Avaliação mecânica das cerâmicas IPS-Empress 2 e In-Ceram Zircônia

Mechanical Evaluation of All-Ceramic IPS Empress 2 and In-Ceram Zirconia

Flávia Regina MEDEIROS
Especialista e Mestranda em Reabilitação Oral pela Faculdade de Odontologia de Araraquara – Universidade Estadual Paulista – UNESP – Araraquara – SP – Brasil

Carolina de Andrade Lima CHAVES
Mestranda em Reabilitação Oral pela Faculdade de Odontologia de Araraquara – Universidade Estadual Paulista – UNESP – Araraquara – SP – Brasil

Max Von SCHALCH
Doutor em Reabilitação Oral pela Faculdade de Odontologia de Araraquara - Universidade Estadual Paulista – UNESP – Araraquara – SP – Brasil

Carlos Alberto dos Santos CRUZ
Professor Adjunto da Disciplina de Materiais Dentários – Faculdade de Odontologia de Araraquara – Universidade Estadual Paulista – UNESP – Araraquara – SP – Brasil

Resumo

O objetivo deste trabalho foi comparar a resistência à flexão em três pontos e a resistência à tração diametral do material de infra-estrutura dos sistemas cerâmicos IPS-Empress 2 (Ivoclar) e In-Ceram Zirconia (Vita). Para a realização do experimento, foram confeccionadas dez amostras de cada material para o ensaio de flexão (25mm x 5mm x 2mm) e 15 amostras para o ensaio de tração diametral (6mm x 3mm). Os testes foram realizados em equipamento MTS 810 (Material Test System - EUA), com célula de carga de 10kN e velocidade de 0,5mm/minuto. Os resultados, após testes estatísticos de Mann-Whitney, mostraram que o In-Ceram Zirconia (434,17 MPa) apresentou maior resistência à flexão em relação ao IPS-Empress 2 (230,80 MPa). Entretanto, observou-se maior resistência à tração diametral do IPS-Empress 2 (175,41 MPa) em relação ao In-Ceram Zirconia (151,11 MPa). Pode-se concluir que a relação entre as duas propriedades não é a mesma para os materiais estudados e que a decisão pela indicação de um material não pode ser baseada em apenas uma propriedade mecânica.

Unitermos

Materiais dentários; porcelana dentária; resistência à tração.

Introdução

A utilização de restaurações cerâmicas tem se constituído na principal alternativa de tratamento para reconstrução das estruturas dentárias perdidas. As coroas de porcelana sobre metal, embora largamente empregadas, constantemente apresentam problemas estéticos, particularmente na margem cervical, uma vez que as ligas metálicas interferem no fenômeno de reflexão. Este fato tem estimulado o desenvolvimento de sistemas totalmente cerâmicos, que visam permitir a confecção de trabalhos estéticos, mas com elevada resistência mecânica, de maneira semelhante à obtida com sistemas metalocerâmicos[23].

Assim, nas últimas duas décadas, surgiram materiais cerâmicos reforçados, por meio da adição ou precipitação de maior quantidade de fase cristalina, com diferentes composições e novas técnicas laboratoriais[1,8,17,20,28]. Em 1989, segundo Magne e Belser[19],

foi comercializado o sistema In-Ceram (Vita), processado pela técnica de dupla sinterização (s*lip casting*). Nesta técnica, é confeccionada, na primeira cocção, uma infra-estrutura de óxido de alumínio, sobre um troquel de revestimento. Esta infra-estrutura, depois de sinterizada, recebe a cobertura de uma mistura de pó de óxido de lantânio com água destilada, proporcionando, após a difusão decorrente da segunda queima, resistência à flexão ao redor de 430 MPa[1,19,24,26]. Posteriormente, foram desenvolvidos *copings* de óxido de magnésio (In-Ceram Spinel), mais estéticos, porém com resistência à flexão ao redor de 280 MPa[19,26], e de zircônio (In-Ceram Zirconia), menos estéticos e indicados para infra-estruturas de prótese parcial fixa, com resistência à flexão por volta de 630 MPa[1,24,26]. Embora com diferentes características e indicações, em função do processo laboratorial, todos estes materiais recebem a denominação genérica de cerâmica infiltrada por vidro.

