

**Artigo Original**

recebido: 07/11/1997 e aceito em 16/09/1999

**Desenvolvimento de uma  
metodologia para avaliação  
do desgaste abrasivo de  
resinas compostas**

*Development of a methodology  
to assessing the abrasive wear  
of composed resins*

**A.R.R. Bianchi**

Aluna do Programa de Doutorado em Dentística,  
Opção Materiais Dentários  
Faculdade de Odontologia de Bauru - USP - SP

**C.A. Freitas**

Professor Doutor do Departamento de Dentística,  
Opção Materiais Dentários  
Faculdade de Odontologia de Bauru - USP - SP

**E.C. Bianchi**

Professor Adjunto  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Universidade Estadual Paulista - Bauru - SP  
e-mail: bianchi@bauru.unesp.br

**A.P. Dias**

Engenheiro Mecânico  
Universidade Estadual Paulista - Bauru - SP

**E.J. Silva**

Aluno do Programa de Mestrado em Engenharia  
Industrial - Universidade Estadual Paulista - Bauru - SP

**Resumo**

Este trabalho apresenta uma nova metodologia e um banco de ensaios para a avaliação do desgaste de resinas compostas em laboratório, simulando-se o desgaste abrasivo de restaurações dentárias em pacientes através da realização de testes padronizados assistidos por computador. O método proposto para a determinação do desgaste de resinas compostas é baseado no estudo do comportamento da agressividade da superfície de restaurações dentárias (capacidade em remover material) com as resinas, sendo que as resinas compostas testadas foram a Herculite® e a APH®. Através da metodologia empregada verificou-se a maior resistência da resina APH® frente à Herculite®. Da análise estatística pode-se concluir que o método desenvolvido apresenta valores reduzidos de variabilidade. Como aplicação prática, este método possibilitará a avaliação da resistência ao desgaste de vários tipos de materiais, podendo auxiliar em pesquisas, agilizando a avaliação da resistência à abrasão das resinas compostas.

**Palavras-chave:** Abrasão, Agressividade, Resinas compostas.

**Abstract**

*This paper presents a new methodology and a test bed for the evaluation of the abrasive wear of composed resins in laboratory. The wear by mechanical erosion of dental restorations in patients is simulated through the accomplishment of standardized tests assisted by computer. The method proposed for the determination of the abrasive wear of composed resins is based on the study of the behavior of the sharpness (capacity in removing material) of the surface of dental restorations with the resins. The tested composed resins were Herculite™ and APH™. Through the used methodology, it was observed that the resin APH™ shows larger wear resistance than Herculite™. By the statistical analysis, it can be concluded that the developed method presents results with reduced variability. As practical application, this method will make possible the evaluation of the resistance to the abrasive wear of several types of materials, could aid in research, allowing the assessment of the resistance to abrasion of the composed resins.*

**Keywords:** Abrasive wear, Composed resins, Sharpness.

## Introdução

O desejo pelo *corpus sano* fez com que a medicina se desenvolvesse e se especializasse. Assim, o conhecimento sobre o próprio corpo tornou-se tão extenso que era impossível o mesmo ser dominado completamente. A medicina foi dividida em diversas áreas para continuar a ampliação de técnicas e conhecimentos.

Uma delas é a odontologia, que se ateu à saúde bucal dos seres. No início se executava, simples e literalmente, a extirpação dos males *pela raiz*. Com a evolução e desenvolvimento de novas técnicas, conhecimentos, materiais e equipamentos, os dentes passaram a ser recuperados através de materiais restauradores. Apesar da evolução atingida, a exigência humana necessitava de algo imperceptível; ou seja, um material que se confundisse com o dente. Para tanto, os materiais restauradores deveriam ser melhorados. Iniciaram-se, então, pesquisas sobre novos materiais. Os materiais que mais se destacaram foram as resinas compostas, que atualmente dominam o mercado odontológico, sendo usadas em restaurações dentárias em todo o mundo. O principal fator que leva à sua utilização é o caráter estético, esquecendo-se muitas vezes do fator durabilidade e resistência.

Os fabricantes de materiais odontológicos, com o advento das resinas compostas, desenvolveram uma grande variedade das mesmas, visando a substituição da parte perdida do dente com uma estética cada vez mais superior e com o menor índice de desgaste possível. Cada uma dessas resinas desenvolvidas, até a atualidade, tem um comportamento específico; em algumas semelhante, em outras totalmente distinto.

