

# **COMPARAÇÃO DE DUAS TÉCNICAS DE FOTOATIVAÇÃO NA SORÇÃO E SOLUBILIDADE DE RESINAS COMPOSTAS EM SOLUÇÃO DE ETANOL**

Sorption And Solubility Of Commercial Composite Resins In Ethanol Solution  
Submitted To Two Different Photoactivation Techniques

**Taciana Emília de Almeida Anfe**

Doutoranda pelo Departamento de Dentística Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

**Carlos Martins Agra**

Professor do Curso de Mestrado Acadêmico em Odontologia da Universidade Ibirapuera

**Glauco Fioranelli Vieira**

Professor Adjunto do Departamento de Dentística da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

taciana@usp.br

---

## **Resumo**

Os compósitos inseridos na cavidade bucal absorvem líquidos e substâncias presentes na saliva. Esta sorção resulta em alteração e possível desprendimento para o meio oral de componentes do material. A qualidade da polimerização pode aumentar o grau de conversão monomérica das resinas compostas e resultar em melhorar das propriedades mecânicas do material. A hipótese experimental deste trabalho foi a de que uma fotoativação complementar melhoraria o comportamento dos compósitos em solução de etanol. Foram testados os efeitos que duas diferentes técnicas de polimerização apresentam sobre as propriedades de sorção e solubilidade de cinco diferentes marcas de resinas compostas. Metade dos espécimes foi polimerizada por 80 s. A outra metade foi polimerizada por 80 s e depois submetida a um processo complementar de polimerização por 15 minutos. Os resultados demonstraram que houve diferença estatística entre os diferentes compósitos avaliados. No entanto, as duas diferentes técnicas de fotoativação não alteraram as características de sorção e solubilidade das resinas avaliadas. Os resultados indicaram que a composição química das resinas foi o fator determinante para o comportamento dos compósitos em ambiente aquoso.

**Descritores:** Resina Composta, Fotopolimerização e Sorção

## **Abstract**

Composites in the oral cavity can absorb liquids and substances from saliva. This sorption results in degradation and possible detaching of composite components to the oral environment. The polymerization quality can increase the conversion degree of a composite and influence its mechanical properties, improving them. The experimental hypothesis of this study was that a further polymerization would improve composites behavior when immersed in ethanol solution. The sorption and solubility of five composites were evaluated after two different polymerization technics. Half of the specimens were cured for 80 s. The other half was also polymerized for 80 s and then was polymerized for further 15 minutes. The results showed statistical differences between the different composites evaluated. However, the two different techniques of polymerization did not alter the characteristics of sorption and solubility of the resins evaluated. The results indicated that the chemical composition plays a major role to determine the composites behavior in aqueous environment.

## Descriptors:

## 1. Introdução

A resina composta é o material restaurador de eleição para diversos procedimentos restauradores diretos e indiretos. Apresenta características positivas como a possibilidade de se assemelhar aos dentes naturais quanto às propriedades óticas e estéticas. No entanto, mesmo após uma efetiva polimerização, este material apresenta instabilidade e interage com o meio em que está inserido<sup>1</sup>. Na cavidade oral os compósitos são capazes de absorver água e de absorver e liberar substâncias químicas<sup>2,3</sup>. O fenômeno de sorção e solubilidade pode servir como precursor para diversos processos físicos e químicos que acarretarão em efeitos deletérios na estrutura e função do material polimérico. Estes efeitos podem incluir modificação volumétrica como expansão, alterações físicas como plastificação e alterações químicas como oxidação e hidrólise<sup>4,5</sup>.

A sorção de água nos compósitos é um processo de difusão e ocorre principalmente na matriz orgânica<sup>4</sup>. É influenciada pelo comportamento específico dos monômeros que compõem as resinas<sup>6</sup>. Fatores relacionados à química e à estrutura das cadeias poliméricas são importantes na determinação de como o material será afetado em ambiente aquoso. Entre os fatores químicos incluem-se a hidrofília do polímero e as diferenças nos parâmetros de solubilidade entre o polímero e o solvente. Parâmetros estruturais importantes incluem a densidade de cadeias cruzadas e as porosidades existentes na rede polimérica<sup>5,7</sup>.

