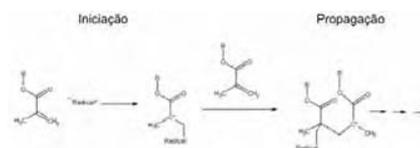


Figura 2 - Polimerização dos radicais de metacrilato [bis-GMA]<sup>(15)</sup>

A profundidade de polimerização é também uma variável determinante para o sucesso de uma restauração uma vez que pode afectar as suas propriedades mecânicas. A polimerização incompleta de uma resina composta irá reflectir-se

em baixa dureza, baixa resistência ao desgaste, baixa estabilidade de cor, grau de absorção/adsorção de água e solubilidade aumentados que resultarão no fracasso precoce da restauração<sup>[20-22]</sup>.

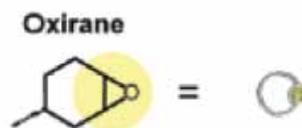
A luz visível banda azul tem sido utilizada durante muitos anos para a polimerização de resinas compostas, tendo sido os aparelhos de Quartzo-Tungsténio-Halogéneo (QTH) a fonte de luz mais popular até há muito poucos anos. A introdução dos Diodos Emissores de Luz (LED) na polimerização de resinas compostas permitiu uma polimerização mais eficiente<sup>[21]</sup>, principalmente pelo facto de o seu espectro de emissão estar mais próximo do espectro de absorção do iniciador mais utilizado actualmente, a canforoquinona (468nm). Contudo os LEDs de 1ª geração atingiam valores de intensidade relativamente baixos. Actualmente, com os LEDs de 2ª geração já é possível obter valores de intensidade da ordem dos 1000 mW/cm<sup>2</sup> ou mesmo acima deste valor. As fontes de luz QTH também sofreram essa inovação, atingindo valores de intensidade de luz semelhantes. Contudo, com as fontes de luz LEDs obtêm-se valores de profundidade de polimerização idênticos ou ligeiramente superiores, quando comparados com os QTH<sup>[22,23]</sup>.

Pretendeu-se com este estudo comparativo, avaliar a contração e profundidade de polimerização desta nova resina composta Filtek™Silorane e de uma resina composta com matriz orgânica bis-GMA (Filtek™MP60), ambas com indicação para restauração de dentes posteriores. Poderá colocar-se a questão da dependência destas duas variáveis: a maior profundidade de polimerização provocará uma maior contração de polimerização?

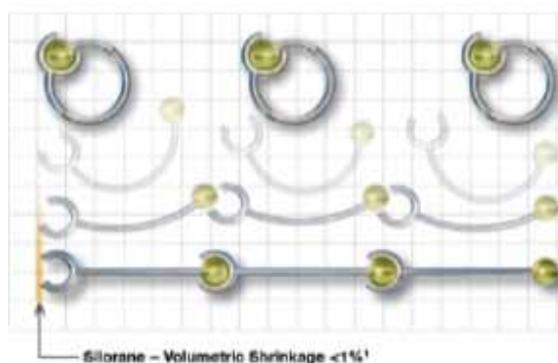
## MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizaram-se neste estudo duas resinas compostas, Filtek™Silorane (3M ESPE) e Filtek™MP60 (3M ESPE), cor A3 comum aos dois tipos de resina. O Filtek™Silorane é constituído por uma matriz de resina à base de monómeros Oxirane e Siloxane (Figura 3), com uma estrutura em anel (Figura 4) e por uma percentagem de carga de 76% por peso. A resina Filtek™MP60 tem uma matriz de resina à base de metacrilato (Figura 5), com estrutura linear (Figura 6) e a carga representa 83% por peso da sua composição.