Em 1998, a cerâmica IPS-Empress 2 (Ivoclar), reforçada por cristais de dissilicato de lítio, foi também comercializada para a confecção de infra-estruturas de prótese parcial fixa. Este material, processado por injeção, em moldes de revestimento obtidos pela técnica da cera perdida, apresenta resistência à flexão ao redor de 400 MPa[6,15] e, em função do processo laboratorial e da precipitação de fase cristalina durante o mesmo, esta vitro-cerâmica recebe a denominação genérica de cerâmica injetada ou vidro ceramizado.

A considerável variedade de sistemas cerâmicos disponíveis no mercado e sua inadequada nomenclatura, que se confunde entre composição e técnicas de processamento, têm estimulado a avaliação mecânica destes materiais, particularmente aqueles indicados para infra-estruturas.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi analisar a resistência à flexão em três pontos e a resistência à tração diametral dos materiais cerâmicos IPS-Empress 2 e In-Ceram Zirconia, com a finalidade de se obter parâmetros mais seguros para a indicação e o emprego dos mesmos.

Material e método

O quadro 1 apresenta a relação dos fabricantes, a composição básica e a forma de apresentação dos materiais estudados.

Para o ensaio de resistência à flexão em três pontos, foram confeccionados 10 corpos-de-prova para cada material, em forma de barra, a partir de matriz metálica retangular, com 25 mm x 5 mm x 2 mm (ISO 6872, 1994). Para o teste de resistência à tração diametral, foram confeccionados 15 corpos-de-prova para cada material, em forma de disco, a partir de matriz metálica cilíndrica, com 6 mm x 3 mm.

Os corpos-de-prova da cerâmica IPS-Empress 2 foram obtidos pelo método da cera perdida, iniciando-se pela produção de padrões diretamente nas matrizes metálicas. Em seguida, estes padrões receberam condutos de alimentação, sendo posteriormente fixados na base do anel fornecido pelo fabricante. Após a inclusão dos corpos-de-prova, em revestimento fosfatado que acompanha o produto (IPS Empress 2/ Ivoclar), o conjunto foi levado ao forno EDG-3000 (EDG, São Carlos, Brasil), com o objetivo de eliminar a cera e obter a expansão do molde. A temperatura foi elevada

Quadro 1 – Materiais cerâmicos para infra-estrutura utilizados neste estudo.

Material **Fabricante**	**Composição básica**	**Apresentação**
IPS-Empress 2 Ivoclar	dissilicato de lítio (70%, em volume)	lingotes simples (0,5g) lingotes duplos (1,3g)
In-Ceram Zirconia Vita	óxido de alumínio (65%, em massa) óxido de zircônio (35%, em massa) óxido de lantânio aglutinante aditivo	pó (frasco com 300g) pó (frasco com 25g) líquido (ampola com 5mL) líquido (frasco com 5mL)

à velocidade de 5°C por minuto até atingir 250°C, permanecendo nesta temperatura durante 30 minutos. Em seguida, a temperatura foi aumentada, na mesma velocidade, até atingir 850°C, permanecendo por mais uma hora nesta condição.

