

# Avaliação da dureza superficial de cimentos de ionômero de vidro reforçados por nanotubos de carbono

*Evaluation of surface hardness of glass ionomer reinforced cements by carbon nanotubes*

Mayra Manoella Perez Reis dos SANTOS<sup>a</sup>, Ingrid Fernandes MATHIAS<sup>b</sup>,  
Michele Baffi DINIZ<sup>a</sup>, Eduardo BRESCIANI<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>UNICSUL – Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo, SP, Brasil

<sup>b</sup>Instituto de Ciência e Tecnologia, UNESP – Univ Estadual Paulista, São José dos Campos, SP, Brasil

## Resumo

**Introdução:** Os cimentos de ionômero de vidro (CIV) são materiais com baixa resistência à tração e ao cisalhamento, mostrando-se, portanto, contraindicados para áreas sujeitas às grandes cargas oclusais. **Objetivo:** Avaliar o efeito da incorporação de nanotubos de carbono em CIV por meio de dureza superficial Knoop. **Material e método:** Foram confeccionados 48 espécimes, divididos em quatro grupos, de acordo com o tipo de CIV (n=12) – convencional ou de alta viscosidade, incorporados ou não de nanotubos de carbono (NC) a 2%: (A) Vidrion R; (B) Vidrion R + NC 2%; (C) Vitro Molar, e (D) Vitro Molar + NC 2%. Os espécimes foram preparados utilizando-se seringa Centrix, para inserção do material em moldes plásticos, e armazenados em água deionizada por 24 horas. Após polimento, realizou-se o teste de dureza superficial com penetrador do tipo Knoop. Foram realizadas cinco endentações em cada espécime, distanciadas entre si em 100 µm. **Resultado:** Os valores médios de dureza foram  $58,96 \pm 8,29$  (A),  $34,81 \pm 5,78$  (B),  $60,84 \pm 4,91$  (C) e  $41,97 \pm 5,45$  (D). O teste ANOVA detectou diferenças estatisticamente significantes para os dois parâmetros estudados, tipo de material ( $p=0,016$ ) e inclusão de NC ( $p<0,0001$ ). Pelo teste de Tukey, observou-se que os grupos A e C foram estatisticamente semelhantes ( $p>0,05$ ), enquanto os grupos B e D apresentaram diferenças significativas ( $p<0,05$ ). Ao comparar o fator incorporação ou não de NC, observou-se diferença significativa entre os grupos A e B, e entre os grupos C e D ( $p<0,05$ ). **Conclusão:** A incorporação de nanotubos de carbono influenciou negativamente os valores de dureza superficial para os dois tipos de CIV utilizados.

**Descritores:** Cimentos de ionômeros de vidro; nanotubos de carbono; testes de dureza.

## Abstract

**Introduction:** Glass ionomer cements (GIC) are materials with low tensile and shear bond strength and therefore contraindicated in areas subjected to high occlusal stress loads. **Aim:** To evaluate the effect of incorporation of carbon nanotubes in GICs, conventional or indicated for the Atraumatic Restorative Treatment (ART), through the superficial microhardness test. **Material and method:** Forty-eight specimens were prepared and divided into 4 groups according to the type of GIC (n=12): conventional or high viscosity, embedded or not with 2% carbon nanotubes (CN): (A) Vidrion R, (B) Vidrion R + 2% CN, (C) Vitro Molar and (D) Vitro Molar + 2% CN. The specimens were inserted into plastic molds with Centrix syringe and stored in deionized water for 24 hours. After polishing, the superficial hardness was performed with a Knoop indenter. Five indentations were made on each specimen, with distance of 100 micrometers between indentations. **Result:** The average hardness values were  $58.96 \pm 8.29$  (A)  $34.81 \pm 5.78$  (B)  $60.84 \pm 4.91$  (C)  $41.97 \pm 5.45$  (D). ANOVA detected significant difference for the two variables, material ( $p=0,016$ ) and CN inclusion ( $p<0,0001$ ). Tukey test revealed that the groups A and C were statistically similar ( $p>0,05$ ), while the B and D groups showed significant differences ( $p<0,05$ ). When comparing the incorporation or not of factor CN, there was significant difference between groups A and B and between C and D groups ( $p<0,05$ ). **Conclusion:** The incorporation of CNTs negatively influenced the values of surface hardness for the two types of GIC used.