Segundo De Gee *et al.* (1986) o comportamento do desgaste das resinas compostas é o resultado da combinação entre o seu desgaste abrasivo e as reações químicas que ocorrem na cavidade bucal, que por sua vez podem acelerar o processo de desgaste. Este desgaste é de grande importância na caracterização das resinas como material restaurador, especialmente quando usadas para suportar grandes pressões. Conforme Phillips (1993) o desgaste de resinas compostas é agravado pelo contato e atrito mecânico da área restaurada com o dente antagonico, ou com uma restauração antagonica, do que com o bolo alimentar. Isto demonstra a preocupação, entre os pesquisadores da área odontológica, quanto a análise do desgaste das resinas compostas, por tratar-se de uma quantificação que apresenta grandes dificuldades de serem realizadas.

Em 1986, a organização American Dental Association (ADA) relatou que ainda eram muito limitadas as

informações de longo prazo do desempenho clínico da resina composta em dentes posteriores e que seu Conselho havia classificado algumas marcas deste material como “provisoriamente aceitáveis” para dentes permanentes, e que as linhas mestras de alguns limites anteriormente estabelecidos estavam sendo reavaliadas. Terminava alertando que a resina composta apresentava realmente desgaste oclusal, que os contatos proximais com ela eram difíceis de se obter, que haviam evidências de seu desgaste proximal e que a classe odontológica deveria estar ciente de que existiam uma quantidade muito limitada das informações acima descritas.

Atualmente, o desgaste das resinas compostas é determinado clinicamente através da inserção do material na cavidade dentária de pacientes previamente selecionados. Após alguns meses, os pacientes retornam e a perda de material é determinada através de uma nova moldagem do dente e da comparação com a moldagem realizada no início do tratamento. Este método, além de ser impreciso, apresenta alguns inconvenientes, pois a frequência de retorno dos pacientes é incerta. Também algumas variáveis relacionadas às reações químicas, dependendo de cada paciente, como hábito alimentar, variação na forma de mastigação, influência do PH da cavidade bucal, dentre outros, dificultam a análise imparcial do tipo da resina composta, em relação ao seu desgaste. Assim, os resultados obtidos pelo método tradicional são de difícil interpretação tornando as conclusões imprecisas. Isto é confirmado por um estudo realizado por Wassell *et al.* (1994) no qual afirmaram que o desgaste dos materiais restauradores é fenômeno complexo que envolve componentes abrasivos, adesivos, de fadiga e de corrosão; lembraram que os estudos clínicos acerca deste desgaste consomem muito tempo, além de terem um alto custo; e que nenhum dos numerosos testes *in vitro* desenvolvidos para se antecipar o desempenho clínico dos materiais tem se mostrado totalmente adequado para este objetivo. Apontaram que uma importante dificuldade, nos testes pertinentes do tipo dois-corpos era que se o esmalte fosse usado como o agente de abrasão, suas características físicas e morfológicas variavam de um espécime para outro; considerando ainda que a forma do agente de abrasão era também um fator de importante influência neste processo, afirmaram que, num esforço para vencer os problemas de heterogeneidade dos espécimes de esmalte e da concentração de esforços nas arestas de espécimes cilíndricos.

Para avaliar o desgaste abrasivo deste material

restaurador estão relatados, na literatura específica, métodos clínicos (de complexo planejamento e execução) que requerem longos períodos de tempo para sua efetivação, e outros laboratoriais (alguns destes mais simples e outros as vezes tão complexos quanto os clínicos), que fornecem resultados de forma mais rápida. Todos estes métodos têm sofrido críticas, não só pela sua complexidade de planejamento (principalmente) e de execução, como também pela dificuldade de comparação de seus resultados, dadas as variações metodológicas extremamente diferentes. Conseqüentemente, seria importante (para os clínicos, pesquisadores e fabricantes) que surgisse um método laboratorial de avaliação, confiável e de execução rápida, mesmo que complexa. Logicamente, estudos clínicos de longo tempo deveriam ser efetuados, para confirmação daqueles resultados anteriores, obtidos em testes laboratoriais.

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma nova metodologia e de um banco de ensaios para a avaliação do desgaste abrasivo de resinas compostas em laboratório, de forma rápida, precisa e controlada, simulando-se o desgaste de restaurações em pacientes.

### **Método para a determinação do desgaste de resinas compostas**

De acordo com a ASM (1995), existem vários mecanismos de desgaste. De um modo geral, pode-se classificar os tipos de desgaste em quatro categorias.