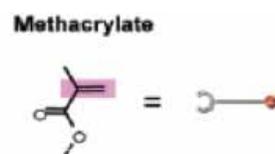
As resinas compostas foram polimerizadas com duas fontes de luz diferentes, um LED de 2ª geração (Elipar™ FreeLight 2, 3M ESPE) com intensidade superior a 1000mw/cm<sup>2</sup> e um QTH (Coltolux®75, Colténe/Whaledent Inc.) com intensidade de 800mw/cm<sup>2</sup>. De forma a assegurar compara-



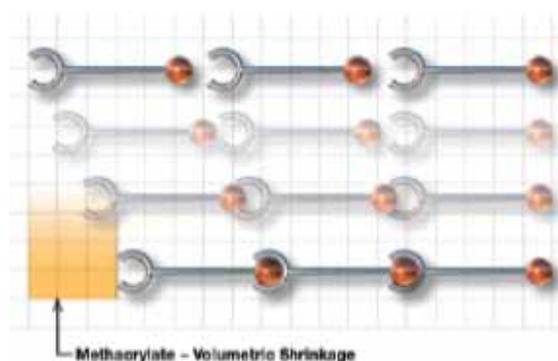
**Figura 3** - Monómero oxirane da matriz da resina composta Filtek™Silorane<sup>[17]</sup>.



**Figura 4** - Durante a polimerização, os anéis de oxirane abrem e expandem-se na direcção uns dos outros, resultando numa contração de polimerização inferior a 1% segundo o fabricante<sup>[17]</sup>.



**Figura 5** - Monómero de metacrilato, bis-GMA, da matriz da resina composta Filtek™MP60<sup>[17]</sup>.



**Figura 6** - Durante a polimerização os monómeros de metacrilato ligam-se, aproximando-se de forma linear, provocando uma diminuição significativa do seu volume<sup>[17]</sup>.

bilidade, utilizou-se neste estudo, um tempo de exposição da fonte de luz de 20 segundos para ambas as resinas compostas e para as duas fontes de luz utilizadas, independentemente do tempo recomendado pelo fabricante.

## Contração de Polimerização

A contração volumétrica das respectivas resi-

nas compostas foi determinada segundo o princípio de Arquimedes através de uma balança analítica e um sistema para determinar a densidade [MC1 Analytic AC210S, Sartorius AG, Goettingen, Germany]. Neste estudo foram constituídos 4 grupos de 5 amostras cada, de acordo com o tipo de resina e fonte de luz polimerizadora utilizada.

Inicialmente determinou-se o volume das amostras antes e após polimerização através das fórmulas 1 e 2 respectivamente, calculando-se a contração de polimerização através da fórmula 3. Os resultados foram submetidos a análise estatística através do teste paramétrico “t student” à diferença dos valores esperados ( $p < 0,05$ ).

Fórmula 1:  
 $m_i - m_0 = v_0 \times d$

Fórmula 2:  
 $m_{if} - m_0 = v_f \times d$

Fórmula 3:  
 $CP = (v_f - v_0 / v_0) \times 100$

$m_0$  - massa determinada no ar, das amostras não polimerizadas  
 $m_i$  - massa determinada em água, das amostras não polimerizadas  
 $m_{if}$  - massa determinada em água, das amostras polimerizadas  
 $v_0$  - volume amostras não polimerizadas  
 $v_f$  - volume amostras polimerizadas  
 $d$  - densidade da água (a 22°C,  $d = 0.997774$ )

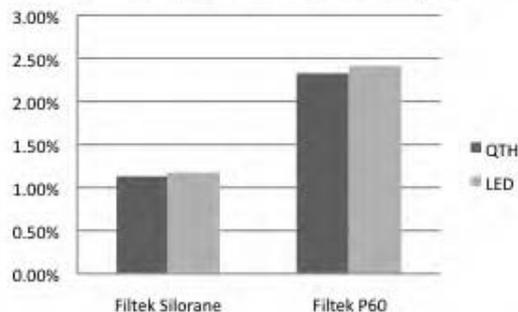
### Profundidade de Polimerização

O teste de avaliação da profundidade de polimerização consistiu na medição micrométrica das amostras (micrómetro digital calibrado para 0,01mm – Digital Caliper STORM, Italy), depois de removidas as porções não polimerizadas. Para todos os métodos de teste, as duas resinas compostas e as duas fontes de luz, a avaliação foi efectuada em triplicado (4 grupos de 3 amostras). Os valores de profundidade de polimerização obtidos representam metade do valor real medido. Este ensaio foi realizado segundo a norma ISO 4049:2000 (E)<sup>[24]</sup>.