**Descriptors:** Glass ionomer cements; carbon nanotubes; hardness tests.

## INTRODUÇÃO

O Tratamento Restaurador Atraumático (TRA) é uma técnica que se baseia na remoção de tecido cariado por meio da utilização de instrumentos manuais e a restauração da cavidade com um

cimento de ionômero de vidro (CIV)<sup>1,2</sup>. É utilizada em situações em que instrumentos rotatórios convencionais não podem ser utilizados, por falta/escassez de energia elétrica, ou em situações

especiais, como bebês, pacientes com necessidades especiais e crianças medrosas e não colaboradoras. A utilização dos CIVs se deve ao fato de serem materiais biocompatíveis; possuírem efeito isolante em relação às alterações térmicas do meio bucal; atuarem como um agente antibacteriano, pela liberação de flúor, e ainda pela possibilidade de manipulação manual<sup>1,2</sup>.

As propriedades mecânicas e as características clínicas e de manuseio, principalmente dos CIV convencionais, já se encontram bem delineadas na literatura<sup>3,4</sup>. Embora o cimento de ionômero de vidro seja o material de escolha para a técnica do TRA, ainda é o principal ponto de falha da técnica, pois não são indicados para áreas de esforços mastigatórios<sup>5-7</sup>. Várias tentativas de melhorar as propriedades mecânicas dos CIVs são relatadas na literatura, dentre as quais, temos: incorporação de partículas de vidro<sup>8,9</sup> ou hidroxiapatita<sup>10</sup> à mistura, aceleração da presa com pontas de ultrassom<sup>11</sup>, entre outras.

A descoberta dos nanotubos de carbono (CNT) em 1991, por Iijima<sup>12</sup>, representou grande evolução científica, sugerindo aplicações tecnológicas e especulações teóricas excepcionais, devidas, principalmente, ao seu comportamento eletrônico singular<sup>13</sup>. Os CNTs são uma forma alotrópica do carbono caracterizada pelo enrolamento de uma ou várias folhas de grafeno de forma concêntrica e cilíndrica, e com cavidade interna oca<sup>14</sup>. Estes são materiais estratégicos, com grande interesse tecnológico, devido principalmente à sua estrutura singular, a qual lhe confere um conjunto peculiar de propriedades mecânicas, ópticas, térmicas, químicas e eletrônicas<sup>15</sup>. A versatilidade desses materiais permite que sejam explorados em diferentes áreas de pesquisa e aplicação.

Os nanotubos de carbono estão atraindo uma atenção considerável na área médica/odontológica por ser um material bioinerte e por suas propriedades físicas e únicas. Estudos recentes têm mostrado que os nanotubos de carbono podem ser utilizados como materiais biomédicos, uma vez que podem melhorar a resistência dos materiais compósitos<sup>3,16</sup>; podem induzir o aumento de adesão e proliferação de células<sup>4</sup>, como de odontoblastos e fibroblastos<sup>16</sup>; atuar sobre o efeito de nucleação de hidroxiapatita e iniciadores de precipitação de apatita<sup>10</sup>, e proporcionar atividade antimicrobiana<sup>9,17</sup>. Além destas observações, há relato de aumento das propriedades mecânicas quando incorporados os nanotubos de carbono de parede única à cerâmica de alumina, na ordem de 300%<sup>9</sup>. Estas propriedades de nanotubos de carbono têm gerado interesse quanto à sua utilização em Odontologia.

Partindo destas informações encontradas na literatura, realizou-se este estudo com o intuito de avaliar o efeito da incorporação de nanotubos de carbono em CIV, por meio de dureza superficial Knoop.

## MATERIAL E MÉTODO

### Estudo Piloto

Para se determinar a proporção ideal de nanotubos em relação à quantidade de pó do CIV, foram confeccionados corpos de prova cilíndricos (de 5 mm de diâmetro e 4 mm de espessura) com concentrações crescentes de nanotubos (0,5%, 1% e 2%). A concentração ideal seria aquela que os dados apresentassem melhores

características de dureza superficial com a menor quantidade de nanotubos incorporada. Optou-se por utilizar a concentração de 2%, por proporcionar uma mensuração facilitada em associação à queda de dureza superficial similar às outras duas concentrações testadas. Os dados do teste piloto estão presentes na Tabela 1.

### Material e Amostra

Foram testados dois tipos de CIV: um convencional (VR, Vidrion R – S.S White, Rio de Janeiro, Brasil) e outro de alta viscosidade (VM, Vitro Molar – Nova DFL, Rio de Janeiro, Brasil).