**Desgaste por aderência:** O desgaste por aderência se verifica quando duas superfícies são pressionadas e submetidas ao deslizamento relativo. Nesse caso, ocorrem colisões de asperezas (rugosidade superficial), que podem se soldar, formando uma ligação. Assim, no lado da junção que possuir menor resistência mecânica poderá ocorrer a fratura (ou a deformação plástica) de uma das asperezas, resultando em transferência de material de uma das superfícies para a outra. Quando a carga aplicada às superfícies é baixa, é comum a formação de uma camada de óxido, como conseqüência do aquecimento causado pelo atrito de escorregamento. Esta camada de óxido dificulta a formação da ligação entre as asperezas, resultando em baixas taxas de desgaste. Esta forma de desgaste é denominada desgaste brando ou desgaste com oxidação. Quando a carga aplicada às superfícies em contato é elevada, as ligações entre as asperezas não são impedidas de se formarem, resultando em taxas de desgaste extremamente elevadas. Esta forma de desgaste é conhecida como desgaste severo ou metálico.

**Desgaste abrasivo:** O desgaste abrasivo é produzido pela ação de corte de partículas duras. As partículas abrasivas podem ficar fixas, como numa pedra de esmeril, ou livres, como numa suspensão líquida. Em qualquer caso, o abrasivo deve ser mais duro do que o material que está sendo desgastado e deve ser exercida uma força entre os dois materiais para produzir a ação de corte desejada. A abrasão sob baixas tensões resulta da ação cortante de abrasivos sob cargas que não são suficientes para vencer a resistência destes abrasivos ao esmagamento. O resultado é o arrançamento da superfície metálica, normalmente pequeno, e a quantidade de deformação subsuperficial é mínima. A abrasão sob altas tensões, as vezes chamada de desgaste por moagem, ocorre quando as tensões são suficientes para esmagar ou moer o abrasivo. O desgaste é causado por tensões de compressão concentradas no ponto de contato com o abrasivo, ocorrendo a deformação plástica, a fadiga de constituintes dúcteis e a quebra dos constituintes duros do material empregado. A denominação abrasão por sulcamento é usada para descrever um tipo especial de abrasão sob altas tensões, em que sulcos são criados na superfície de desgaste. Estes sulcos podem resultar de um escorregamento seguido de impacto, como acontece em britadores rotativos, nos quais altas tensões são transmitidas através de grandes corpos abrasivos.

**Desgaste erosivo:** Quando o desgaste de uma superfície metálica ocorre pela ação cortante de partículas em movimento carregadas por um fluido, o fenômeno é denominado erosão por colisão. Em geral a resistência dos materiais a este tipo de desgaste varia com o ângulo de colisão ou a incidência das partículas cortantes sobre a superfície de desgaste. Um outro tipo de desgaste ocorre como resultado de um fenômeno presente em válvulas e bombas usadas na movimentação de fluidos, sendo denominado erosão por cavitação (resultante de fluxo turbulento). As bolsas de ar criadas pela turbulência explodem junto à superfície metálica e as ondas de choque resultantes arrancam partículas da superfície. É o caso típico de bombas de alta velocidade e de válvulas sujeitas a grandes variações de pressão.

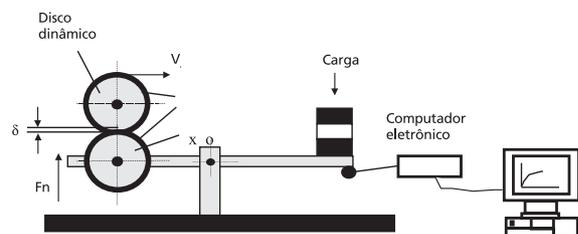
**Desgaste por vibração:** É o tipo de desgaste que ocorre devido a existência de vibrações de pequena amplitude em conexões mecânicas como, por exemplo, juntas rebitadas, onde ocorre uma combinação de oxidação e desgaste abrasivo. A oscilação de duas superfícies metálicas produz pequenos fragmentos metálicos, que se oxidam e se transformam em partí-

culas abrasivas. O desgaste subsequente ocorre tanto por aderência como por abrasão, sendo as partículas geradas transformadas continuamente em óxidos abrasivos.

O método proposto para a determinação do desgaste de resinas compostas é baseado no estudo do comportamento da agressividade (capacidade em remover material) da superfície de restaurações dentárias com as resinas. Para a determinação da agressividade, foi reproduzido e adaptado o método do disco retificado desenvolvido por Coelho (1991), conforme é apresentado esquematicamente na Figura 1. Com este método é possível analisar-se o desgaste de um tipo de resina com relação a outro ou com ela mesma.

