



EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO Y DE FIBRAS DE POLIETILENO EN LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE RESINAS COMPUESTAS

Recibido para Arbitraje: 27/09/2011

Aceptado para Publicación: 04/02/2014

Fernando LG Cruz, Rodrigo F Carvalho, Carlos Henrique T Batista, Hélio M Siqueira-Júnior, Master Student - Department of Restorative Dentistry, University Federal of Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brazil. **José Renato C Queiroz, Fabíola PP Leite**, DDS, MSc, PhD, Adjunct Professor - Department of Restorative Dentistry, Prosthodontics Area, Dental School, University Federal of Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brazil.

CORRESPONDENCIA:

Rua Pasterur, 164, apt 700 B, Santa Helena. CEP: 36015-420, Juiz de Fora - MG. Tel: +55 (32) 8874-2019 fernandolgacruz@yahoo.com.br

EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO Y DE FIBRAS DE POLIETILENO EN LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE RESINAS COMPUESTAS

RESUMEN

Evaluar la influencia de la polimerización complementaria y de la adición de fibras de polietileno en la resistencia a la flexión de resinas compuestas. Se confeccionaron 50 cuerpos de prueba con la ayuda de una matriz metálica articulada (ISO 4049). Las muestras se dividieron ($n=10$) en los siguientes grupos: G1 (grupo control) resina compuesta indirecta; G2 resina compuesta directa; G3 resina compuesta directa + tratamiento térmico; G4 resina compuesta directa + fibra de polietileno; G5 resina compuesta directa + fibra de polietileno + tratamiento térmico. Para evaluar la resistencia a la flexión se aplicó el test de tres puntos (célula de carga 9800N; velocidad 1,0 mm/min). Se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar las diferencias entre los grupos y el test de Dunnett para la comparación con el grupo control ($p<0,05$). La medida de tensión para el grupo control G1 fue la menor encontrada (100,49 MPa); G2 = 108,33 MPa; G3 = 124,29 MPa; G4 = 106,04 MPa y G5 = 124,08 MPa. El método de polimerización complementada con tratamiento térmico promovió un aumento significativo de la resistencia a la flexión ($p = 0,032$) de las resinas directas. La utilización de la fibra no mejoró el comportamiento de la resina directa ($p = 0,854$).

PALABRAS CLAVE: restauración dentaria, resistencia de materiales, tratamiento térmico.

EFFECT OF HEAT TREATMENT AND POLYETHYLENE FIBER IN FLEXURAL STRENGTH OF DENTAL COMPOSITES

ABSTRACT

To evaluate the influence of polymerization and the addition of supplementary polyethylene fiber on the flexural strength of composites. 50 bars (25x2x2mm) were prepared with a stainless steel mold (ISO 4049). The samples were divided ($n = 10$) in G1 (control group) indirect resin composite; G2 direct composite; G3 direct composite + heat treatment; G4 direct composite + polyethylene fiber; G5 direct composite + polyethylene fiber + heat treatment. For flexural test was applied to three points (9800N load cell, speed 1.0 mm/min). The analysis of variance (ANOVA) was applied to determine differences between groups and Dunnett's test for the comparison with the control group ($p < 0.05$). The strain average for the control group G1 was the lowest

found (100.49 MPa); G2 = 108.33 MPa; G3 = 124.29 MPa; G4 = 106.04 MPa; and G5 = 124.08MPa. The method of polymerization in autoclave additional significant increases in flexural strength ($p = 0.032$) of direct resins. But the use of fiber did not improve the performance of direct resin ($p = 0.854$).

KEY WORDS: DENTAL RESTORATION, STRENGTH OF MATERIALS, HEAT TREATMENT.

