

# Avaliação do desgaste abrasivo causado pelas cerâmicas Duceram e Vita em resinas compostas pelo método do disco retificado

## *(Evaluation of the abrasive wear caused by the ceramics Duceram and Vita in composite resins by the method of the ground disk)*

T. V. França<sup>1</sup>, E. C. Bianchi<sup>1</sup>, P. R. de Aguiar<sup>2</sup>, R. Y. Fusse<sup>1</sup>, R. E. Catai<sup>1</sup>, C. A. de Freitas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia de Bauru

Universidade Estadual Paulista - UNESP

C. P. 473, Bauru, SP, 17033-360

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia de Bauru

Universidade Estadual Paulista - UNESP

C. P. 473, Bauru, SP, 17033-360

<sup>3</sup>Departamento de Materiais Dentários, Faculdade de Odontologia de Bauru,

Universidade de S. Paulo - USP

### Resumo

O presente trabalho apresenta uma metodologia confiável e de execução rápida para a avaliação do desgaste abrasivo entre as cerâmicas Duceram e Vita nas resinas compostas Z-100 e Charisma. Estes materiais são amplamente utilizados nos consultórios e clínicas dentais para restaurações funcionais e estéticas dos dentes. Para avaliar o desgaste abrasivo entre os materiais, um disco dinâmico revestido com porcelana foi utilizado sobre um disco estático revestido com resina. Os resultados indicaram que a cerâmica Vita apresenta desgaste inferior a Duceram nas resinas analisadas.

**Palavras-chave:** desgaste abrasivo, agressividade, resina composta, materiais frágeis, porcelana.

### Abstract

*This work presents a fast and trustworthy methodology for the evaluation of the abrasive wear between the ceramics Duceram and Vita and the composites resins Z-100 and Charisma. These materials are widely used in dental clinics to restoration of function and aesthetics of the teeth. To evaluate the abrasive wear between the materials, a dynamic disk covered with ceramic was used contrary to a static disk covered with resin. The results showed that Vita presents an inferior wear against Duceram in the resins tested.*

**Keywords:** abrasive wear, composite resin, brittle materials, ceramics.

## INTRODUÇÃO

Os materiais atualmente utilizados em restaurações odontológicas deveriam sofrer desgaste semelhante ao esmalte dental, porém este fato não ocorre na prática, conduzindo de maneira precoce a substituição de restaurações confeccionadas com resinas compostas. A propaganda veiculada pelos fabricantes geralmente proclama enfaticamente que seus produtos possuem baixo nível de desgaste abrasivo. No entanto, não existe um método consagrado para a determinação do desgaste abrasivo entre os materiais plausíveis de contato como o próprio esmalte, as resinas compostas e as cerâmicas odontológicas. Nesse sentido, os estudos de novas técnicas para tratamentos odontológicos ficariam mais completos se fosse conhecido o desgaste provocado por estes materiais.

Na aplicação das cerâmicas e resinas compostas nos tratamentos dentais, é inquestionável que a situação ideal é

aquela em que a resina composta é desgastada de maneira semelhante a do esmalte dental.

Dentre os vários fatores determinantes do processo de desgaste abrasivo das cerâmicas e resinas compostas, encontram-se: as características físicas, químicas e mecânicas destes materiais, seus respectivos preparos cavitários, as condições de agressões a que elas forem submetidas, as dimensões, qualidade e homogeneidade das partículas de preenchimento (carga), tipo de matriz orgânica, dimensões da restauração, capacidade de união com os tecidos e suas características de superfície.

Para avaliar o desgaste abrasivo entre as cerâmicas de preenchimento e as resinas compostas, foram desenvolvidos métodos clínicos diretos e indiretos que requerem longos períodos de tempo para sua efetivação, e outros laboratoriais que fornecem resultados de forma mais rápida. No entanto, todos estes métodos têm sofrido críticas, não só pela sua

complexidade de planejamento e de execução, como pela dificuldade de comparação entre os resultados, devido às variações metodológicas diferentes.

Neste trabalho, uma nova metodologia confiável e de execução rápida foi utilizada para avaliar o desgaste abrasivo entre as cerâmicas Vita e Duceram e as resinas compostas Z-100 e Charisma.