Este método consiste em manter um disco fixo, confeccionado de aço ABNT 1020 e revestido com a resina que se deseja analisar, pressionado contra a superfície de um outro disco metálico (ABNT 1020) também revestido com resina, pressionado com uma força normal  $F_n$  constante. Tal revestimento é feito colocando-se pequenos incrementos do material e polimerizando-os em seguida. A superfície da resina, após sua regularização, é pressionada contra a superfície de um outro disco (confeccionado de modo semelhante), sob uma força normal constante, através de uma carga pré-estabelecida. O modelo matemático para a determinação da agressividade considera o comportamento das forças de corte durante a remoção de resina.

O valor do deslocamento do disco fixo contra o disco dinâmico (também revestido com resina composta) conduz ao deslocamento da balança ( $\delta$ ), que é registrado ponto a ponto, em função do tempo. Com esses dados é construída uma curva de deslocamento em função do tempo. Posteriormente, uma outra curva é construída, onde no eixo vertical são registrados os valores do deslocamento da balança e, no eixo horizontal, o tempo gasto para a aquisição dos dados, elevado à potência de 2/3. Isto é feito para



**Figura 1.** Desenho esquemático da balança de agressividade

a obtenção de uma reta onde sua tangente representa o coeficiente angular da reta de regressão linear. Obviamente, é o disco fixo que sofre a maior parte do desgaste. A dedução matemática do método é feita assumindo que a força de corte, conforme definida por Hahn e Lindsay (1971a, 1971b e 1971c), seja igual ao somatório das forças exercidas por atrito, riscamento (na região de atrito) e formação de cavacos. Baseados nestas definições, estes autores propuseram uma relação entre a força de corte e o volume específico do material removido em um determinado tempo. A equação de Hahn e Lindsay (1971a, 1971b e 1971c) foi modificada por Coelho (1991), sendo descrita da seguinte forma:

$$Z_w' = K (F_n' - F_{no}') \quad [\text{mm}^3/\text{mm.s}] \quad (1)$$

onde:  $K$  = agressividade,  $Z_w'$  = taxa de material removido,  $F_n'$  = força normal específica e  $F_{no}'$  = força crítica de corte.

Adequando este modelo às condições específicas deste trabalho, adota-se a resina composta como um material ETG (de fácil usinagem) e a força  $F_{no}'$  pode ser considerada nula, pois é muito pequena. Portanto, para as condições de ensaio são desconsideradas a força crítica de corte ( $F_{no}'$ ), e a parcela de atrito e riscamento, pois são muito pequenas.

$$Z_w' = \frac{V_p A}{b} = \frac{d\delta}{dt} \frac{A}{b} \quad [\text{mm}^3/\text{mm.s}] \quad (2)$$

e

$$F_n' = \frac{F_n}{b} \quad [\text{N/mm}] \quad (3)$$

Substituindo (2) e (3) em (1), obtém-se:

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{KF_n}{A} \quad [\text{mm/s}] \quad (4)$$

onde:  $A$  = a área de contato entre o disco de fixo e o disco dinâmico,  $d\delta/dt$  = velocidade de penetração do disco fixo contra o disco móvel e  $b$  a largura do disco de prova.

Como os discos têm o mesmo diâmetro externo, não foi possível utilizar a aproximação proposta por Coelho (1991). Portanto, foi desenvolvida uma nova aproximação conforme é apresentado na Figura 2.

Sabendo-se que:  $x = \frac{2r - \delta}{2}$ , aplica-se o teorema de Pitágoras ao triângulo retângulo A-B-O e tem-se que:

$$y = \frac{\sqrt{4r\delta - \delta^2}}{2} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

Aplicando novamente o teorema de Pitágoras ao triângulo retângulo A-B-C, onde  $t = \frac{\delta}{2}$ :

$$L_{in} = \sqrt{r\delta} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

Portanto, pode-se considerar o comprimento de contato como sendo o dobro de  $L_{in}$ , ou seja:

$$l_c = \sqrt{4r\delta} \quad [\text{mm}] \quad (7)$$

A área de contato é o produto do comprimento de contato pela largura do menor disco. Tem-se então:

$$A = b\sqrt{4r\delta} \quad [\text{mm}] \quad (8)$$

Os erros que podem ocorrer em consequência desta aproximação são menores que 0,2%. A comparação entre as duas áreas podem ser verificadas na Figura 3. A área real é designada pela linha pontilhada e a aproximada, pelos asteriscos.