A degradação química normalmente é causada através dos processos de oxidação e/ou hidrólise<sup>8</sup>. As moléculas de água penetram nos espaços livres entre as cadeias poliméricas ou se aglomeram aos grupos funcionais que são capazes de formar pontes de hidrogênio<sup>9</sup>. A degradação hidrolítica dos compósitos reduz as propriedades mecânicas do material<sup>10</sup>, e ocorre devido à hidrólise do silano que reveste e une às cargas inorgânicas à matriz orgânica, e/ou através da formação de trincas que representam a ruptura das cadeias poliméricas<sup>6,9,10</sup>.

A durabilidade das restaurações de resina composta é objeto de grande preocupação por parte de clínicos e pesquisadores, e motiva a avaliação deste material sob condições próximas às presentes na cavidade bucal. A Food and Drug Administration (FDA) dos Estados Unidos indica a imersão em solução de etanol e água como uma alternativa que simula tal condição<sup>11,12</sup>.

A degradação das resinas compostas ocorre de forma mais pronunciada se a polimerização do material for incompleta e houver a exposição aos fluidos bucais, especialmente a água<sup>8</sup>. Restaurações de resina de uso indireto tornaram-se populares por superar algumas limitações das resinas de uso direto. A complementação da fotopolimerização é um dos fatores considerados responsáveis por essa melhor performance<sup>13</sup>, já que aumenta o grau de conversão monomérica das resinas compostas, e acarreta em melhores proprieda-

des mecânicas. Os materiais voltados para a técnica indireta são chamados de resinas de laboratório e se valem de equipamentos que utilizam calor, luz visível e/ou vácuo para obter uma polimerização secundária<sup>14</sup>.

O objetivo deste trabalho foi o de avaliar a sorção e a solubilidade em solução de etanol de cinco resinas compostas de uso clínico, submetidas a duas técnicas de fotopolimerização (convencional e complementar). A superfície dos compósitos submetidos ao processo de sorção foi avaliada através da microscopia eletrônica de varredura. A hipótese experimental deste estudo foi a de verificar se os compósitos submetidos à polimerização complementar apresentariam valores menores de sorção e solubilidade.

## 2. Materiais e Métodos

### *Confecção dos espécimes*

Cinco marcas de resinas compostas de cor A1 foram avaliadas. Dez espécimes de cada resina foram confeccionados em uma matriz de teflon de 10 mm de diâmetro e 1 mm de espessura. Sobre uma superfície plana foi colocada uma lâmina de vidro e sobre ela um tira de poliéster, sobre a qual a matriz de teflon foi posicionada. A resina foi inserida na matriz em um único incremento. Outra tira de poliéster foi posicionada e uma lâmina de vidro foi pressionada contra o conjunto para a remoção de excessos e para que a superfície adquirisse um aspecto liso e plano. Os espécimes foram polimerizados com aparelho fotopolimerizador com lâmpada halógena (JetLite 4000 Plus, J. Morita - USA Inc.) por 40 segundos em cada face. Os espécimes foram removidos da matriz e polidos com lixas de carbureto de silício de granulação 1200 para a remoção dos excessos que extravasaram quando a resina foi pressionada e que eventualmente ficaram unidos aos espécimes.

Metade dos espécimes de cada marca de resina composta foi submetida a um processo de polimerização complementar em equipamento próprio para laboratórios de prótese (EDG-Lux, EDG Equipamentos e Controles Ltda., São Carlos, SP) por 15 minutos. Os materiais e grupos estão descritos nos Quadro 1 e 2.