## RESULTADOS

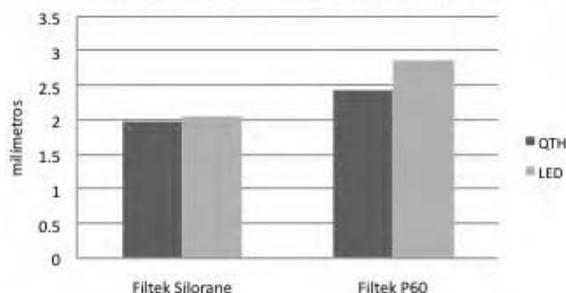
Através da análise dos valores das alterações volumétricas sofridas pelas duas resinas compostas em estudo, segundo o princípio de Arquimedes, verificou-se uma evidência estatística de que a contração de polimerização da resina composta Filtek™Silorane é inferior à Filtek™P60. O gráfico 1 mostra os valores médios de contração de polimerização. A profundidade de polimerização de ambas as resinas compostas, enquadra-se dentro dos valores mínimos estabelecidos na norma ISO. Contudo, a resina composta Filtek™Silorane apresentou valores inferiores, como mostra o gráfico 2. Os resultados de ambas as variáveis foi confirmado com as duas fontes de luz utilizadas.

### Contração de Polimerização



**Gráfico 1** - Contração de polimerização ( $\Delta\%$ ). Valor médio obtido através da determinação das alterações volumétricas das resinas compostas Filtek™Silorane e Filtek™P60, polimerizadas com as duas fontes de luz, QTH e LED.

### Profundidade de Polimerização



**Gráfico 2** - Média dos valores de profundidade de polimerização em milímetros, para as resinas compostas Filtek™Silorane e Filtek™P60, polimerizadas com as duas fontes de luz, QTH e LED. Os valores de profundidade de polimerização obtidos representam metade do valor real medido [ISO 4049:2000 (E)].

## DISCUSSÃO

A percentagem de contração de polimerização depende da estrutura química, da relativa massa molecular dos monómeros de resina, do conteúdo de carga e do grau de conversão da resina<sup>[2]</sup>. É possível obter valores de contração de polimerização inferiores alterando a matriz de resina, utilizando monómeros com estrutura diferente<sup>[15,17,18]</sup>.

Os valores de contração de polimerização inferiores obtidos neste estudo com a resina composta Filtek™Silorane comparativamente com os da resina composta Filtek™P60, estão de acordo com a bibliografia e as referências do fabricante, e confirmados para as duas fontes de luz utilizadas<sup>[17]</sup>. A polimerização através de anéis catiónicos de abertura da molécula de oxirane cicloalifática é a inovação da resina composta Filtek™Silorane<sup>[17]</sup>. A polimerização catiónica ocorre através de um processo de iniciação com um catião ácido que abre os anéis de oxirane gerando um novo centro ácido. Com a adição de um monómero de oxirane, o anel epoxi

abre-se para formar uma cadeia ou, no caso de dois monómeros ou monómeros multifuncionais, para se formar uma rede<sup>(15)</sup>. A grande diferença entre a resina composta Filtek™Silorane e as resinas compostas com matriz bis-GMA é que os oxiranos polimerizam via intermediários catiónicos e os metacrilatos polimerizam por intermediários radicais. Os valores de contração de polimerização obtidos com estas duas resinas compostas deve-se ao facto de, na matriz bis-GMA, as moléculas monómeras estarem a uma distância intermolecular de 3-4Å, mas quando polimerizam, a distância entre as unidades do polímero são apenas de 1.5Å<sup>(12)</sup>. As moléculas de monómeros livres estão folgadamente unidas por forças de Van der Waals fracas e num polímero, os monómeros estão fortemente ligados por ligações covalentes. Este fenómeno implica uma diminuição do volume inicial da resina durante o processo de polimerização<sup>(25)</sup>.