O objetivo deste trabalho é estudar, por meio de uma metodologia confiável e de execução rápida, o desgaste provocado pelas cerâmicas Vita e Duceram nas resinas compostas Z-100 e Charisma a fim de se detectar o tipo mais recomendado para ser utilizado nas situações onde existe o contato entre esses materiais.

### *Propriedades mecânicas*

Vários trabalhos [1-3] mostram que cerâmicas muito frágeis à temperatura ambiente são plasticamente deformadas durante a abrasão.

Métodos de produção modernos dão resistência aos materiais cerâmicos pela incorporação de fases secundárias apropriadas. Fases secundárias como TiC na alumina [4], ZrO<sub>2</sub> na alumina ou até Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> [5, 6] podem aumentar a resistência à fratura substancialmente. A avaliação de dados experimentais indica que a dureza e a resistência à compressão de cerâmicas normalmente aumentam com o decréscimo do tamanho de grão, de acordo com o tipo de relacionamento "Hall-Petch". A resistência à fratura não segue a mesma relação, podendo ser independente de tal fator, de forma que ela aumenta até um máximo, permanecendo estável mesmo com um posterior aumento do tamanho de grão. De acordo com modelos teóricos, a resistência ao desgaste abrasivo é proporcional à resistência à fratura e dureza.

Fases secundárias, como os precipitados, podem ser importantes quanto à redução ao desgaste dos elementos microestruturais. Isto tem sido claramente demonstrado com metais. A inerente fragilidade das cerâmicas pode ser superada, ou pelo menos reduzida, por cerâmicas dispersas ou fases metálicas que são embutidas em matrizes frágeis de cerâmica. Um estudo realizado em 1982 [6], afirma que a resistência à fratura em cerâmicas pode ser aumentada por fases metaestáveis, ou por fases estáveis associadas com microtrincas.

A influência da porosidade foi estudada em experimentos de retificação da alumina com água destilada [7]. A alta resistência à abrasão foi favorecida pelo pequeno tamanho de grão e baixa porosidade. Um trabalho apontou o efeito da localização dos poros [3]. Poros no interior dos grãos promovem trincas dentro destes, enquanto poros nos contornos dos mesmos promovem trincas nessa região. Estes últimos podem resultar na saída de um ou vários grãos completos durante a abrasão.

Em 2000 [8], estudos avaliaram a influência da rugosidade superficial na resistência das porcelanas. Uma significativa correlação foi encontrada entre a rugosidade superficial e a resistência biaxial: quanto mais polida uma superfície, maior resistência apresentará o material. As diferenças na resistência

biaxial podem ser atribuídas à concentração de tensões de uma carga aplicada devido à rugosidade superficial causada por usinagem de acabamento ou ação química. Contudo, isto não é válido para a cerâmica Flexo Dentine, sendo que não foi afetada pelos diferentes tratamentos superficiais, devido, provavelmente, ao tamanho das partículas de leucite, as quais aparentemente induzem um estado de maior concentração de tensões que falhas superficiais e rugosidade da superfície. Concluiu-se então que a rugosidade superficial determina a resistência da porcelana, exceto onde a estrutura interna do material causa maior concentração de tensões que aquela causada pela combinação da rugosidade superficial e falhas na superfície.

Foi estudada uma análise teórica para predizer a tendência geral da resistência de peças retificadas, razão de remoção de material e força de retificação em termos da rigidez da máquina e parâmetros do rebolo na retificação de cerâmicas por múltiplos passes [9]. Concluiu-se que nesse método, a rigidez da máquina torna-se menos importante que na retificação por passe simples, em termos da razão de remoção do material e profundidade de corte. O efeito da rigidez da máquina diminui com o aumento do número de passes na retificação. Contudo essa rigidez parece não ter efeito significativo na resistência da peça retificada.

Trabalhos realizados em 2000 [10] apresentaram um estudo da força de corte e temperatura no processo de retificação descontínuo de cerâmicas, usando rebolos diamantados ranhurados. Os resultados experimentais mostraram que a temperatura de retificação descontínua é aproximadamente de 40 a 80% menor que a de retificação contínua, a qual pode reduzir o desgaste e a oxidação do rebolo. Uma faixa de temperatura para a retificação descontínua foi estabelecida, a qual pode servir como referência para o melhor design de rebolos ranhurados. A relação entre taxa de remoção de material, rugosidade superficial, tamanho de grão, profundidade de corte e velocidade do rebolo foram analisados. Verificou-se que a razão de remoção do material na retificação descontínua é maior que no processo contínuo. Contudo a rugosidade superficial neste último tipo de retificação é melhor que no processo descontínuo. Desse modo, a limitação do processo descontínuo é que cerâmicas de alta qualidade não podem ser usadas em aplicações de alta precisão.