INTRODUCCIÓN

Se han desarrollado diversos sistemas de resinas compuestas para la confección de piezas protéticas unitarias como inlays y onlays. El refuerzo de fibras en la confección de prótesis adhesiva con tallados dentales totales o parciales de hasta tres unidades se realizan con la finalidad de ofrecer un material alternativo¹. Varias marcas comerciales y diferentes tipos de fibras de refuerzo han sido colocados a disposición de los profesionales.

El refuerzo de resinas compuestas con fibras se han descrito en la literatura desde hace 30 años². Aún con el surgimiento de cerámicas de infraestructura de alta resistencia a la fractura, las fibras aún representan una alternativa de tratamiento debido a su bajo costo, asociadas a las propiedades ópticas, con diferentes indicaciones en diversas áreas odontológicas^{3,4}. Magne⁵ demostró mediante el método de análisis de elemento finito, que la presencia de un componente resiliente de resinas reforzada con fibras, favorece a una mejor transferencia de tensiones en la interface adhesiva, al compararse a otros materiales como el oro, la alúmina y la zirconia. Otra ventaja del uso de resinas compuestas reforzadas en la posibilidad de reparación en caso de fracturarse la resina aplicada sobre la fibra⁶.

Desde que Bowen introdujo los materiales polímeros a la odontología en la década de los sesenta, a partir de la reacción entre monómeros vinílicos y epóxicos denominados Bis-GMA o bis-metacrilato de glicidilo, se han observado constantes evoluciones tanto en la composición de la matriz orgánica como en el tamaño y composición de sus partículas de carga⁷. Con la finalidad de aumentar la conversión y permitir la incorporación de niveles elevados de relleno, se utilizan fórmulas compuestas que incluyen uno o más monómeros de menor viscosidad como matriz, como el dimetacrilato de trietileno-glicol (TEGDMA, 286 g/mol), el dimetacrilato de uretano (UDMA, 470 g/mol), y/o el etoxilado bis-fenol metacrilato (Bis-EMA, 540 g/mol)⁷⁻⁹.

A pesar de tener la misma composición de matriz orgánica que las resinas directas, las indirectas presentan superiores propiedades mecánicas¹⁰ debido al alto grado de conversión de monómeros alcanzado gracias a la asociación de las técnicas de polimerización como la foto activación, el calor y/o el gas nitrógeno atmosférico, lo cual eleva el costo de las restauraciones. Otra ventaja de las resinas indirectas es la mayor estabilidad térmica cuando se las compara al curado de las resinas directas^{11,12}.

El uso de resinas compuestas directas en la confección de restauraciones indirectas es una alternativa para estas situaciones¹³. Sin embargo, para que este uso sea efectivo, se hace necesario el empleo de una polimerización adicional de las resinas directas^{14,15} para ayudar a formar mayor número de enlaces cruzados de la matriz orgánica, concediendo mejores propiedades mecánicas y químicas como estabilidad y rigidez¹¹. Este fenómeno se explica por el aumento del grado de conversión de las resinas sometidas al calentamiento próximo a la temperatura de transición vítrea de la interfaz polimérica (entre 125 y 150°C), durante una hora, permitiendo una mayor movilidad de los monómeros libres y mayor flexibilidad de las cadenas poliméricas, obteniendo nuevas reacciones en los radicales activados^{11,16,17}. Periodos mayores de tiempo en vez de generar mejores propiedades mecánicas, pueden causar decoloraciones en la resina y no se recomiendan^{11,18}. Otra ventaja promovida por el curado adicional mediante el tratamiento térmico es la evaporación de cerca del 1,3% de la porción orgánica de la matriz y la disminución de la liberación de monómeros libres, lo cual resulta en un

material con menos componentes, de pobres propiedades mecánicas y con mayor biocompatibilidad, pues los monómeros libres son sustancias ácidas y tóxicas para los tejidos vivos¹¹.

Se han sugerido el uso de autoclaves, estufas y microondas como forma de tratamiento térmico¹⁹ para la polimerización adicional. No se ha encontrado diferencias estadísticamente significativas al analizar los módulos de resistencia a la flexión en los resultados presentados por estas técnicas²⁰.