Nanotubos de carbono de paredes simples com dimensões de 1 a 3 nm de diâmetro e 1.000 nm de comprimento foram utilizados neste estudo (Laboratório de Nanomateriais do Departamento de Física da UFMG). Assim, nanotubo de carbono a 2% foi incorporado aos dois tipos de CIV (Vidrion R + nanotubo de carbono a 2% e Vitro Molar + nanotubo de carbono a 2%).

A partir dos dados obtidos com o teste piloto (média e desvio padrão), o cálculo amostral foi realizado (G\* Power 3 for Mac). Utilizando-se os parâmetros: poder do teste a 80%, número de grupos a serem testados igual a dois, erro de probabilidade a 0,05 e  $f = 0,986842$ , chegou-se ao cálculo amostral de 12 espécimes por grupo.

### Confeção dos Espécimes

Para a confecção dos espécimes, inicialmente determinou-se a massa de pó e líquido do CIV em balança de precisão analítica (Shimadzu, Japão), para padronizar o proporcionamento dos componentes do CIV. Para os grupos A e C (sem nanotubos de carbono), foram proporcionados 0,5 g do pó e 0,2 g do líquido. Para os grupos B e D (reforçados por nanotubos de carbono), foram proporcionados 0,49 g do pó, 0,01 g do nanotubo e 0,2 g do líquido.

Os CIVs foram manipulados de acordo com as recomendações dos fabricantes, em bloco de papel e com espátula metálica. O CIV manipulado foi inserido com auxílio de seringa Centrix em moldes plásticos, para a confecção de espécimes com proporções de 4 mm de espessura e 5 mm de diâmetro. Em seguida, realizou-se a pressão com matriz de poliéster e lâmina de vidro sobre a superfície do espécime para promoção de superfície reta e lisa. As superfícies expostas foram então protegidas com vaselina sólida.

Após a presa inicial (10 a 15 minutos), os espécimes foram removidos do molde plástico, protegidos com vaselina sólida e conservados em recipientes contendo água deionizada por 24 horas<sup>18</sup>. Após esse período, os espécimes foram fixados com cera pegajosa

**Tabela 1.** Valores médios de microdureza superficial para diferentes concentrações de NC – teste piloto. Valores em KHN

Grupos	Vidrion R	Vitro Molar
Sem nanotubos	53,2 ± 10,4	48,8 ± 1,5
Com nanotubos – 0,5%	45,7 ± 3,8	39,6 ± 1,9
Com nanotubos – 1,0%	37,1 ± 3,7	38,9 ± 1,1
Com nanotubos – 2,0%	34,5 ± 5,2	37,0 ± 4,1

em blocos de resina acrílica e tiveram as superfícies polidas por meio de máquina poltriz circular (EcoMet/AutoMet 250, Buehler, EUA), com lixas P4000 (Extec Corp, Enfield, CT, EUA).

### Dureza Superficial

Os corpos de prova foram submetidos à análise de dureza superficial com endentador tipo Knoop em microdurômetro digital (HMV-2, Shimadzu, Japão), utilizando-se força de 25 g e 30 segundos de tempo de endentação, pré-determinados em estudo piloto. Cinco medições foram realizadas na superfície de cada espécime, distanciadas entre si em 100 µm, e a média foi utilizada como resultado. Os dados obtidos foram registrados em unidade KHN.

### Análise Estatística

Os dados foram tabulados e submetidos à análise estatística para se determinar a influência da incorporação de nanotubos de carbono aos CIVs estudados. Foi utilizado, neste estudo, o teste ANOVA, tendo como variáveis o tipo de CIV utilizado e a incorporação de nanotubos de carbono. O teste de Tukey foi aplicado para se realizarem comparações múltiplas entre os grupos. O nível de significância foi de 5% ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADO

Houve diferença estatisticamente significativa entre os dois materiais ( $p=0,016$ ), de acordo com o teste ANOVA. O Vitro Molar apresentou maiores valores KHN ( $51,41 \pm 10,89$ ), em comparação ao Vidrion R ( $46,88 \pm 14,16$ ). A variável incorporação de NC também foi estatisticamente significativa de acordo com o teste ANOVA ( $p < 0,0001$ ). A inclusão de NC resultou em valores KHN menores que o grupo sem inclusão,  $38,9 \pm 6,60$  e  $59,90 \pm 6,73$ , respectivamente.