Substituindo a equação (8) em (4):

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{KF_n\delta^{-1/2}}{b\sqrt{4r}} \quad [\text{mm}] \quad (9)$$

e adotando:

$$\frac{KF_n}{b\sqrt{4r}} = k_1 \quad (10)$$

tem-se a equação diferencial que regerá o movimento:

$$\frac{d\delta}{dt} = k_1\delta^{-1/2} \quad [\text{mm/s}] \quad (11)$$

A solução da equação diferencial (11) é dada pela resolução do problema de Cauchy, descrita por Peters (1984) onde primeiramente define-se:

$$F(\delta) = \int_{\delta(t_0)}^{\delta(t)} \frac{d\delta}{f(\delta)} \quad (12)$$

tal que:

$$F'(\delta, t) = \frac{1}{f(\delta, t)} \quad (13)$$

estas funções têm como condição de existência que:

$$f(\delta, t) = 0 \quad \text{e} \quad \delta(t_0) = \delta_0 \quad (14)$$

portanto, a equação (11) pode ser escrita da seguinte forma:

$$\frac{d\delta}{dt} = k_1\delta^{-1/2} \Rightarrow \delta(t)' = f(\delta, t) \Rightarrow \frac{\delta'(t)}{f(\delta, t)} = 1 \quad (15)$$

a partir da equação (15), tem-se a derivada da função  $F(\delta, t)$  definida em (13) na forma da regra da cadeia:

$$F'(\delta(t)) \cdot \delta'(t) = 1 \quad \text{ou seja} \quad (F \circ \delta)(t) = 1 \quad (16)$$

integrando-se ambos os lados:

$$\int_{t_0}^t (F \circ \delta)(t) dt = \int_{t_0}^t 1 dt = F(\delta(t)) - F(\delta(t_0)) = (t - t_0) \quad (17)$$

sendo  $F(\delta(t_0)) = 0$ , pelo teorema fundamental do cálculo, tem-se  $F(\delta(t)) = (t - t_0)$ , ou seja:

$$\delta(t) = F^{-1}(t - t_0) \quad (18)$$

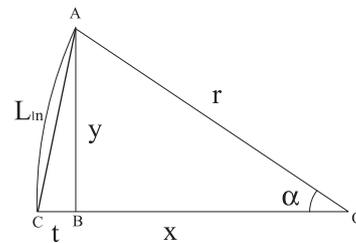
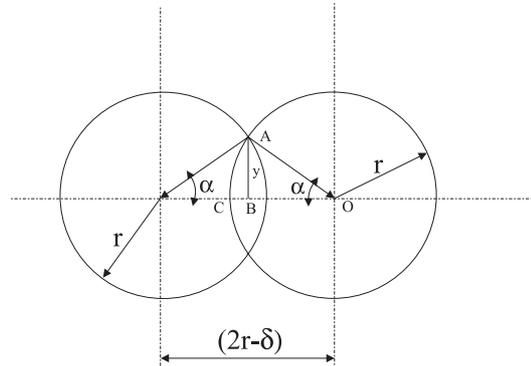


Figura 2. Esquema do cálculo aproximado da área

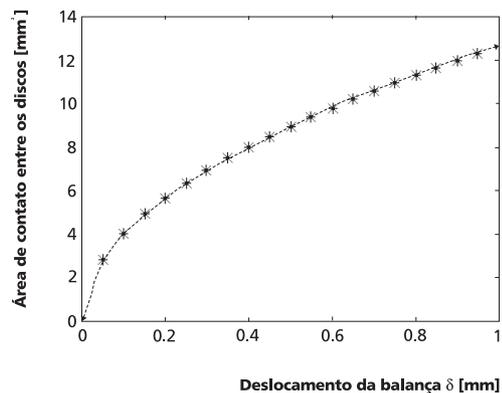


Figura 3. Análise comparativa da área real e da área aproximada.

Portanto a solução da equação (11) é a inversa da integral definida pela função  $F$ . Com o auxílio da variável  $x$  e retomando a função (13), tem-se:

$$F(\delta) = \int_{\delta(t_0)}^{\delta(t)} \frac{dx}{k_I x^{-1/2}} = \int_{\delta(t_0)}^{\delta(t)} \frac{x^{1/2} dx}{k_I} = \frac{2x^{3/2}}{3k_I} \Big|_{\delta(t_0)}^{\delta(t)}$$

$$= \frac{2(\delta(t)^{3/2} - \delta_0^{3/2})}{3k_I} = t - t_0 \quad (19)$$

Adotando-se  $t_0 = 0$ , obtém-se  $\left(\frac{2\delta(t)}{3k_I}\right)^{3/2} = \delta_{0I}$  onde  $\delta_{0I} = \frac{2\delta_0^{3/2}}{3k_I}$ , ou seja:

$$\delta(t) = \left(\frac{3k_I}{2} t\right)^{2/3} + \delta_{0I} \quad [\text{mm}] \quad (20)$$