Los valores de resistencia a la flexión son frecuentemente usados para indicar el desempeño estructural de los materiales dentales, incluyendo las resinas compuestas^{19,21}. Ésta es una propiedad mecánica seleccionada por el ISO (4049)²² para clasificar los materiales resinosos, siendo propuesta como una manera de medir la fragilidad de los materiales²³. La prueba de resistencia a la flexión es la más indicada en las evaluaciones de resistencia de polímeros y de resinas reforzadas por fibras^{1,24}.

Teniendo en cuenta esta revisión, este trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto del tratamiento térmico y de la adición de fibras de polietileno entrelazadas en la resistencia a la flexión de resinas compuestas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales, fabricantes, composición química y clasificación utilizados en este trabajo se describen en la tabla (1).

Tabla 1
Descripción de los materiales utilizados en el estudio

| Uso | Marca/Fabricante | Color | Matriz | % de Carga Inorgánica (vol.) | Clasificación |
|-----------|---------------------------|-------|-------------------------------|------------------------------|---------------|
| Indirecto | Resilab, Wilcos de Brasil | A3 | Bis-GMA, BisEMA, UDMA, TEGDMA | 53% | Híbrida |
| Directo | Filtek Z250, 3M ESPE | A3 | Bis-GMA, TEGDMA, UDMA | 60% | Híbrida |

Fuente: Propia

Se utilizó una matriz metálica articulada para confeccionar 50 cuerpos de prueba en forma de barras (25x2x2 mm) de acuerdo con la norma ISO 4049²², 40 de resina compuesta directa fotopolimerizable (Filtek Z250, color A3, 3M/ESPE, Sumaré, SP, Brasil) y 10 de resina compuesta indirecta fotopolimerizable (Resin Lab, color A3, Wilcos de Brasil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil), siendo divididas en 5 grupos: G1 = Resina compuesta indirecta (grupo control); G2 = Resina compuesta directa; G3 = Resina compuesta directa + tratamiento térmico; G4 = Resina compuesta directa + Fibra de polietileno y G5 = Resina compuesta directa + fibra de polietileno + tratamiento térmico. Las resinas se insertaron en la matriz con la ayuda de una espátula en dos incrementos. Las barras de resina compuesta indirecta fueron polimerizadas inicialmente por 3 minutos, para luego ser sometidas a dos ciclos de 4 minutos en un horno Powerlux EDG 4x1, (EDG, San Carlos, SP, Brasil) de longitud de onda entre 400 y 500 nm. Las barras de resina compuesta directa fueron confeccionadas a doble incremento, los cuales fueron polimerizados en tres puntos diferentes (en las extremidades y al medio) con un aparato de luz halógena Optilux 501 (Demetron, Kerr, Orange, CA, EUA) con una irradiación media de 850 mW/cm².

Previamente a la polimerización del primer incremento (1 mm) y antes de la inserción del segundo incremento en los grupos G4 y G5, se adaptó manualmente sobre la resina

compuesta una fibra de 25 mm de polietileno entrelazado (Ribbond ® THM, Seattle, WA, EUA), de modo que quedase insertada y posicionada en el centro de la barra.

El pulido de los márgenes de la muestra se realizó con discos de óxido de aluminio soft-lex pop-on XT naranja oscuro (3M, Sumaré, SP, Brasil).

El tratamiento térmico en los grupos G3 y G5 se realizó en autoclave (Ortosíntese, São Paulo, SP, Brasil) en un ciclo de 134°C durante 7 minutos a 2,5 Kg/cm³.

Posteriormente las muestras fueron almacenadas protegidas de la luz a 25°C durante 14 horas, de acuerdo con el ISO 4049²².