**Quadro 1 – Materiais avaliados.**

Resina Composta	Lote	Fabricante
Filtek Z250	7AB	3M-ESPE (St. Paul, USA)
Filtek Z350	7CK	3M-ESPE (St. Paul, USA)
Aelite All-Purpose	H-812A1	Bisco (Schaumburg, USA)
Aelite Aesthetic	H-852A1	Bisco (Schaumburg, USA)
Venus	010120	Heraeus-Kulzer (Hanau, Germany)
Composição	Cl peso/vol	TMP
BisGMA, UDMA, BisEMA	78%/60%	0,01 – 3,5 µm
BisGMA, BisEMA, UDMA, TEGDMA	78,5%/59,5	5-20 nm/0,6-1,4 µm (cluster)
BisEMA, TEGDMA	73%/53%	0,7 µm
BisEMA, BisGMA	73%/54%	0,04 – 5,0 µm
BisGMA, TEGDMA	78%/61%	0,01 – 0,07 µm

**Quadro 2 – Grupos e tratamentos efetuados.**

Grupos	Resina Composta	Fotoativação
1	Filtek Z250	80 s
2	Filtek Z250	80 s + 15 min
3	Filtek Z350	80 s
4	Filtek Z350	80 s + 15 min
5	Aelite All-Purpose	80 s
6	Aelite All-Purpose	80 s + 15 min
7	Aelite Aesthetic	80 s
8	Aelite Aesthetic	80 s + 15 min
9	Venus	80 s
10	Venus	80 s + 15 min

### *Preparo e armazenagem dos espécimes*

A metodologia para avaliação da absorção foi baseada no ISO 4049:2000<sup>15</sup>. Após a confecção os espécimes foram armazenados em um dissecador contendo sílica gel e na temperatura de 37° C. Após 22 horas, os espécimes foram removidos para outro dissecador com temperatura de 23 ± 1°C e mantidos assim por mais duas horas. Em seguida todos os espécimes foram pesados em uma balança com precisão ±0,1mg (Mettler-Toledo AB204). Este ciclo de 24 h foi repetido até que uma massa constante (m1) fosse observada, sinal da completa desidratação dos espécimes. Neste ponto, além da massa, foram anotados

o diâmetro e espessura dos espécimes. Para o diâmetro duas medições foram realizadas e uma média obtida. Para a espessura cinco medições foram realizadas e uma média obtida. A área em milímetros quadrados foi calculada a partir da média do diâmetro. Este valor foi multiplicado pelo valor médio da espessura para obter o volume (V) em milímetros cúbicos.

Na seqüência, os espécimes foram imersos separadamente em 8 ml de solução de etanol a 75%, na temperatura de 37° C por 7 dias. Terminado este prazo os espécimes foram secos em sua superfície com papel absorvente e pesados. O valor obtido foi registrado como  $m_2$ .

A solução de etanol 75% simula o envelhecimento das resinas de modo acelerado por apresentar um parâmetro de solubilidade compatível com o do Bis-GMA<sup>11, 16</sup>. O parâmetro de solubilidade é representado como a energia coesiva das moléculas de solvente em um dado volume. A extensão da absorção do solvente pelo polímero é dependente da diferença dos parâmetros de solubilidade entre polímero e solvente, sendo maior a absorção quando esta diferença é menor<sup>5</sup>.

Após a pesagem de todos os espécimes foi iniciado um novo ciclo no dissecador, semelhante ao já descrito, foi realizado até a completa desidratação. A leitura da massa de cada espécime foi registrada como  $m_3$ .