O lingote de 1,3g do IPS-Empress 2 foi posicionado na entrada do conduto de alimentação do anel de revestimento, sendo este conjunto levado ao forno EP-500 (Ivoclar) e aquecido automaticamente à velocidade de 60°C por minuto de uma temperatura inicial de 700ºC até atingir 920°C, permanecendo nesta por mais 20 minutos. Ao final deste ciclo, com o lingote cerâmico já plastificado, foi iniciada a etapa de injeção, pela aplicação de um êmbolo de alumina, o qual comprimiu a cerâmica com pressão de 0,4MPa para dentro do molde do revestimento. O conjunto foi removido do forno imediatamente após a injeção, resfriando lentamente até a temperatura ambiente. Os corpos-de-prova de IPS-Empress 2 foram desincluídos e submetidos ao jateamento com óxido de alumínio (100µm) no aparelho Biojato Master (Bioart). A remoção dos resíduos de revestimento foi obtida pela imersão dos corpos-de-prova em solução de ácido fluorídrico a 1% por 10 minutos, em aparelho de ultrasson.

Os corpos-de-prova da cerâmica In-Ceram Zirconia foram obtidos em matrizes elásticas, confeccionadas em silicone de adição. Para tanto, padrões em resina acrilíca Duralay (Reliance Manufacturing) foram inicialmente confeccionados, a partir das matrizes metálicas, e moldados com polivinilsiloxano Stern Tek (Stern Gold). As réplicas elásticas da matriz tiveram a finalidade de evitar fratura durante a retirada dos corpos-de-prova.

A massa cerâmica, para aplicação nos moldes e produção dos corpos-de-prova, foi formada pela mistura de 19g do pó do In-Ceram com 2,5mL do líquido aglutinante e 1 gota do aditivo, no aparelho de ultrasson Vitassonic II (Vita), até consistência homogênea. Pequenas porções desta massa foram aplicadas com pincel até o preenchimento do molde. Os corpos-de-prova foram retirados dos moldes elásticos e levados para a primeira sinterização no forno Inceramat II (Vita), por 10 horas a 1150ºC. Após este primeiro ciclo, os corpos-de-prova receberam a aplicação da massa cerâmica de óxido de lantânio, formada pela mistura fluida do pó do sistema com água destilada. A seguir, foram levados novamente ao formo Inceramat II, para o segundo ciclo de sinterização, permanecendo a 1140ºC por 3 horas e vinte minutos. Após o resfriamento, os excessos foram removidos com o auxílio de ponta diamantada e jateamento com óxido de alumínio (100µm) a 0,3MPa de pressão.

Os ensaios de resistência à flexão e à tração diametral foram realizados em equipamento MTS 810 (Material Test System – EUA), com célula de carga de 10 kN e velocidade de aplicação de 0,5 mm/min. Para o ensaio de flexão, os corpos-de-prova foram posicionados em uma mesa com dois apoios cilíndricos de 1,6mm de diâmetro, distantes 20mm entre si, e submetidos à ação de uma ponta ativa, também na forma cilíndrica, com diâmetro de 3,0mm, que possibilitou a aplicação da força no centro da porção superior do corpo-de-prova. A resistência foi calculada a partir da expressão ($\sigma = 3FL / 2wh^2$), onde: σ = resistência à flexão em três pontos (MPa), F= força máxima na fratura (N), L= distância dos apoios de suporte (mm), w= largura do corpo-de-prova (mm), h= espessura do corpo-de-prova (mm).

Para o ensaio de tração diametral, os corpos-de-prova foram posicionados em uma base metálica plana e submetidos à ação de uma ponta ativa também plana, que possibilitou força compressiva vertical ao longo do diâmetro do corpo-de-prova. A resistência foi calculada a partir da expressão ($\sigma_{td} = F / \pi rh$), onde: σ_{td} = resistência à tração diametral (MPa), F= força máxima na fratura (N), r= raio do corpo-de-prova (mm), h= espessura do corpo-de-prova (mm).

Resultado

Os valores obtidos nos ensaios de resistência à flexão e de resistência à tração diametral não apresentaram variâncias homogêneas, razão pela qual foram submetidos ao teste não paramétrico de Mann-Whitney, em nível de 5%, que mostrou diferenças estatisticamente significantes para as duas propriedades estudadas (respectivamente, p=0,0002 e p=0,0401). As tabelas 1 e 2 apresentam as medianas e os valores mínimos e máximos, estabelecidos para cada grupo experimental. Apresentam, também, por meio de letras minúsculas, as diferenças observadas no teste estatístico ($p < 0,05$).