Las barras fueron posteriormente sometidas al ensayo mecánico de resistencia a la flexión mediante el método de los tres puntos en la máquina de ensayo universal (EMIC DL-2000, São José dos Pinhais, PR, Brasil), con una célula de carga de 980 Kgf a una velocidad de 1 mm/min, para lo cual las muestras se posicionaron sobre un soporte a 20 mm de distancia entre las horquillas. Con la ayuda de un dispositivo especial ranurado, las muestras fueron sometidas a fuerzas de compresión hasta el momento de fractura o colapso al nivel del 15%.

La fuerza ejercida fue registrada en newtons (N) y la resistencia a la flexión transformadas a mega pascales (MPa) siguiendo la fórmula: $\sigma = 3Pl/2bd^2$, donde " σ " es la resistencia a la flexión; " l " la distancia entre los soportes; " b " el ancho del cuerpo de prueba; " d " la profundidad o grosor del cuerpo de prueba y " P " la carga máxima en el punto de fractura.

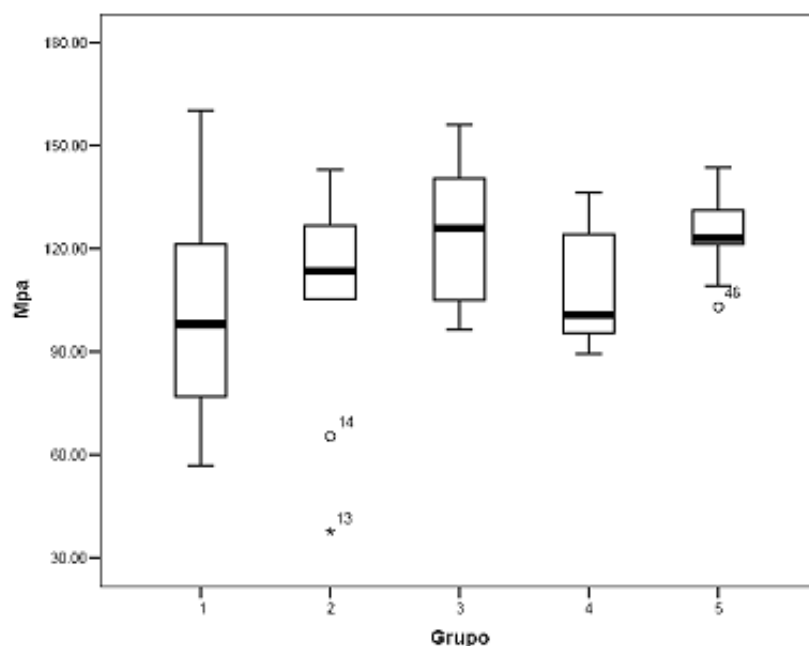
Los datos obtenidos a partir de las medias fueron analizados mediante el test de varianza a través del método de ANOVA, seguida por la prueba de Dunnett al nivel del 5,0 % de significancia estadística ($p < 0,05$).

RESULTADOS

La media de la tensión para el grupo control G1 fue la menor encontrada (100,49 MPa). Para G2 fue de 108,33MPa, G3 de 124,29 MPa; G4 de 106,04 MPa; y G5 de 124,08 MPa.

Los valores de resistencia a la flexión de todos los grupos están representados en la Figura 1 y en la Tabla 2.

Figura 1
Gráfico Box Plot para los cinco grupos



La prueba de Dunnett demostró significancia estadística entre el grupo control (G1) y el grupo sometido al tratamiento térmico con autoclave (G3) ($p = 0,032$). Sin embargo no se encontró significancia estadística entre el grupo control (G1) y el grupo que utilizó la fibra (G4) ($p = 0,854$). En el grupo con tratamiento térmico asociado a la fibra (G5) fue significativamente estadístico cuando se comparó al grupo sometido sólo con tratamiento térmico ($p=0,016$), pero no significativo cuando se compara al grupo sometido sólo al tratamiento térmico ($p = 1.0$).