#### Sorção

A sorção de água foi calculada em microgramas por milímetro cúbico com a seguinte fórmula:

$$W_{sp} = \frac{m_2 - m_3}{V}$$

onde

$m_2$  é a massa do espécime, em microgramas, após a imersão em solução 75% de etanol

$m_3$  é a massa recondicionada do espécime, em microgramas

V é o volume do espécime, em milímetros cúbicos

#### Solubilidade

Para o cálculo da solubilidade, Wsl, em microgramas por

milímetro cúbico, de cada um dos 5 espécimes de cada grupo foi usada a seguinte expressão:

$$W_{sl} = \frac{m_1 - m_3}{V}$$

onde

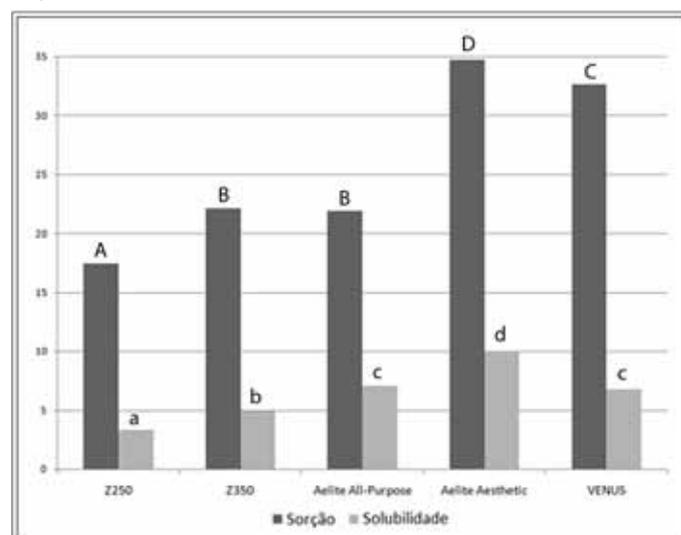
$m_1$  é a massa condicionada previamente à imersão na solução

$m_3$  é a massa recondicionada do espécime

V é o volume do espécime (mm<sup>3</sup>)

### 3. Resultados

Os valores médios e desvio padrão da sorção de água e solubilidade das resinas compostas avaliadas estão demonstrados na Tabela 1. A análise estatística (análise de variância - ANOVA) mostrou diferença estatisticamente significativa entre os grupos ( $p < 0,05$ ). O teste de Tukey foi aplicado para as comparações entre os grupos. Os resultados demonstraram que houve diferença entre as resinas compostas avaliadas, mas que a técnica de polimerização não afetou a sorção ou solubilidade dos materiais. As diferenças entre as resinas estão representadas no Gráfico 1. A microscopia eletrônica de varredura revelou a existência de trincas na superfície dos espécimes das resinas Aelite All-Purpose, Aelite Aesthetic e Venus após a realização dos testes. As duas últimas apresentaram as trincas mais evidentes. Não foram observadas trincas na superfície dos espécimes das resinas Filtek Z250 e Filtek Z350.



**Gráfico 1** – Representação dos valores obtidos de sorção e solubilidade em mg. Letras diferentes indicam valores significativamente diferentes. A resina Aelite Aesthetic apresentou os maiores valores de sorção e solubilidade, enquanto que a resina Filtek Z250 apresentou os menores valores.

Compósito	Sorção		Solubilidade	
	Média	DP	Média	DP
Z250	17,406	0,95	3,296	0,3
Z350	22,124	0,38	4,93	0,24
Aelite All-Purpose	21,936	0,44	7,045	0,56
Aelite Aesthetic	34,714	0,53	10,048	0,6
VENUS	32,612	0,68	6,785	0,46

**Tabela 1** – Valores médios de sorção e solubilidade em mg e respectivos valores de desvio padrão.

#### 4. Discussão

Os resultados deste estudo demonstraram comportamento distinto quanto ao coeficiente de difusão das diferentes marcas comerciais avaliadas. Entre os fatores que determinam o coeficiente de difusão estão a composição e volume da matriz orgânica, o tipo de carga inorgânica e a presença de porosidades na matriz orgânica.<sup>1, 7, 17, 18</sup> Embora o processo de absorção de água seja multifatorial, a absorção acontece em grande parte devido à natureza hidrofílica das unidades monoméricas que compõem o polímero<sup>7</sup> e suas ligações poliméricas.<sup>5, 9</sup> Entre os monômeros presentes nas resinas avaliadas, o trietilemo glicol dimetacrilato (TEGDMA) é o que apresenta a maior hidrofília e a maior capacidade de sorção.<sup>18</sup> A resina Filtek Z250 foi o material que apresentou menor sorção da solução de etanol e que não apresenta TEGDMA em sua composição.