Trabalhos recentes [11, 12] utilizaram o mesmo método do disco retificado [13] para a classificação de resinas compostas de acordo com a sua resistência ao desgaste abrasivo, utilizando, portanto, valores de agressividade para a comparação. Os resultados foram satisfatórios em relação ao que foi proposto e mostrou a adequação tanto do método, quanto do banco de ensaios.

## **METODOLOGIA**

O método utilizado para a avaliação do desgaste entre as resinas e as cerâmicas está baseado no estudo do comportamento da agressividade que é a capacidade de um material desgastar o outro. Para a determinação da agressividade, foi reproduzido e adaptado o método do disco retificado, desenvolvido em estudo realizado em 1991 [13].

O disco estático foi confeccionado em aço dúctil (ABNT 1020) e revestido em toda a sua circunferência com pequenos incrementos de resina e os polimerizando em seguida. A regularização da superfície da resina foi realizada com um rebolo de óxido de alumínio. Após este procedimento este disco foi pressionado sob uma força normal constante, através de uma carga pré-estabelecida contra a superfície do disco dinâmico que foi confeccionado em porcelana e retificado com um rebolo diamantado.

O valor do deslocamento do disco estático contra o disco dinâmico ( $\delta$ ) foi registrado ponto a ponto em função do tempo. Com esses dados foi construída uma curva de deslocamento, em função do tempo elevado a 2/3. Isto é feito para a obtenção do coeficiente angular da reta de regressão linear da referida curva conforme se pode observar na Fig. 1.

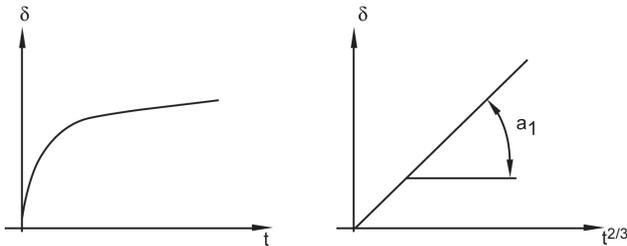


Figura 1: Curva do deslocamento em função do tempo e do deslocamento em função do tempo<sup>2/3</sup>.

[Figure 1: Curve of the displacement versus time and the displacement versus time<sup>2/3</sup>.]

O comportamento esperado dos valores obtidos de deslocamento quando o tempo é elevado a 2/3 deve ser uma reta, conforme visto acima, para que o método tenha validade.

Em trabalhos anteriores ao método do disco retificado [13], a agressividade era calculada pela derivada discreta da curva  $\delta(t)$ . Neste trabalho, porém, uma regressão linear foi feita para evitar os erros de aproximações causados pelos cálculos discretos.

Logo, com os dados da regressão, pode-se concluir que  $k$  é dado por:

$$k = \frac{2b\sqrt{4r}}{3F_n} (a_1)^{3/2} \quad (A)$$

onde  $k$  [mm<sup>3</sup>/N.s] representa a agressividade de uma resina contra outra (ou outro material),  $F_n$  [N] a força normal necessária para efetuar-se a remoção de material num determinado tempo,  $b$  [mm] a largura dos discos fixos,  $r$  [mm] o raio dos discos e  $a_1$  o coeficiente angular da reta de regressão linear.

Os testes foram divididos em quatro séries com um par disco dinâmico versus disco estático distinto, porém com o mesmo diâmetro externo. As séries estudadas estão mostradas na Tabela I.

Tabela I - Organização dos ensaios realizados.

[Table I - Organization of the tests carried through.]

Série	Diâmetro (mm)	Disco dinâmico	Disco estático
1 <sup>a</sup>	23,00	Duceram	Z-100
2 <sup>a</sup>	22,98	Duceram	Charisma
3 <sup>a</sup>	23,00	Vita	Z-100
4 <sup>a</sup>	22,98	Vita	Charisma

Foram utilizados dois discos fixos em cada série, sendo que cinco ensaios foram feitos em cada disco, somando assim dez ensaios.