Outro factor importante é a percentagem de carga de uma resina composta, maior percentagem de carga implica menor percentagem de matriz e consequentemente menor contração de polimerização. Contudo, a resina composta Filtek™Silorane apresenta uma percentagem de carga inferior (76% massa) comparativamente com a resina composta Filtek™P60 (84% massa)<sup>(17,26)</sup>. Um estudo recente avaliou a contração de polimerização de várias resinas compostas fluidas, com menor percentagem de carga, onde incluiu várias resinas compostas com matriz de resina bis-GMA e uma resina composta fluida Silorane experimental. Os valores de contração de polimerização obtidos neste estudo para a resina composta Silorane foram muito inferiores (1,74%) comparativamente com as restantes resinas compostas cujos valores variaram entre 3,74% e 4,98%<sup>(27)</sup>.

Embora a contração de polimerização inferior da resina composta Filtek™Silorane possa justificar-se com base na matriz de resina, a menor profundidade de polimerização que se obteve com esta resina poderá ser outra razão para a menor contração de polimerização, uma vez que a polimerização incompleta de uma resina composta, reflecte-se numa menor contração de polimerização<sup>(28)</sup>. Poderá assim estabelecer-se uma relação entre os valores de contração e profundidade de

polimerização de uma resina composta, respondendo à questão inicialmente colocada na elaboração deste estudo.

Apesar de inferiores, os valores de profundidade de polimerização desta resina composta enquadram-se dentro dos valores mínimos estabelecidos na norma ISO, os valores de profundidade de polimerização de todas as amostras foram superiores a 1mm e nenhuma amostra polimerizou menos que 0,5mm relativamente ao valor fornecido pelo fabricante (2mm).

As duas resinas compostas utilizados neste estudo, Filtek™Silorane e Filtek™P60, apresentam uma composição diferente. Para além da matriz de resina, monómeros catiónicos Silorane e os monómeros bis-GMA, o conteúdo de carga e o tamanho médio das partículas também é diferente. Esta variável da composição diferente parece reflectir-se nas propriedades analisadas neste trabalho. Será então igualmente importante avaliar outros factores como as propriedades físicas e mecânicas, biocompatibilidade, manipulação, bem como o seu desempenho clínico a longo termo e confirmar se estes valores justificam a utilização desta nova matriz orgânica.

## CONCLUSÕES

As propriedades de contração e profundidade de polimerização de uma resina composta são cruciais para o sucesso de uma restauração. Estas propriedades estão dependentes não só da composição da resina composta mas também da fonte de luz utilizada, tempo de exposição e técnicas de manipulação. Dentro das limitações deste estudo, os resultados obtidos, de acordo com normas e protocolos estabelecidos, mostram que a resina composta Filtek™Silorane apresenta valores de contração de polimerização inferiores, e por isso mesmo mais favoráveis, comparativamente com a Filtek™P60. Contudo, os valores de profundidade de polimerização inferiores impõem uma técnica de restauração por camadas, não superiores a 2mm, garantindo a polimerização completa da restauração.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 – Carrodegua RG. Biocomposites. In Sastre R, Aza S, Román JS, editors. Biomateriales, Litográfica Faenza, Ibérica, 2004;129-149.
- 2 – Rawls RH, Esquivel-Upshaw FJ: Restorative Resins in PHILLIPS' Science of Dental Material. Eleven Edition. Missouri. Saunders. 2003:401-417.
- 3 – Gonçalves F, Pfeifer CS, Ferracane JL, Braga RR. Contraction stress determinants in Dimethacrylate composites. J Dent Res 2008;87:367-371.
- 4 – Moszner N, Fisher UK, Angermann J, Rheinberger V. A partially aromatic urethane dimethacrylate as a new substitute for Bis-GMA in restorative composites. Dent Mater 2008;24:694-699.