Assim, a cerâmica In-Ceram Zirconia mostrou maior resistência à flexão (434,17 MPa) em relação à cerâmica IPS-Empress 2 (230,80 MPa). Contrariamente, a cerâmica IPS-Empress 2 mostrou maior resistência à tração diametral (175,41 MPa), em relação à cerâmica In-Ceram Zircônia (151,11 MPa).

Tabela 1 – Resistência à flexão das cerâmicas estudadas (MPa).

Material	Valor mínimo	Valor máximo	Mediana
IPS-Empress 2/Ivoclar	170,08	276,31	230,80 (b)
In-Ceram Zirconia/Vita	351,00	615,44	434,17 (a)

Medianas seguidas de letras minúsculas diferem significativamente entre si (p< 0,05)

Tabela 2 – Resistência à tração diametral das cerâmicas estudadas (MPa).

Material	Valor mínimo	Valor máximo	Mediana
IPS-Empress 2/Ivoclar	138,59	201, 69	175,41 (a)
In-Ceram Zirconia/Vita	90,68	235,46	151,11 (b)

Medianas seguidas de letras minúsculas diferem significativamente entre si (p< 0,05).

Discussão

Segundo Ban e Anusavice[3], as propriedades mecânicas representam importante fator que controla o desempenho e o sucesso clínico das restaurações dentárias. Normalmente, estresses complexos e simultâneos de compressão, tração e cisalhamento, induzidos pelas forças da mastigação, são desenvolvidos na estrutura dos materiais. Tais esforços, entretanto, podem ser mais facilmente compreendidos e interpretados, quando estudados isoladamente, a partir de ensaios laboratoriais. Para se avaliar a resistência limite dos materiais indicados para infra-estrutura, os testes de resistência à flexão e à tração diametral podem ser bastante adequados, pois reproduzem o modelo mecânico de estresses de compressão com resultantes internas de tração[3].

Os resultados de resistência à flexão deste estudo mostraram superioridade estatística para o material In-Ceram Zircônia, justificada, inicialmente, pela maior quantidade de fase cristalina. Entretanto, os valores numéricos observados, embora próximos aos descritos por Chong et al.[9] e Itinoche et al.[16], foram inferiores aos valores máximos apresentados na literatura (Apholt et al[1]; Guazzato et al.[13]; Yilmaz et al.[27]). É possível que a técnica de processamento laboratorial por dupla sinterização (*slip cast*), bastante minuciosa e sensível, particularmente durante a segunda cocção (infiltração da fase vítrea de óxido de lantânio), seja responsável por acentuada variação na quantidade de defeitos internos e conseqüente variabilidade na resistência mecânica do material. A utilização da tecnologia CAD-CAM, com usinagem de blocos cerâmicos industrialmente sinterizados, embora de custo elevado, pode ser mecanicamente mais vantajosa[1,8].

Diferentemente do material In-Ceram Zircônia, os resultados de resistência à flexão encontrados para a cerâmica de infra-estrutura IPS-Empress 2, embora estatisticamente inferiores, estão mais próximos aos observados na literatura (Drummond[10]; Guazzato et al.[12]). Esta menor variabilidade pode, também, ser justificada pela técnica de processamento laboratorial, uma vez que a injeção de blocos cerâmicos pré-sinterizados, mesmo com o crescimento cristalino observado durante o ciclo térmico, possibilita a formação de menores quantidades de defeitos internos, produzindo corpos-de-prova com menor variabilidade estrutural[12,13]. Podem comprovar esta observação, as menores variações apresentadas por este material.