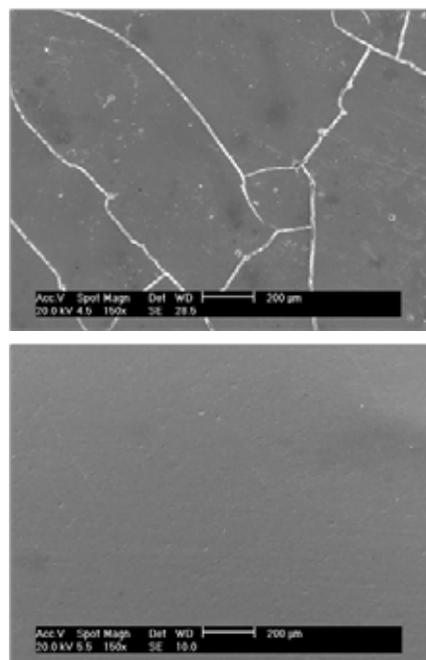
A resina Filtek Z350 apresentou desempenho semelhante à Aelite All-Purpose quanto à sorção. Ambas possuem o BisEMA e o TEGDMA em suas composições. No entanto, a Filtek Z350 apresenta ainda o BisGMA e o UDMA. O BisEMA é o monômero que apresenta menor sorção de solvente. Já o UDMA e o BisGMA apresentam valores maiores de sorção do que o BisEMA e menores do que o TEGDMA. O UDMA sofre menor sorção que o BisGMA.

O UDMA apresenta maior viscosidade do que o TEGDMA e BisEMA, no entanto menor do que a do BisGMA.<sup>19, 20</sup> A elevada sorção do BisGMA e TEGDMA ocorre devido aos grupos hidroxila e ligações éter presentes, respectivamente, nestes monômeros. O UDMA apresenta menor sorção de solvente do que estes dois últimos devido à presença dos grupos uretano. O BisEMA é um análogo estrutural do BisGMA com um anel

central fenil rígido, e é o monômero que apresenta menor sorção devido à sua estrutura menos polar do que o BisGMA, devido à ausência dos grupos hidroxila.<sup>3, 5, 7, 18</sup> Os grupos hidroxila presentes no BisGMA são responsáveis pela elevada viscosidade deste monômero.

As resinas Aelite Aesthetic e Venus apresentaram o pior desempenho dentre os materiais avaliados. O comportamento da Venus pode ser explicado por conter BisGMA e TEGDMA em sua composição. Outros materiais que apresentam TEGDMA se diferenciam da Venus por apresentarem outros monômeros na composição, como UDMA ou BisEMA, que são menos hidrofílicos do que o BisGMA. Já o fraco desempenho do compósito Aelite Aesthetic não advém dos monômeros que a compõe, e pode ser explicado pelo menor volume percentual de carga inorgânica presente. Uma maior quantidade de carga inorgânica leva a um melhor desempenho mecânico das resinas compostas e menor sorção de água.<sup>3, 5, 6, 21, 22</sup>

A microscopia eletrônica de varredura (Figura 1) demonstrou que a superfície dos compósitos que apresentaram maiores alterações de massa no processo de sorção e dessecação apresentava trincas.



**Figura 1** - (a) Micrografia da microscopia eletrônica de varredura (aumento 150X) mostrando trincas na superfície da resina Aelite Aesthetic; (b) Micrografia da microscopia eletrônica de varredura (aumento 150X) da superfície da resina Z250, com ausência de trincas.