Com dez ensaios sendo realizados em cada série e usando cinco regiões ao longo do comprimento dos discos dinâmicos (faixa de ensaios), cada região foi utilizada duas vezes. Portanto, a troca dos discos estáticos em cada série, dava-se na 3<sup>a</sup> faixa de ensaios da cerâmica, ao final do quinto ensaio, exatamente no meio do disco dinâmico. Essa disposição é apresentada na Tabela II.

Tabela II - Disposição das regiões de ensaios de cada série.

[Table II - Disposal of the regions of tests of each series.]

Número do ensaio	Região na cerâmica	Disco fixo	Região do disco fixo
1	1 <sup>a</sup> faixa	primeiro	1 <sup>a</sup>
2	1 <sup>a</sup> faixa	primeiro	2 <sup>a</sup>
3	2 <sup>a</sup> faixa	primeiro	3 <sup>a</sup>
4	2 <sup>a</sup> faixa	primeiro	4 <sup>a</sup>
5	3 <sup>a</sup> faixa	primeiro	5 <sup>a</sup>
6	3 <sup>a</sup> faixa	segundo	1 <sup>a</sup>
7	4 <sup>a</sup> faixa	segundo	2 <sup>a</sup>
8	4 <sup>a</sup> faixa	segundo	3 <sup>a</sup>
9	5 <sup>a</sup> faixa	segundo	4 <sup>a</sup>
10	5 <sup>a</sup> faixa	segundo	5 <sup>a</sup>

Com as posições do disco fixo e dinâmico já definidas, os seguintes procedimentos foram realizados em cada série: a) o disco dinâmico revestido com a porcelana Duceram foi colocado no eixo do cabeçote do motor e retificado de modo a ficar com 23 mm de diâmetro, dimensão igual ao do disco estático revestido com a resina Z-100; b) o rebolo foi recuado permitindo a montagem da balança onde foram fixados o disco estático e o sistema utilizado para medir o deslocamento da parte móvel de acordo com o desgaste; c) o sistema utilizado para medir o deslocamento foi conectado a um computador através de uma placa de aquisição de dados onde foram salvos os dados de tempo e deslocamento em tempo real; d) os dois

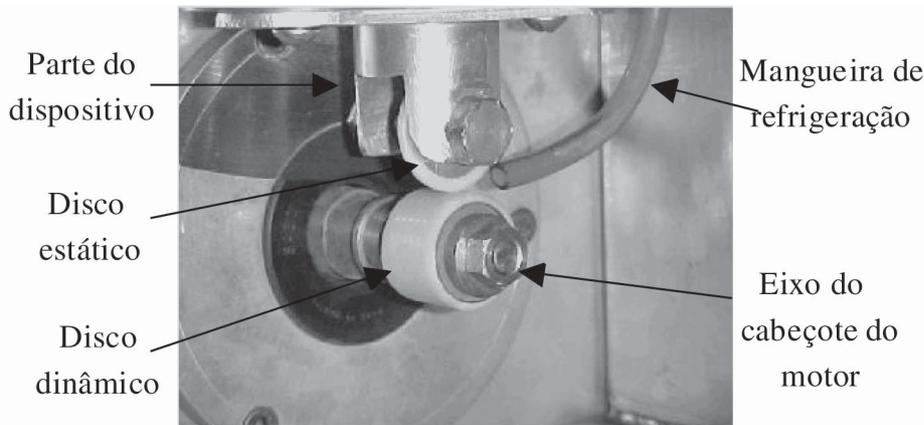


Figura 2: Vista dos dois discos em contato (posição inicial do ensaio).  
 [Figure 2: View of two disks in contact (initial position of the test).]

discos foram encostados e o disco dinâmico movimentado por um motor do cabeçote (60 Hz).

Na Fig. 2 pode-se observar a balança onde se encontra o disco estático acoplado ao cabeçote do motor com os discos em contato (posição inicial de cada ensaio).

Após o final dos ensaios fez-se a verificação dos resultados a fim de se obter um meio de comparação adequado entre o comportamento das duas cerâmicas.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Foi determinado que o intervalo de deslocamento utilizado seria referente ao comportamento próprio de cada ensaio e, portanto, o limite máximo aceito para a montagem dos gráficos foi determinado quando os valores de deslocamento começaram a se estabilizar. Este procedimento foi repetido para cada ensaio.