Neste estudo, houve a tentativa de se relacionar as propriedades de resistência à flexão e resistência à tração diametral, já que ambas permitem que os corpos-de-prova sejam submetidos a resultantes de tração. Entretanto, em contraposição aos resultados do ensaio de flexão, a resistência à tração diametral do sistema IPS-Empress 2 foi estatisticamente superior em relação ao In-Ceram Zircônia. Apesar de ambos os testes apresentarem a atuação de forças compressivas com resultantes de tração, a geometria dos corpos-de-prova proporciona diferente localização para as mesmas[3]. Nos ensaios de resistência à tração diametral, o corpo-de-prova, em forma de disco, apresenta ponto de apoio na região inferior, diametralmente oposto à aplicação da força, concentrando

internamente as resultantes de tração. Nos ensaios de resistência à flexão em três pontos, o corpo-de-prova, em forma de barra, é apoiado pelas extremidades, concentrando superficialmente as resultantes na região inferior, oposta à aplicação da carga. Assim, pelo fato do material In-Ceram Zirconia ser mais susceptível a defeitos internos em relação ao material IPS-Empress 2, é possível que o primeiro seja mais vulnerável às resultantes do teste de tração diametral e, consequentemente, apresente menor resistência mecânica nesta propriedade[11]. Complementarmente, pode-se admitir que a maior espessura dos corpos-de-prova empregados nos ensaios de resistência à tração diametral tenha limitado a infiltração da fase vítrea de óxido de lantânio e tornado ainda menos homogênea a região interna do material. Do ponto de vista clínico, estruturas protéticas com grande volume podem apresentar desempenho mecânico inferior, em função da concentração localizada de defeitos internos, proporcionada pela técnica de dupla sinterização.

Os testes mecânicos utilizados neste estudo são estáticos, ou seja, mostram valores de resistência máxima, em situação imediata após a aplicação da carga. Por este motivo, não podem ser utilizados para prever o desempenho no longo prazo destes materiais. Além disso, materiais cerâmicos são friáveis e, sob uso, apresentam crescimento lento e progressivo de trincas internas, até a fratura catastrófica. Assim, torna-se também importante a avaliação dos ensaios dinâmicos, de resistência à fadiga, após ciclagem mecânica. A literatura pesquisada mostrou que estes estudos são caracterizados pela aplicação de cargas que simulam as condições mecânicas da cavidade bucal e promovem, em ambiente seco ou úmido, o declínio da resistência mecânica destes materiais[2,8,17,18].

Outra forma de se determinar o desempenho dos materiais restauradores é a pesquisa por meio de estudos longitudinais. Blatz[5]; Bindl, Mörmann[4]; Raigrodski et al.[21] e Sailer et al.[22] mostraram resultados clínicos favoráveis de coroas e próteses fixas confeccionadas com materiais totalmente cerâmicos. Entretanto, para os autores, o período de acompanhamento clínico ainda é curto, sendo necessário maior tempo para tomada de conclusões confiáveis a respeito dos sistemas totalmente cerâmicos[5,21].

Os resultados obtidos neste estudo mostraram que a relação entre as duas propriedades mecânicas estudadas não é a mesma para os dois materiais. Esta realidade foi também observada em estudos anteriores, quando foram comparadas resistência à flexão, resistência à tração diametral e resistência à fratura de sistemas totalmente cerâmicos[3,7,14,25,26]. Deste modo, fica claro que a decisão pela indicação de um material não pode ser baseada em apenas uma propriedade mecânica, estática ou dinâmica, mas após a avaliação comparativa de um conjunto delas. O ensaio de resistência à flexão reproduz de maneira mais próxima o modelo de infra-estruturas, porém, informações adicionais podem ser obtidas pelo ensaio de resistência à tração diametral. Estudos clínicos devem, também, ser analisados, pois fatores diversos influenciam a resistência mecânica e a longevidade das restaurações, diferindo em muitos aspectos das situações laboratoriais. Estudos *in vitro* são úteis para caracterização e comparação de comportamento mecânico, porém, em situações limite e como ponto de partida no entendimento dos mecanismos de falha dos materiais.