Portanto, esta é a equação que rege a curva de penetração para que a curva de desempenho seja uma reta com uma inclinação  $K$  (agressividade). Nos trabalhos anteriores ao de Coelho (1991), a agressividade era calculada pela derivação discreta da curva  $\delta(t)$ . Com esta formulação, faz-se uma regressão segundo a equação (20). Isto é melhor que os métodos anteriores, pois evita os erros de aproximações por cálculos discretos. Se a regressão dos pontos resultarem uma boa aproximação da curva, então a curva de desempenho será uma reta. A regressão é feita do seguinte modo:

$$T = t^{2/3} \quad [\text{s}] \quad (21)$$

Isto transforma a equação (20) em:

$$\delta(t) = \left(\frac{3k_I}{2}\right)^{2/3} T + \delta_{0I} \quad [\text{mm}] \quad (22)$$

sendo assim a equação pode ser comparada a:

$$Y_I = a_1 T_I + a_0 \quad (23)$$

onde  $a_0 = \delta_{0I}$  e  $a_1 = \left(\frac{3k_I}{2}\right)^{2/3}$ .

Com os dados da regressão e a equação (24), pode-se concluir que  $K$  é:

$$K = \frac{2b\sqrt{4r}}{3F_n} (a_1)^{3/2} \quad (24)$$

Desta forma, pode-se calcular a agressividade utilizando todos os pontos adquiridos no experimento, tornando o resultado mais significativo. Na Figura 4 é apresentado um resultado típico obtido em ensaio.

Na equação 24,  $K$  [ $\text{mm}^3/\text{N.s}$ ] representa a agressi-

vidade 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.

## Metodologia e Desenvolvimento do Banco de Ensaios

Na Figura 5 é apresentada uma fotografia da montagem do banco de ensaios utilizado. O ensaio tem o seu início com a liberação de uma trava, que mantém a balança de agressividade na posição horizontal. A partir deste momento, o disco dinâmico começa a desgastar o disco fixo. A medida que ocorre o desgaste de ambos os discos, o eixo horizontal da balança sofre um deslocamento, que representa o desgaste dos discos em tempo real.

Os ensaios de agressividade são de curta duração (60 segundos no máximo) e os resultados representam a capacidade de um material desgastar o outro.

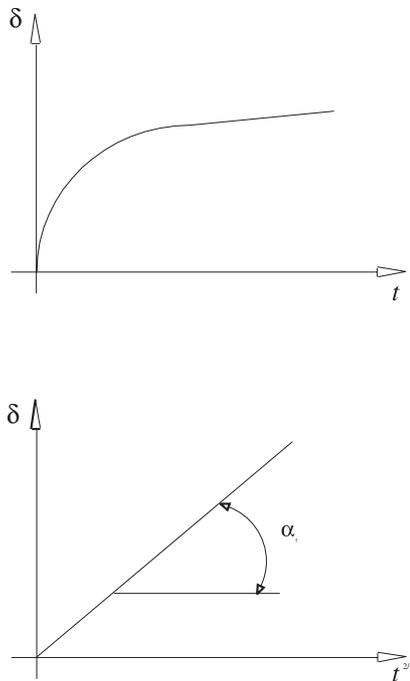
O processo de revestimento do disco metálico com resina é manual, não possuindo precisão em relação a batida radial. Além disso a superfície da resina polimerizada é viscosa, logo após sua fixação. Para remover as imperfeições geométricas e dimensionais e eliminar a camada viscosa remanescente, os discos foram previamente usinados com um rebolo grosso, numa máquina retificadora.

Com o disco fixado na extremidade do cabeçote do disco dinâmico, eram preparados os discos, tanto o fixo quanto o dinâmico. O disco fixo era fabricado e retirado do cabeçote, enquanto o disco dinâmico não. Isto foi realizado para minimizar os erros de descentralização (batimento radial). A Figura 6 apresenta uma foto da preparação dos corpos de prova, na máquina retificadora.

Antes do início de cada ensaio foi necessário a confecção dos corpos de prova. Estes foram preparados através do lixamento de suas laterais, para que suas faces ficassem paralelas entre si.

O motor de acionamento do cabeçote do disco dinâmico é de dois pólos e 1 cv de potência. Para obter-se a rotação necessária, foi utilizado um par de polias e correia dentada para a transmissão e ampliação de 3:1 da rotação.