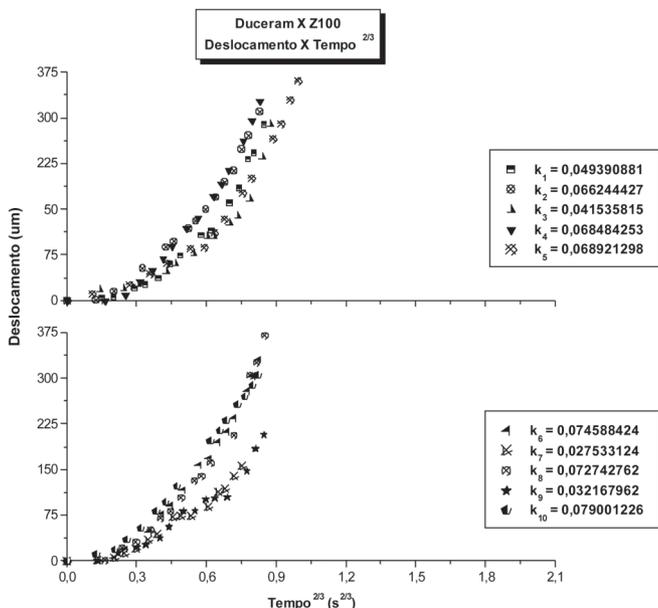


Figura 3: Duceram X Z-100, deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>.  
 [Figure 3: Duceram X Z-100, displacement versus time<sup>2/3</sup>.]

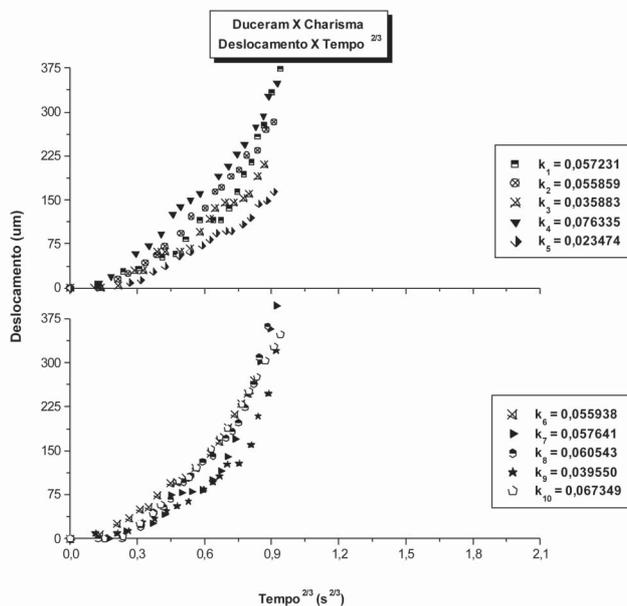


Figura 4: Duceram X Charisma, deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>.  
 [Figure 4: Duceram X Charisma, displacement versus time<sup>2/3</sup>.]

Posteriormente padronizou-se o número de medidas para cada série como sendo o menor valor de dados experimentais obtidos nas séries ensaiadas e deste modo foram obtidos gráficos de deslocamento versus tempo<sup>2/3</sup> para cada série de ensaios. Os gráficos dos ensaios estão expostos a seguir, com os valores de agressividade k, em [mm<sup>3</sup>/N.s], para cada ensaio.

Pelos gráficos, é possível perceber que nas séries onde foi utilizada a cerâmica Duceram (Figs. 3 e 4), as curvas de valores referentes a cada ensaio estão muito diferentes das respectivas retas de regressão linear. Isto ocorre devido ao próprio comportamento da cerâmica, pois esta é tão agressiva que acarreta em um desgaste da resina muito acelerado, como é possível perceber pela diferença entre a ordem de grandeza dos valores de tempo dos ensaios realizados entre a porcelana Charisma e Vita (Figs. 3 a 6). Esse desgaste acelerado acaba tornando inválida a determinação da sua agressividade pelo