Tabla 2
Media de la resistencia a la flexión y desviación estándar

| Grupos | Media de la Resistencia a la flexión en MPa | ±d.e. |
|-------------|---|-----------|
| G1 Controle | 100,49 | (33,64) a |
| G2 | 108,33 | (31.59) a |
| G3 | 124,29 | (20.32) b |
| G4 | 106,04 | (16.13) a |
| G5 | 124,08 | (12.12) b |

Fuente: Propia

Las letras diferentes indican significancia estadística.

DISCUSIÓN

La resistencia a la flexión puede interpretarse como una medida colectiva de fuerzas de tracción, compresión y cizallamiento²¹. El test de resistencia a la flexión de tres puntos basado en las dimensiones indicadas por la ISO 4049²², ha sido ampliamente utilizado debido a la pequeña desviación estándar, al menor coeficiente de variación y a la distribución de fatiga menos compleja^{19,23}. En situaciones de tensión, es necesaria una alta resistencia a la flexión para soportar las cargas masticatorias sin que se produzcan fracturas. Así este test es considerado como uno de los más infalibles para tener acceso al potencial de falla clínica de las resinas compuestas^{24,25}.

Las resinas compuestas directas poseen similar composición de matriz que las resinas compuestas indirectas, sin embargo estas últimas presentan propiedades mecánicas superiores¹⁰. Estudios más actuales demuestran que las nuevas resinas compuestas directas poseen mayores valores de resistencia a la flexión cuando se comparan a las resinas indirectas debido a la incorporación de materiales más resistentes dentro de su composición¹⁹.

En el presente estudio el tratamiento térmico realizado en autoclave aumentó la resistencia a la flexión de la resina compuesta directa, comparada a la resina compuesta indirecta ($p = 0,032$). Este resultado se encuentra respaldado en otros estudios^{19,26}. Se sabe que la temperatura durante el proceso de polimerización afecta la conversión y las propiedades de los polímeros^{11,16}. Este aumento de resistencia puede explicarse debido al aumento del grado de conversión de las resinas sometidas a temperaturas que se aproximan a la temperatura de transición vítrea por llevar a una mayor movilidad de los monómeros libres mediante la mayor flexibilidad de las cadenas poliméricas, posibilitando así nuevas reacciones en los radicales activados. Además de ello, durante el proceso de polimerización con calor adicional, ocurre la evaporación de cerca del 1,3% de la porción orgánica de la matriz¹¹. Esto proporciona un mayor número de enlaces cruzados en la

matriz orgánica, proporcionando mayor estabilidad y flexibilidad al compósito, aumentando además la resistencia a la fractura^{11,17}.

El compuesto UDMA presente en las resinas estudiadas posee mayor flexibilidad se sus moléculas debido a los débiles enlaces intermoleculares. Se ha demostrado que la sustitución parcial de los Bis-GMA por UDMA genera mayor conversión de monómeros, aumentando la resistencia a la flexión de las resinas compuestas^{7,9}.

Por otro lado, el TEGDMA se comporta como un agente de conexión, pues posee enlaces covalentes cruzados, lo que lo torna más rígido, consiguiendo además un efecto anti plastificante⁷.

En relación a las propiedades adquiridas por la composición química de los materiales, la presencia del uretano-dimetacrilato adicionado a la matriz de Bis-GMA mejora las propiedades mecánicas mediante su posterior polimerización. Esta asociación se encuentra presente en la resina compuesta directa evaluada, lo cual potencializa el efecto benéfico de aumentar el grado de conversión de monómeros⁸.