Tanto o cabeçote quanto o motor foram fixados numa chapa de aço ABNT 1020, com meia polegada de espessura, para que o sistema pudesse ser construído com rigidez suficiente para minimizar os problemas de vibração. Adaptou-se também uma ponta ao cabeçote, para viabilizar sua utilização neste

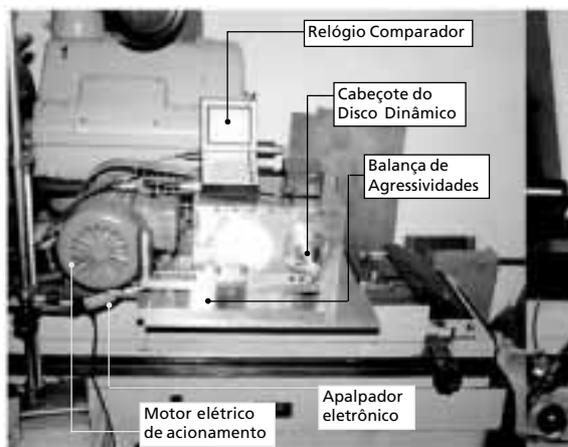


**Figura 4.** Apresentação esquemática de um resultado típico obtido em ensaios.

trabalho. Esta ponta foi retificada no próprio local, para a eliminação do batimento radial. A balança de agressividade também foi adaptada para a inserção de mais cargas necessárias para garantir-se uma taxa de remoção de material suficiente para manter o processo na região de corte, sem provocar o excesso de aquecimento e nem de atrito.

Para se obter a velocidade tangencial do disco dinâmico, com o menor diâmetro possível (visando reduzir os custos) foi adotado o diâmetro de 20 mm.

O ensaio foi realizado colocando-se um disco mais largo no cabeçote e um disco mais estreito na balança.



**Figura 5.** Montagem do banco de ensaios utilizado

Com o eixo em movimento, aproximava-se cuidadosamente os dois discos. Após tocarem-se, a tecla *print* do relógio comparador era acionada, intermitentemente, até um sinal (*bip*) de término do ensaio, emitido pelo computador.

#### Determinação das condições de ensaio

Depois de cumpridas as necessidades de fabricação de discos, deu-se início à procura das melhores condições de ensaio. Primeiramente, variou-se a carga da balança. A carga foi aplicada por intermédio de quatro pesos de mesma massa. Com uma mesma condição de ensaio, apenas com a variação na carga, vários ensaios foram realizados. O valor da carga que proporcionou o melhor resultado foi de 2,5 N.

Também foram realizados ensaios preliminares variando-se a rotação do cabeçote do eixo dinâmico. Quando a rotação era elevada, havia problemas relacionados à queima da superfície do material. Se a rotação fosse diminuída, através da variação da frequência da rede via conversor de frequência acoplado ao motor de acionamento do eixo dinâmico, a taxa de desgaste do material não era suficiente para proporcionar resultados satisfatórios. Após vários ensaios, chegou-se ao valor de 30 Hz de frequência de rede para o motor de acionamento e a adoção de lubrificação por água, na região de corte.

Para verificar a influência das condições estabelecidas para os ensaios, os mesmos foram inicialmente realizados repetidas vezes com o mesmo disco dinâmico, constatando-se que os resultados obtidos a partir do segundo ensaio diferem muito do primeiro, enquanto todos os primeiros possuem uma boa repetibilidade.

A escolha das resinas para os testes foi feita pela diferença de desempenho clínico apresentado, apesar



**Figura 6.** Preparação dos corpos de prova

de ambas possuírem uma boa qualidade clínica. Os dois tipos de resinas ensaiadas são híbridas e possuem composições muito semelhantes. A resina Herculite® possui boro, silicato de bário, alumínio e sílica coloidal, e a APH® apresenta sílica coloidal e silicato de bário modificado, na suas respectivas constituições. A diferença básica entre elas é o tipo de vidro cerâmico utilizado e as pequenas partículas híbridas das resinas.

## Resultados e Discussão

Na Figura 7 são apresentados os resultados de agressividade referentes aos ensaios realizados, interagindo dois tipos de resina. A resina composta representada pela letra H é a Herculite®, e a letra A representa a resina composta APH®. O valor da agressividade, obtida em cada ensaio, refere-se ao disco dinâmico (primeira letra) contra o disco fixo (segunda letra). Deve-se observar, na Figura, que quando o valor da agressividade é baixo, o desgaste da resina é menor. Isto ocorre porque a taxa de remoção de material, durante o ensaio, é pequena.