Os resultados das comparações múltiplas (Tukey) entre os quatro grupos estão apresentados na Tabela 2. É possível observar que não houve diferença estatisticamente significativa entre o Vidrion R e o Vitro Molar sem o nanotubo de carbono. Entretanto, o Vitro Molar apresentou valor significativamente maior de dureza superficial, quando comparado ao Vidrion R com nanotubo de carbono.

## DISCUSSÃO

O estudo teve por objetivo avaliar a influência dos nanotubos de carbono incorporados a dois tipos diferentes de cimentos de ionômero de vidro (alta viscosidade e convencional). A hipótese foi

**Tabela 2.** Valores médios de microdureza superficial e desvio padrão de cada grupo. Valores em KHN

Grupos	Vidrion R	Vitro Molar
Sem nanotubos	$58,96 \pm 8,29$ <sup>Aa</sup>	$60,84 \pm 4,91$ <sup>Aa</sup>
Com nanotubos	$34,81 \pm 5,78$ <sup>Ab</sup>	$41,97 \pm 5,45$ <sup>Bb</sup>

Letras sobreescritas maiúsculas representam diferenças estatísticas nas linhas. Letras minúsculas representam diferenças estatísticas nas colunas (Tukey,  $p < 0,05$ ).

testar se a incorporação dos nanotubos de carbono poderia melhorar as propriedades dos materiais quanto à microdureza superficial. Entretanto, os resultados observados revelam que a incorporação dos nanotubos de carbono, seja em cimentos de ionômero de vidro com alta viscosidade ou em cimentos de ionômero de vidro convencionais, influenciou negativamente a dureza superficial dos materiais analisados.

Pode-se verificar que há diferença estatisticamente significativa entre VM e VR, em que VM apresenta maiores valores. Este comportamento ocorre, pois as composições dos materiais são distintas, sendo o VM um CIV de alta viscosidade empregado em TRA, que suporta maiores esforços e confere maior resistência. O cimento de ionômero de vidro de alta viscosidade apresenta em sua composição partículas menores, porém em maior quantidade, resultando em proporção pó/líquido aumentada e, conseqüentemente, propriedades mecânicas melhoradas, o que suporta os resultados observados<sup>19,20</sup>.

Alguns estudos sugerem que os CIVs convencionais não sejam utilizados frequentemente como material restaurador devido à sua relativa precariedade em propriedades mecânicas, ao serem comparados a outros materiais restauradores<sup>1</sup>. Ambos os cimentos de ionômero de vidro (VM e VR) apresentaram menores valores de dureza superficial, quando analisados com a incorporação dos nanotubos de carbono. Uma das causas a serem exploradas é o comportamento dos nanotubos de carbono quando incorporados ao CIV, em que sua presença possa influenciar nas cadeias poliméricas, principalmente na fase de geleificação.

Yap<sup>21</sup>, em 2002, verificou que a microdureza superficial dos CIVs em 24 horas foi significativamente menor que em uma semana e, por sua vez, menor que em um mês, concluindo que o CIV endurece com o passar do tempo, devido à contínua formação de pontes de sais de alumínio após a fase de geleificação. As amostras deste estudo, que receberam ou não a inclusão de nanotubos de carbono, foram analisadas após 24 horas da confecção, sugerindo que a inclusão de nanotubos de carbono possa ter retardado o processo de geleificação dos CIVs, resultando em microdureza superficial reduzida.

Quando se compararam os quatro grupos analisados, o fator material possui diferença estatisticamente significativa somente quando da inclusão dos nanotubos de carbono. A incorporação dos nanotubos de carbono fragilizou o material analisado, podendo-se correlacionar aos estudos de inclusão de argilas modificadas ao CIV, os quais se desgastaram superficialmente em maior grau quando da inserção da argila<sup>22</sup>. Uma das justificativas foi a aglomeração das partículas, que diminuem a resistência em algumas áreas, podendo ter ocorrido o mesmo com os nanotubos de carbono nos CIVs, no presente estudo. A dispersão dos nanotubos em meio aquoso e a sua aglutinação ainda são comportamentos que requerem maior compreensão. Sabe-se que o tipo de solução em que este material é disperso influencia na sua distribuição na mistura<sup>23</sup>. Os presentes resultados se assemelham aos de Sakkar<sup>24</sup>, em que se concluiu que a incorporação de metais no CIV não é indicada para produzir nenhuma melhoria em propriedades como resistência à tração e tenacidade à fratura.