La resistencia de las resinas reforzadas con fibra está influenciada por diferentes factores: la orientación y calidad de las fibras, la impregnación de las fibras con la matriz resinosa, la adhesión a la matriz y las propiedades de la fibra y la matriz^{6,27,28}. La fibra de polietileno se compone de una malla flexible cuya superficie está tratada con un plasma de gas en frío con el propósito de aumentar la reactividad y la humectancia, optimizando las reacciones químicas y físicas con las resinas compuestas^{27,29}. A pesar del aumento de la humectancia, la fibra no mejoró los valores de resistencia a la flexión en este experimento, contradiciendo lo relatado por otros estudios^{29,30}. Las fibras de polietileno son citadas en la literatura como materiales de difícil humectabilidad y adherencia de la matriz resinosa²⁹. Schlichting et al.³¹ describió defectos de adhesión en la interfase entre la fibra y la resina, así como vacíos o fallas de penetración de la resina fluida entre la malla de las fibras, lo que pudo haber influenciado en los resultados del presente estudio.

La manipulación hecha con aparatos de vacío es importante para la inclusión de las fibras en resina, pues asegura la transferencia de carga, que a su vez disminuye las tensiones y mantiene la resina en un estado permanente de compresión²⁵. Behr y Colaboradores²⁷ evaluaron la influencia del contenido de la fibra en la resistencia a la flexión en resinas reforzadas por fibras, llegando a la conclusión de que el procesamiento al vacío o bajo presión no aumentó la resistencia a la flexión que cuando se realiza mediante la adaptación manual. Es así como se optó por la adaptación manual.

Aunque los estudios de polimerización adicional complementada con fibras en las resinas directas se relatan ampliamente en la literatura, aún no se encontró evidencia que evalúe estos dos procedimientos asociados al test de resistencia a la flexión.

Frente al tratamiento térmico adicional en autoclave, se observó una mejora en las propiedades mecánicas de resistencia a la flexión de las resinas compuestas, superando los valores obtenidos para el grupo control. Sin embargo esta mejora no fue encontrada cuando se añadió la fibra de polietileno entrelazada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Freilich M, Karmaker AC, Burstone CJ, Goldberg AJ. Development and clinical applications of a light-polymerized fiber-reinforced composite. *J Prosthet Dent* 1998; 80(3):311-318
2. Cacciafesta V, Sfondrini MF, Lena A, Scribante A, Vallittu PK, Lassila LV. Flexural strengths of fiber-reinforced composites polymerized with conventional light-curing and additional postcuring. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 132:524-527

3. Narva KK, Vallittu PK, Helenius H, Yli-Urpo A. Clinical survey of acrylic resin removable denture repairs with glass-fiber reinforcement. *Int J Prosthodont* 2001; 14:219-224
4. Karaman AI, Kir N, Belli S. Four applications of reinforced polyethylene fiber material in orthodontic practice. *Am J Orthod. Dentofacial Orthop* 2002; 121:650-654
5. Magne P, Perakis N, Belser UC, Krejci I. Stress distribution of inlay-anchored adhesive fixed partial dentures: a finite element analysis of the influence of restorative materials and abutment preparation design. *J Prosthet Dent* 2002; 87(5):516-527
6. Kallio TT, Lastumáki TM, Vallittu PK. Bonding of restorative and veneering composite resin to some polymeric composites. *Dent Mater* 2000; 16(1):80-86
7. Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomater* 2003; 24:655-665
8. Floyd CJ, Dickens SH. Network structure of Bis-GMA- and UDMA-based resin systems. *Dent Mater* 2006; 22:1143-1149
9. Pfeifer CS, Silva LR, Kawano Y, Braga RR. Bis-GMA co-polymerizations: Influence on conversion, flexural properties, fracture toughness and susceptibility to ethanol degradation of experimental composites. *Dental Mater* 2009; 25:1136-1141
10. Cesar PF, Miranda JR WG, Braga RR. The influence of shade and storage time on the flexural strength, flexural modulus, and hardness of composite used for indirect restorations. *J Prosthet Dent* 2001; 86(3):289-296
11. Bagis YH, Rueggeberg FA. The effect of post-cure heating on residual, unreacted monomer in a commercial resin composite. *Dent Mater* 2000; 16:244-247
12. Almeida CC, Mothé CG. Evaluation of dental composites using thermal analysis and scanning electron microscopy. *Polímer* 2009; 19:85-93
13. Moraes D, Rank RSIC, Imparato JSP. Restoration of primary molars with indirect restoration with composite resin. *RFO UPF* 2005; 10:51-54
14. Ferracane JL, Condon JR. Post-cure heat treatments for composite: properties and fractography. *Dent Mater* 1992; 8(5):290-295
15. Soares CJ, Pizi EC, Fonseca RB, Martins LR. Mechanical properties of light-cured composites polymerized with several additional post-curing methods. *Operat. Dent* 2005; 30:389-394
16. Cook WD, Simon GP, Burchill PJ, Lau M, Fitch TJ. Curing kinetics and thermal properties of vinyl ester resins. *J Appl Polym Sci* 1997; 64:769-781
17. Lovell LG, Lu H, Elliott JE, Stansbury JW, Bowman CN. The effect of cure rate on the mechanical properties of dental resins. *Dent. Mater* 2001; 17:504-511
18. Shinkai K, Suzuki S, Leinfelder KF, Katoh Y. How heat treatment and thermal cycling affect wear of composite resin inlays. *J Am Dent Assoc* 1994; 125(11):1467-1472
19. Borba M, Della-Bona A, Cecchetti D. Flexural Strength and Hardness of Direct and Indirect Composites. *Brazil Oral Reseas* 2009; 23:5-10