A exposição dos materiais poliméricos a um ambiente aquoso, e a conseqüente sorção de líquidos, é responsável pela deterioração das propriedades mecânicas.<sup>9, 10, 17, 21</sup> A degradação dos materiais resinosos ocorre através de dois mecanismos. A sorção de água provoca expansão, torna a matriz plástica e frágil, e inicia a quebra de cadeias causando a liberação de monômeros.<sup>9, 17, 22-24</sup> O segundo mecanismo de degradação ocorre na interface entre a matriz orgânica e inorgânica pela deterioração do silano, o que também contribui para o empobrecimento das propriedades mecânicas dos materiais resinosos em água.<sup>17, 25</sup>

A solubilidade é a medida da quantidade de monômero residual não convertido que é liberado na solução<sup>18</sup>. A solubilidade de um compósito possui potencial para causar impacto na estabilidade da estrutura do material<sup>1</sup>. A resina Filtek Z250 apresentou os menores valores de solubilidade dentre os compósitos avaliados. Os materiais mantiveram um padrão de comportamento, já que os compósitos que sofreram maior sorção de solvente também apresentaram maior solubilidade.

Polímeros com maior grau de conversão e maior densidade de cadeias cruzadas são menos susceptíveis à ação de solventes.<sup>4, 5, 18, 26</sup> Uma rede polimérica com cadeias cruzadas menos densas estão mais sujeitas à ação dos solventes porque há um maior volume livre e as ligações poliméricas são baseadas principalmente em ligações secundárias.<sup>22, 24, 27</sup> No entanto, no presente estudo não foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre os grupos que foram submetidos à fotoativação tradicional e os grupos que foram submetidos à fotoativação complementar. É provável que os grupos com fotoativação complementar, devido à maior exposição à luz fotoativadora, tenham obtido maior grau de conversão.<sup>22, 27</sup> Porém, Rueggeberg e Craig<sup>28</sup> relatam que a sorção de água de um compósito é um mau prognosticador do grau de conversão. As cadeias cruzadas da matriz orgânica parecem ser mais importantes para a cinética da sorção de água (coeficiente de difusão), apesar de ter uma influência limitada na sorção de água por volume.<sup>8</sup> Desta maneira, a hipótese experimental deste trabalho não se confirmou.

## 5. Conclusões

O processo de sorção e solubilidade dos compósitos avaliados foi material dependente. A composição química do compósito determinou o comportamento dos materiais em ambiente aquoso. A hidrofília dos monômeros bem como o volume percentual de carga inorgânica afetou os valores de sorção e solubilidade observados. A técnica de fotoativação complementar testada não afetou os valores de sorção e solubilidade dos compósitos testados.

## 6. Referências bibliográficas

1. Yap AU, Wee KE. Effects of cyclic temperature changes on water sorption and solubility of composite restoratives. *Oper Dent*. 2002 Mar-Apr;27(2):147-53.
2. Karabela MM, Sideridou ID. Effect of the structure of silane coupling agent on sorption characteristics of solvents by dental resin-nanocomposites. *Dent Mater*. 2008 May 5.
3. Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials*. 2003 Feb;24(4):655-65.
4. Braden M, Causton EE, Clarke RL. Diffusion of water in composite filling materials. *J Dent Res*. 1976 Sep-Oct;55(5):730-2.
5. Ferracane JL. Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dent Mater*. 2006 Mar;22(3):211-22.
6. Sideridou I, Achilias DS, Spyroudi C, Karabela M. Water sorption characteristics of light-cured dental resins and composites based on Bis-EMA/PCDMA. *Biomaterials*. 2004 Jan;25(2):367-76.
7. Kerby RE, Knobloch LA, Schrickler S, Gregg B. Synthesis and evaluation of modified urethane dimethacrylate resins with reduced water sorption and solubility. *Dent Mater*. 2008 Sep 15.
8. Ortengren U, Wellendorf H, Karlsson S, Ruyter IE. Water sorption and solubility of dental composites and