Estudos realizados com partículas de vidro incorporadas ao CIV concluíram que o fator tempo e a concentração do material incorporado influenciam nos resultados, sendo a fibra de vidro uma modificação positiva no CIV<sup>1,25</sup>, o que não foi constatado no presente estudo.

## CONCLUSÃO

Pôde-se concluir que a incorporação de nanotubos de carbono em CIV de alta viscosidade e CIV convencional influenciou negativamente na avaliação de microdureza superficial de ambos os materiais, após o período de 24 horas. Assim, novos estudos são

necessários, com a incorporação de nanotubos de carbono em formas distintas, como dispersão das partículas em alta velocidade, pois sua influência positiva pode ser encontrada. Outras análises estruturais, como microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de dispersão de energia, podem auxiliar na elucidação da dispersão dos nanotubos na mistura de CIV.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao financiamento oferecido pela Bolsa de Iniciação Científica CNPq/PIBIC cedida à Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo, SP, Brasil.

## REFERÊNCIAS

1. Hammouda IM. Reinforcement of conventional glass-ionomer restorative material with short glass fibers. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2009 Jan;2(1):73-81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2008.04.002>. PMID:19627810
2. Holmgren CJ, Lo EC, Hu D, Wan H. ART restorations and sealants placed in Chinese school children—results after three years. *Community Dent Oral Epidemiol*. 2000 Ago;28(4):314-20. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0528.2000.280410.x>. PMID:10901411
3. Zhang F, Xia Y, Xu L, Gu N. Surface modification and microstructure of single-walled carbon nanotubes for dental resin-based composites. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2008 Jul;86(1):90-7. <http://dx.doi.org/10.1002/jbm.b.30991>. PMID:18098184
4. Aoki N, Yokoyama A, Nodasaka Y, Akasaka T, Uo M, Sato Y, et al. Cell culture on a carbon nanotube scaffold. *J Biomed Nanotechnol*. 2005 Nov;1(4):402-5. <http://dx.doi.org/10.1166/jbn.2005.048>.
5. Kleverlaan CJ, van Duinen RN, Feilzer AJ. Mechanical properties of glass ionomer cements affected by curing methods. *Dent Mater*. 2004 Jan;20(1):45-50. [http://dx.doi.org/10.1016/S0109-5641\(03\)00067-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0109-5641(03)00067-8). PMID:14698773
6. Xie D, Brantley WA, Culbertson BM, Wang G. Mechanical properties and microstructures of glass-ionomer cements. *Dent Mater*. 2000 Mar;16(2):129-38. [http://dx.doi.org/10.1016/S0109-5641\(99\)00093-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0109-5641(99)00093-7). PMID:11203534
7. Zhan GD, Kuntz JD, Wan J, Mukherjee AK. Single-wall carbon nanotubes as attractive toughening agents in alumina-based nanocomposites. *Nat Mater*. 2003 Jan;2(1):38-42. <http://dx.doi.org/10.1038/nmat793>. PMID:12652671
8. Price RL, Waid MC, Haberstroh KM, Webster TJ. Selective bone cell adhesion on formulations containing carbon nanofibers. *Biomaterials*. 2003 May;24(11):1877-87. [http://dx.doi.org/10.1016/S0142-9612\(02\)00609-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0142-9612(02)00609-9). PMID:12615478
9. Kang S, Pinault M, Pfeifferle LD, Elimelech M. Single-walled carbon nanotubes exhibit strong antimicrobial activity. *Langmuir*. 2007 Ago;23(17):8670-3. <http://dx.doi.org/10.1021/la701067r>. PMID:17658863
10. Akasaka T, Watari F, Sato Y, Tohji K. Apatite formation on carbon nanotubes. *Mater Sci Eng C*. 2006 May;26(4):675-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2005.03.009>.
11. Yap AU, Pek YS, Kumar RA, Cheang P, Khor KA. Experimental studies on a new bioactive material: HA/Ionomer cements. *Biomaterials*. 2002 Feb;23(3):955-62. [http://dx.doi.org/10.1016/S0142-9612\(01\)00208-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0142-9612(01)00208-3). PMID:11774854
12. Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*. 1991 Nov;354(6348):56-8. <http://dx.doi.org/10.1038/354056a0>.
13. Fagan SB, Silva AJR, Mota R, Baierle RJ, Fazzio A. Functionalization of carbon nanotubes through the chemical bonding of atoms and molecules. *Phys Rev B*. 2003; 67(3):33405-8. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.67.033405>.
14. Bardi G, Tognini P, Ciofani G, Raffa V, Costa M, Pizzorusso T. Pluronic-coated carbon nanotubes do not induce degeneration of cortical neurons in vivo and in vitro. *Nanomedicine (Lond)*. 2009 Mar;5(1):96-104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nano.2008.06.008>. PMID:18693142
15. Lima MD, Bonadiman R, De Andrade MJ, Toniolo J, Bergmann CP. Synthesis of multi-walled carbon nanotubes by catalytic chemical vapor deposition using Cr<sub>2</sub>xFe<sub>x</sub>O<sub>3</sub> as catalyst. *Diamond Related Materials*. 2006; 15(10):1708-13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.diamond.2006.02.009>.
16. Wang W, Yokoyama A, Liao S, Omori M, Zhu Y, Uo M, et al. Preparation and characteristics of a binderless carbon nanotube monolith and its biocompatibility. *Mater Sci Eng C*. 2008 Ago;28(7):1082-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2007.04.038>.
17. Kim JW, Shashkov EV, Galanzha EI, Kotagiri N, Zharov VP. Photothermal antimicrobial nanotherapy and nanodiagnostics with self-assembling carbon nanotube clusters. *Lasers Surg Med*. 2007 Ago;39(7):622-34. <http://dx.doi.org/10.1002/lsm.20534>. PMID:17868103
18. De Caluwé T, Verduyck CW, Fraeyman S, Verbeeck RM. The influence of particle size and fluorine content of aluminosilicate glass on the glass ionomer cement properties. *Dent Mater*. 2014 Set;30(9):1029-38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2014.06.003>. PMID:25002141
19. Frankenberger R, Sindel J, Krämer N. Viscous glass-ionomer cements: a new alternative to amalgam in the primary dentition? *Quintessence Int*. 1997 Out;28(10):667-76. PMID:9477887.
20. Vieira IM, Louro RL, Atta MT, Navarro MFL, Francisconi PAS. O cimento de ionômero de vidro na Odontologia. *Rev Saúde Com*. 2006; 2(1):75-84.
21. Yap AU, Cheang PH, Chay PL. Mechanical properties of two restorative reinforced glass-ionomer cements. *J Oral Rehabil*. 2002 Jul;29(7):682-8. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2842.2002.00908.x>. PMID:12153459