20. Arossi GA, Ogliari F, Samuel SMW, Busato ALS. Polimerização complementar em autoclave, microondas e estufa de um compósito restaurador direto. Rev Odonto Ciênc 2007; 22(56):177-180
21. Anusavice KJ. Phillips materiais dentários, Elsevier, Rio de Janeiro, 2005.
22. ISO 4049 (International Standards Organization), 'Dentistry: Polymer-based filling, Restorative and luting materials,' 2000
23. Kawano F, Ohguri T, Ichikawa T, Matsumoto N. Influence of thermal cycles in water on flexural strength of laboratory-processed composite resin. J Oral Rehabil 2001; 28:703-707
24. Yap AUJ, Teoh SH. Comparison of flexural properties of composite restoratives using the ISO and mini-flexural tests. J Oral Rehab 2003; 2: 171-177
25. Hirata R. Resistência flexural e módulo de elasticidade de resinas compostas e fibras de polietileno entrelaçada e polietileno. Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Odontologia Restauradora, Concentração em Materiais Dentários. Porto Alegre, nov. 2002
26. Miyazaki CL, Medeiros IS, Santana IL. Heat treatment of a direct composite resin: influence on flexural strength. Braz. Oral. Res 2009; 23:241-247
27. Beher M, Rosentritt M, Lang R, Hande LG. Flexural properties of fiber-reinforced composite using a vacuum/pressure or a manual adaptation manufacturing process. J. Dent 2000; 28:509-514
28. Dyer SR, Lassila LVJ, Jokinen MJ. Effect of cross-sectional design on the modulus of elasticity and toughness of fiber-reinforced composite materials. Prosthet. Dent 2005; 94:219
29. Vallittu PK. Experiences of using glass fibres with multiphase acrylic resin systems. Theoretical background and clinical examples. In: The First International Symposium on Fibre-Reinforced Plastics in Dentistry, Turku, Finland, 1999
30. Polyzois GL, Tarantili PA, Frangou MJ, Andreopoulos AG. Fracture force, deflection at fracture, and toughness of repaired denture resin subjected to microwave polymerization or reinforced with wire or glass fiber, J Prosthet Dent 2001; 86:613-619
31. Schlichting LH, Andrada MAC, Vieira LCC, Barra GMO, Magne P.. Composite resin reinforced with pre-tensioned glass fibers. Influence of prestressing on flexural properties. Dent Mat 2010; 26:118-125