- identification of monomers released in an aqueous environment. *J Oral Rehabil.* 2001 Dec;28(12):1106-15.
9. Ito S, Hashimoto M, Wadgaonkar B, Svizero N, Carvalho RM, Yiu C, et al. Effects of resin hydrophilicity on water sorption and changes in modulus of elasticity. *Biomaterials.* 2005 Nov;26(33):6449-59.
  10. Oysaed H, Ruyter IE. Composites for use in posterior teeth: mechanical properties tested under dry and wet conditions. *J Biomed Mater Res.* 1986 Feb;20(2):261-71.
  11. Sideridou ID, Karabela MM, Bikiaris DN. Aging studies of light cured dimethacrylate-based dental resins and a resin composite in water or ethanol/water. *Dent Mater.* 2007 Sep;23(9):1142-9.
  12. Sideridou ID, Karabela MM, Vouvoudi E. Volumetric dimensional changes of dental light-cured dimethacrylate resins after sorption of water or ethanol. *Dent Mater.* 2008 Aug;24(8):1131-6.
  13. Casselli DS, Worschech CC, Paulillo LA, Dias CT. Diametral tensile strength of composite resins submitted to different activation techniques. *Braz Oral Res.* 2006 Jul-Sep;20(3):214-8.
  14. Eldiwany M, Powers JM, George LA. Mechanical properties of direct and post-cured composites. *Am J Dent.* 1993 Oct;6(5):222-4.
  15. ISO. International Organization for Standardization 4049. International Dentistry: polymer-based filling, restorative and luting materials. 3rd ed. Geneva, Switzerland.2000.
  16. Lee SY, Greener EH, Mueller HJ. Effect of food and oral simulating fluids on structure of adhesive composite systems. *J Dent.* 1995 Feb;23(1):27-35.
  17. Curtis AR, Shortall AC, Marquis PM, Palin WM. Water uptake and strength characteristics of a nanofilled resin-based composite. *J Dent.* 2008 Mar;36(3):186-93.
  18. Sideridou ID, Achilias DS, Karabela MM. Sorption kinetics of ethanol/water solution by dimethacrylate-based dental resins and resin composites. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2007 Apr;81(1):207-18.
  19. Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials.* 2002 Apr;23(8):1819-29.
  20. Kalachandra S, Kusy RP. Comparison of Water Sorption by Methacrylate and Dimethacrylate Monomers and Their Corresponding Polymers. *Polymer.* 1991;32(13):2428-34.
  21. Gohring TN, Gallo L, Luthy H. Effect of water storage, thermocycling, the incorporation and site of placement of glass-fibers on the flexural strength of veneering composite. *Dent Mater.* 2005 Aug;21(8):761-72.
  22. Ferracane JL, Berge HX. Fracture toughness of experimental dental composites aged in ethanol. *J Dent Res.* 1995 Jul;74(7):1418-23.
  23. Ferracane JL, Berge HX, Condon JR. In vitro aging of dental composites in water--effect of degree of conversion, filler volume, and filler/matrix coupling. *J Biomed Mater Res.* 1998 Dec 5;42(3):465-72.
  24. Ferracane JL, Marker VA. Solvent degradation and reduced fracture toughness in aged composites. *J Dent Res.* 1992 Jan;71(1):13-9.
  25. Soderholm KJ, Zigan M, Ragan M, Fischlschweiger W, Bergman M. Hydrolytic degradation of dental composites. *J Dent Res.* 1984 Oct;63(10):1248-54.
  26. Asmussen E, Peutzfeldt A. Influence of selected components on crosslink density in polymer structures. *Eur J Oral Sci.* 2001 Aug;109(4):282-5.
  27. Goncalves F, Calheiros FC, Witzel MF, Kawano Y, Braga RR. Effect of photoactivation protocol and radiant exposure on monomer conversion and flexural strength of a resin composite after water and ethanol storage. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2007 Jul;82(1):89-92.
  28. Rueggeberg FA, Craig RG. Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. *J Dent Res.* 1988 Jun;67(6):932-7.