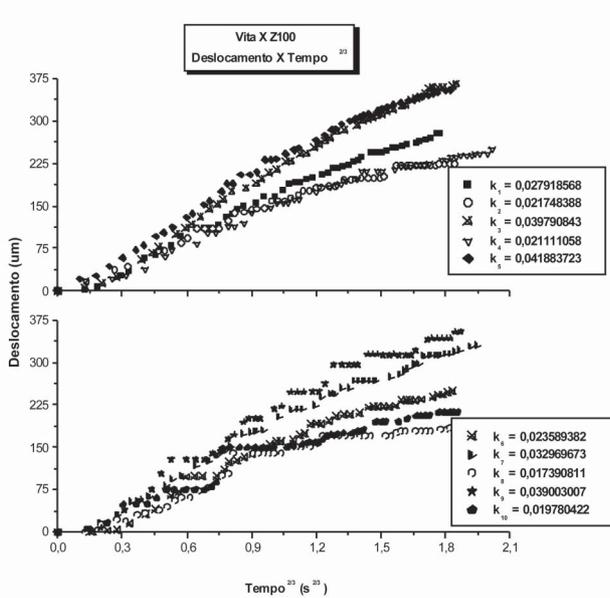


Figura 5: Vita X Z-100, deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>.  
[Figure 5: Vita X Z-100, displacement versus time<sup>2/3</sup>.]

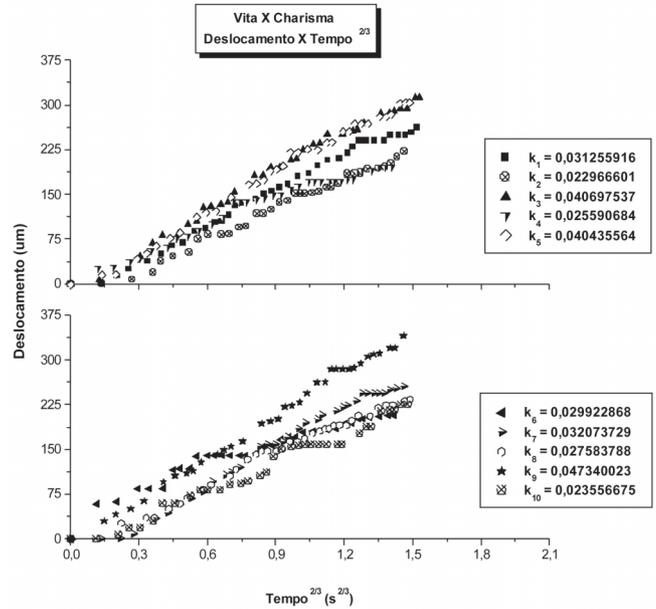


Figura 6: Vita X Charisma de deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>.  
[Figure 6: Vita X Charisma, displacement versus time<sup>2/3</sup>.]

método proposto, já que o comportamento típico previsto era de estabilização do deslocamento pelo aumento da área de contato, fato esse que não ocorreu (Fig. 1).

Já os comportamentos dos ensaios realizados com a cerâmica Vita (Figs. 5 e 6) se tornaram mais confiáveis pela perfeita adequação ao típico resultado do método do disco retificado.

Existe, no entanto, uma diferença entre os ensaios pares e ímpares, pois foram realizados dois testes em cada faixa do disco de cerâmica. Nos ensaios pares esta faixa já tinha sido utilizada e, portanto, sua capacidade de desgaste era menor do que nos ensaios ímpares onde esta região do disco dinâmico estava recém retificada. Assim, os resultados dos ensaios pares e ímpares devem ser tratados diferentemente.

Implicitamente, sabe-se que a cerâmica Duceram tivera o seu comportamento extremamente agressivo de forma que a cerâmica Vita, por possuir uma capacidade de desgaste menor, é a mais indicada para a utilização quando houver contato com as resinas. No entanto, concentrando-se nos ensaios pares, onde o poder de desgaste é menor, pode-se obter um gráfico de agressividade média junto com o desvio-padrão (Fig. 7).

Pode-se notar que na Fig. 7 os ensaios com a cerâmica Duceram obtiveram valores bem altos de agressividade e desvio padrão em relação à cerâmica Vita. Este gráfico deve ser estudado de forma qualitativa, ou seja, no que se refere ao comportamento de uma cerâmica em relação à outra, para que possa ser realizada a comparação proposta neste trabalho.

Para o cálculo da agressividade média e desvio-padrão, foram utilizados somente valores de agressividade com coeficientes de correlação acima de 95%.