Conclusão

À vista dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

1 – Nos ensaios de resistência à flexão, houve superioridade estatística para o material In-Ceram Zirconia (434,17 MPa), em relação ao IPS-Empress 2 (230,80 MPa).;

2 – Nos ensaios de resistência à tração diametral, houve superioridade estatística para o material IPS-Empress 2 (175,41 MPa), em relação ao In-Ceram Zirconia (151,11 MPa).

Abstract

This study aims to evaluate the three-point flexural strength and diametral tensile strength of two all-ceramic systems: IPS-Empress 2 and In-Ceram Zirconia. For this experiment, ten bars and fifteen discs of each material were prepared for flexural strength and diametral tensile strength respectively. Flexural strength and diametral tensile strength were measured using a MTS 810 Material Testing System, with load cell of 10kN and crosshead-speed of 0.5mm/minute. After statistical analysis by Mann-Whitney ($p = 0.05$), the results showed that In-Ceram Zirconia (434.17 MPa) showed a higher flexural strength than IPS-Empress 2 (230.80 MPa). However, IPS-Empress 2 (175.41 MPa) showed higher diametral strength than In-Ceram Zirconia (151.11 MPa). Thus, this study concludes that the relationship between these two mechanical properties is not the same for both materials.

Uniterms

Dental materials; dental porcelain; tensile strength.