A resina Herculite® mostrou-se menos agressiva que a resina APH®, independentemente do material com que era confeccionado o disco fixo. Com isto, pode-se afirmar que a resina APH® é mais agressiva. O método desenvolvido apresenta pequena variabilidade, como pode ser verificado através da análise estatística dos resultados de agressividade apresentados na Tabela 1, que apresentou valores reduzidos de dispersão.

O coeficiente de variação (CV), que fornece um indicativo da dispersão dos resultados obtidos, é calculado através da divisão do desvio-padrão (SD) pela média ( $\bar{X}$ ). Para os casos analisados, os valores de CV obtidos foram: 5,0% para AxA, 1,6% para AxH, 4,7% para HxA e 5,9% para HxH.

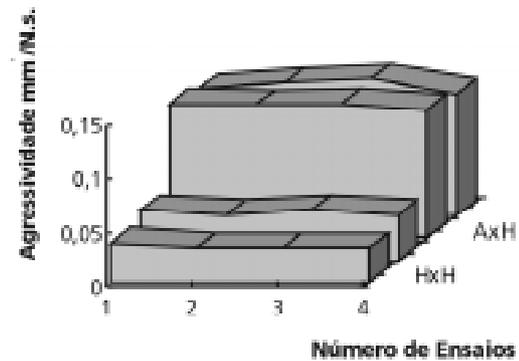
## Conclusão

Através da metodologia de ensaios proposta foi possível avaliar a agressividade de tipos distintos de

**Tabela 1:** Resultados de agressividade K obtidos nos ensaios

*	Agressividade K [mm <sup>3</sup> /Ns]				$\bar{X}$	SD
AxA	0,119	0,125	0,128	0,115	0,121	0,006
AxH	0,126	0,125	0,126	0,120	0,124	0,002
HxA	0,042	0,043	0,047	0,043	0,043	0,002
HxH	0,037	0,033	0,033	0,033	0,034	0,002

\* = Combinação das resinas estudadas,  $\bar{X}$  = Média dos resultados, SD = Desvio padrão



**Figura 7.** Resultados obtidos para a agressividade K

resinas compostas, através de um método matemático de análise dos resultados, utilizando-se um banco de ensaios específico.

Da análise estatística, pode-se concluir que o método desenvolvido apresenta valores reduzidos de variabilidade. Portanto, trata-se de um método que possibilita a repetibilidade dos resultados com uma margem de erro de no máximo 0,003 mm<sup>3</sup>/N.s.

Como aplicação prática, este método possibilita a elaboração de tabelas de desgaste de vários tipos de materiais, com uma ordenação de resistência ao desgaste, das resinas existentes no mercado. Também pode auxiliar em pesquisas, agilizando a avaliação destas características da resina composta.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo financiamento, e à empresa KOHLBACH pelo material cedido para este trabalho.

## Referências

- American Dental Association (1986). "Posterior Composite Resins", Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment., *J. Amer. Dent. Ass.*, v. 112, n. 5, p. 707-709.
- ASM (1995). "Failure Analysis and Prevention", In: *Metals Handbook. Wear Failures*, v. 11, 5th printing, Materials Park, Ohio: ASM International, p. 145-162.
- Coelho, R.T. (1991). *Estudo Experimental da Propriedade de Dressagem de Rebolos na Retificação de Precisão Usando Método do Disco Retificado*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos.
- De Gee, A.J., Pallav, P., Davidson, C.L. (1986). "Effect of abrasion medium on wear of stress-bearing composites and amalgam in vitro", *J. Dent. Res.*, v. 65, n. 5, p. 654-658.

- Hahn, R.S., Lidsay, R.P. (1971a). "Principles of Grinding, Part I: Basic Relationship in Precision Grinding", *Machinery*, v. 77, n. 7, p. 55-62.
- Hahn, R.S., Lidsay, R.P. (1971b). "Principles of Grinding, Part II: The Metal Removal Parameter", *Machinery*, v. 77, n. 8, p. 33-39.
- Hahn, R.S., Lidsay, R.P. (1971c). "Principles of Grinding, Part III: The Wheel Removal Parameter", *Machinery*, v. 77, n. 9, p. 33-39.
- Peters, J. (1984). "Contribution of CIRP Research to Industrial Problem in Grinding", *Annals of CIRP*, v. 33, n. 2, p. 451-486.
- Phillips, R.W. (1993). *Materiais Dentários de Skinner*. [Tradução: Júlio d'Albuquerque Lóssio], Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Wassell, R.W., McCabe, J.F. and Walls, A.W.G.A. (1994). "Two-body frictional wear test". *J. Dent. Res.*, v. 73, n. 9, p. 1546-1553.