22. Dowling AH, Fleming GJ. The impact of montmorillonite clay addition on the in vitro wear resistance of a glass-ionomer restorative. *J Dent.* 2007 Abr;35(4):309-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2006.10.002>. PMID:17125899
23. Ameen AA, Giordano AN, Alston JR, Forney MW, Herring NP, Kobayashi S, et al. Aggregation kinetics of single-walled carbon nanotubes investigated using mechanically wrapped multinuclear complexes: probing the tube-tube repulsive barrier. *Phys Chem Chem Phys.* 2014 Mar;16(12):5855-65. <http://dx.doi.org/10.1039/c3cp55530e>. PMID:24549246
24. Sarkar NK. Metal-matrix interface in reinforced glass ionomers. *Dent Mater.* 1999 Nov;15(6):421-5. [http://dx.doi.org/10.1016/S0109-5641\(99\)00069-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0109-5641(99)00069-X). PMID:10863443
25. Kawano F, Kon M, Kobayashi M, Miyai K. Reinforcement effect of short glass fibers with CaO- P(2)O(5) -SiO(2) -Al(2)O(3) glass on strength of glass-ionomer cement. *J Dent.* 2001 Jul;29(5):377-80. [http://dx.doi.org/10.1016/S0300-5712\(01\)00023-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0300-5712(01)00023-9). PMID:11472811

## CONFLITOS DE INTERESSE

---

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

## \*AUTOR PARA CORRESPONDÊNCIA

---

Eduardo Bresciani, Departamento de Odontologia Restauradora, UNESP - Univ Estadual Paulista, Avenida Engenheiro Francisco José Longo, 777, Jardim São Dimas, 12245-000 São José dos Campos - SP, Brasil, e-mail: [eduardob@fosjc.unesp.br](mailto:eduardob@fosjc.unesp.br)

Recebido: Maio 2, 2014  
Aprovado: Outubro 27, 2014