Referências

1. Apholt W, Bindl A, Lüthy H, Mörmann WH. Flexural strength of Cerec 2 machined and jointed In-Ceram-Alumina and In-Ceram-Zirconia bars. Dent Mater. 2001 May.;17(3):260-7.
2. Attia A, Abdelaziz KM, Freitag S, Kern M. Fracture load of composite resin and feldspathic all-ceramic CAD/CAM crowns. J Prosthet Dent. 2006 Feb;95(2):117-23.
3. Ban S, Anusavice KJ. Influence of test method on failure stress of brittle materials. J Dent Res. 1990 Dec.;69(12):1791-9.
4. Bindl A, Mörmann. An up to 5-year clinical evaluation of posterior In-Ceram CAD/CAM core crowns. Int J Prosthodont. 2002 Sep-Oct.;15(5):451-6
5. Blatz MB. Long-term clinical success of all-ceramic posterior restorations. Quintessence Dent Technol. 2002 Feb.;33(6):415-26.
6. Cattell MJ, Palumbo RP, Knowles JC, Clarke RL, Samarawickrama DY. The effect of veneering and heat treatment on the flexural strength of Empress 2 ceramics. J Dent. 2002 May.;30(4):161-9.
7. Cesar PF, Yoshimura HN, Miranda WG Jr, Miyazaki CL, Muta LM, Rodrigues Filho LE. Relationship between fracture toughness and flexural strength in dental porcelains. J Biomed Mater Res Part B. Appl Biomater. 2006 Aug.;78(2):265-73.
8. Chen HY, Hickel R, Setcos JC, Kunzelmann KH.. Effects of surface finish and fatigue testing on the fracture strength of CAD-CAM and pressed-ceramic crowns. J Prosthet Dent. 1999 Oct.;82(4):468-75.
9. Chong KH, Chai J, Takahashi Y, Wozniak W. Flexural strength of In-Ceram Alumina and In-Ceram Zirconia core materials. Int J Prosthodont. 2002 Mar/Apr.;15(2):183-8.
10. Drummond JL, King TJ, Bapna MS, Koperski RD. Mechanical property evaluation of pressable restorative ceramics. Dent Mater. 2000 May.;16(3):226-33.
11. Evans DB, O Brien WJ. Fracture strength of glass infiltrated-magnesia core porcelain. Int J Prosthodont. 1999 Jan/Feb.;12(1):38-44.
12. Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part I. Pressable and alumina glass-infiltrated ceramics. Dent Mater. 2004 Jun.;20(5):441-8.
13. Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics. Dent Mater. 2004 Jun.; 20(5):449-56.
14. Guazzato M, Albakry M, Swain MV, Ironside J. Mechanical properties of In-Ceram Alumina and In- Ceram Zirconia. Int J Prosthodont. 2002 Jul-Agos.;15(4):339-46.
15. Höland W, Schweiger M, Frank M, Rheinberger V. A comparison of the microstructure and properties of the IPS-Empress 2 and the IPS-Empress glass-ceramics. J Biomed Mater Res. 2000 Mar.;53(4):297-303.
16. Itinoche KM, Ozcan M, Bottino MA, Oyafuso D. Effect of mechanical cycling on the flexural strength of densely sintered ceramics. Dent Mater. 2006 Apr.;22(11):1029-34.
17. Kohorst P, Dittmer MP, Borchers L, Stiesch-Scholz M. Influence of cyclic fatigue in water on the load-bearing capacity of dental bridges made of zirconia. Acta Biomater. 2008;4(5):1440-7. Epub 2008 May 1.
18. Kohal RJ, Klaus G, Strub JR. Zirconia-implant-supported all-ceramic crowns withstand long-term load: a pilot investigation. Clin Oral Implants Res. 2006 Oct;17(5):565-71.
19. Magne P, Belser U. Esthetic improvements and in vitro testing of In-Ceram alumina and spinell ceramic. Int J Prosthodont.1997 Sept/Oct.;10(5):459-66.
20. McLean JW. Evolution of dental ceramics in the twentieth century. J Prosthet Dent. 2001 Jan.;85(1):61-6.
21. Raigrodski AJ, Chiche GJ, Potiket N, Hochstedler JL, Mohamed SE, Billiot S, et al. The efficacy of posterior three-unit zirconium-oxide-based ceramic fixed partial dental prostheses: a prospective clinical pilot study. J Prosthet Dent. 2006 Oct.;96(4):237-44.
22. Sailer I, Fehër A, Filser F, Gauckler LJ, Lüthy H, Hammerle CHF. Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. Int J Prosthodont. 2007 Jul-Aug.; 20(4):383-8.
23. Scherrer SS, De Rijk WG, Belser UC. Fracture resistance of human enamel and three all-ceramic crown systems on extracted teeth. Int J Prosthodont. 1996 Nov/Dec.;9(6):580-5.
24. Tinschert J, Zwez D, Marx R, Anusavice KJ. Structural reliability of alumina, feldspar, leucite, mica and zirconia-based ceramics. J Dent. 2000 Sept.;28(7):529-35.
25. Wagner WC, Chu TM. Biaxial flexural strength and identation fracture toughness of three new dental core ceramics. J Prosthet Dent. 1996 Aug.;76(2):140-4.

26. Wen MY, Mueller HJ, Chai J, Wozniak WT. Comparative mechanical property characterization of 3 all-ceramic core materials. Int J Prosthodont. 1999 June.;12(6):534-41.
27. Yilmaz H, Caputo AA, Li ZC, Zhao XY. Flexural strength and fracture toughness of dental core ceramics. J Prosthet Dent. 2007 Aug.;98(2):120-8.
28. Zeng K, Odén A, Rowcliffe D. Evaluation of mechanical properties of dental ceramic core materials in combination with porcelains. Int J Prosthodont. 1998 Mar/Apr.;11(2):183-9.

Recebido em 01/09/2008
Aprovado 14/10/2008

Correspondência:
Prof Dr. Carlos Alberto dos Santos Cruz
Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese - Faculdade de Odontologia de Araraquara -UNESP
Rua Humaitá 1680
Araraquara - SP
CEP 14801-903
Email: cruz @foar.unesp.br