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitiram concluir que a melhor opção entre as cerâmicas será a Vita, pois esta possui um menor

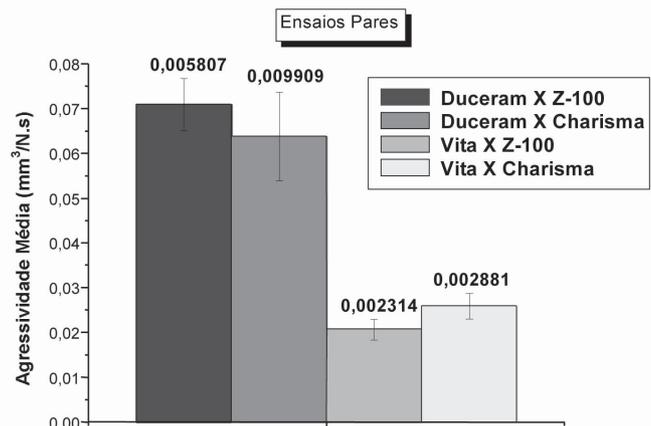


Figura 7: Agressividade média e desvio-padrão para ensaios pares.  
[Figure 7: Average aggressiveness and standard deviation for pair assays.]

poder abrasivo, e assim provoca um menor desgaste da região de contato cerâmica/resina, na cavidade bucal.

O banco de ensaios revelou-se uma boa ferramenta para a determinação da agressividade entre resinas e porcelanas. Podendo ser utilizado como base para diversos trabalhos nesta área, como a classificação de resinas compostas ou industriais no mercado atual, e até estudar a influência das diferentes polimerizações na resistência ao desgaste das resinas.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro e pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica.

## REFERÊNCIAS

- [1] R. L. Aghan, R. McPherson, Mechanism of material removal during abrasion of rutile, *J. Am. Ceram. Soc.* **56**, 1 (1973) 46-47.
- [2] I. A. Cutter, R. McPherson, Plastic deformation of  $Al_2O_3$  during abrasion, *J. Am. Ceram. Soc.* **56**, 5 (1973) 266-269.
- [3] R. W. Rice, Machining surface work hardening, and strength of MgO, *J. Am. Ceram. Soc.* **56**, 10 (1973) 536-541.
- [4] R. P. Wahi, B. Ilschner, Fracture behavior of composites based on  $Al_2O_3$  - TiC, *J. Mater. Sci.* **15**, 4 (1980) 875-885.
- [5] N. Claussen, Fracture toughness of  $Al_2O_3$  with an unstabilized  $ZrO_2$  dispersed phase, *J. Am. Ceram. Soc.* **59**, 1-2 (1976) 49-51.
- [6] N. Claussen, Umhandlungsverstärkte keramische Werkstoffe, *Z. Werkstofftech.* **13** (1982).
- [7] A. Pearson, J. E. Marhanka, G. Maczura, L. D. Hart, Dense abrasion resistant 99,8% alumina ceramic, *Alcoa Tech. Rep.* (1967).
- [8] N. Jager, A. J. Feilzer, C. L. Davidson, The influence of surface roughness on porcelain strength, *Dental Materials* **16**, 6 (2000) 381-388.
- [9] B. Zang, F. Yang, J. Wang, Z. Zhu, R. Monahan, Stock removal rate and workpiece strength in multi-pass grinding of ceramics, *J. Mater. Process. Tech.* **104** (2000) 178-184.
- [10] K. W. Lee, P. K. Wong, J. H. Zhang, Study on the grinding of advanced ceramics with slotted diamond wheels, *J. Mater. Process. Tech.* **100**, 1-3 (2000) 230-235.
- [11] E. C. Bianchi, E. J. Silva, R. D. Monici, C. A. Freitas, A. R. R. Bianchi, Development of new standard procedures for the evaluation of dental composite abrasive wear, *Wear* **253**, 5-6 (2002) 533-540.
- [12] E. C. Bianchi, P. R. Aguiar, M. R. Poggi, M. H. Salgado, C. A. de Freitas, A. R. R. Bianchi, Estudo do desgaste abrasivo das resinas compostas disponíveis no mercado brasileiro, *Mater. Res.* **6**, 2 (2003) 255-264.
- [13] R. T. Coelho, Estudo experimental da propriedade de dressagem de rebolos na retificação de precisão usando o método do disco retificado, *Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de S. Carlos, USP, S. Carlos* (1991).  
(*Rec. 11/06/03, Rev. 26/01/04, Ac. 20/02/04*)