- 5 – Shi S, Nie J. Dimethacrylate based on cycloaliphatic epoxide for dental composites. *Dent Mater* 2008;24:530-535.
- 6 – Giachetti L, Russo DS, Bambi C, Grandini R. A review of polymerization shrinkage stress: current techniques for posterior direct resin restorations. *J Contemp Dent Pract* 2006;7:79-88.
- 7 – Ellakwa A, Cho N, Lee IB. The effect of resin matrix composition on the polymerization shrinkage and rheological properties of experimental dental composites. *Dent Mater* 2007;23:1229-1235.
- 8 – Nunes TG, Pereira SG, Kalachandra S. Effect of treated Filler on the photopolymerization inhibition and shrinkage of a dimethacrylate matrix. *J Mater Sci: Mater Med* 2008;19:1881-1889.
- 9 – Li J, Li H, Fok SL. A mathematical analysis of shrinkage stress development in dental composite restorations during resin polymerization. *Dent Mater* 2008; 24:923-931.
- 10 – Deliperi S, Bardwell DN. An alternative method to reduce polymerization shrinkage in direct posterior composite restorations. *J Am Dent Assoc* 2002; 133:1387-98.
- 11 – Park J, Chang J, Ferracane J, Lee IB. How should composite be layered to reduce shrinkage stress: incremental or bulk filling? *Dent Mater* 2008;24: 1501-5.
- 12 – Visvanathan A, Ilie N, Hickel R, Kunzelmann KH. The influence of curing times and light curing methods on the polymerization shrinkage stress of a shrinkage-optimized composite with hybrid-type prepolymer fillers. *Dent Mater* 2007;23:777-784.
- 13 – Uhl A, Mills RW, Rzanny AE, Jandt KD. Time dependence of composite shrinkage using halogen and LED light curing. *Dent Mater* 2005; 21: 278-286.
- 14 – Pereira S, Osorio R, Toledano M, Cabrerizo-Vilchez MA, Nunes TG, Kalachandra S. Novel light-cured resins and composites with improved physicochemical properties. *Dent Mater* 2007;23:1189-1198.
- 15 – Weinmann W, Thalacker C, Guggenberger R. Siloranes in dental composites. *Dent Mater* 2005;21:67-74.
- 16 – Garoushi S, Vallittu PK, Watts DC, Lassila LV. Effect of nanofiller fractions and temperature on polymerization shrinkage on glass fiber reinforced filling material. *Dent Mater* 2008;24(5):606-610.
- 17 – Filtek™ Silorane 3M ESPE Low Shrink Posterior Restorative 2007.
- 18 – Ernst CP, Meyer GR, Klocker K, Willershausen B. Determination of polymerization shrinkage stress by means of a photoelastic investigation. *Dent Mater* 2004;20:313-321.
- 19 – Chen MH, Chen CR, Hsu SH, Sun SP, Su WF. Low shrinkage light curable nanocomposite for dental restorative material. *Dent Mater* 2006;22:138-145.
- 20 – Li J, Fok AS, Satterthwaite J, Watts DC. Measurement of the full-field polymerization shrinkage and depth of cure of dental composites using digital image correlation. *Dent Mat* 2009;25:582-588.
- 21 – Uhl A, Mills RW, Vowles RW, Jandt KD. Knoop hardness depth profiles and compressive strength of selected dental composites polymerized with halogen and LED light curing technologies. *J Biomed Mater Res* 2002;63:729-738.
- 22 – Campregher UB, Samuel S, Fortes C, Medina A, Collares F, Ogliairi F. Effectiveness of second-generation light-emitting diode (LED) light curing units. *J Contemp Dent Pract* 2007;8:1-10.
- 23 – Shortall AC. How light source and product shade influence cure for a contemporary composite. *J Oral Rehabil* 2005;32:906-911.
- 24 – ISO 4049: Dentistry-polymer-based filling, restorative and luting materials; 2000.
- 25 – Lee IB, Cho BH, Son HH, Um CM. A new method to measure the polymerization shrinkage kinetics of light cured composites. *J Oral Rehabil* 2005;32:304-314.
- 26 – Ruttermann S, Kruger S, Raab WHM, Janda R. Polymerization shrinkage and hygroscopic expansion of contemporary posterior resin-based filling materials – A comparative study. *J Dent* 2007;35:806-813.
- 27 – Weinmann W, Thalacker C, Hoarau-Kurtz MC, Kappler O. Strain of an experimental silorane flowable and four flowable methacrylates. *Dent Mater* 2009(25);e5-e46.
- 28 – Herrero AA, Yaman P, Dennison JB. Polymerization shrinkage and depth of cure of packable composites. *Quintessence Int* 2005;36:25-31.