



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) (21) **PI 0004397-4 A**



(22) Data de Depósito: 10/05/2000
(43) Data de Publicação: 26/04/2005
(RPI 1790)

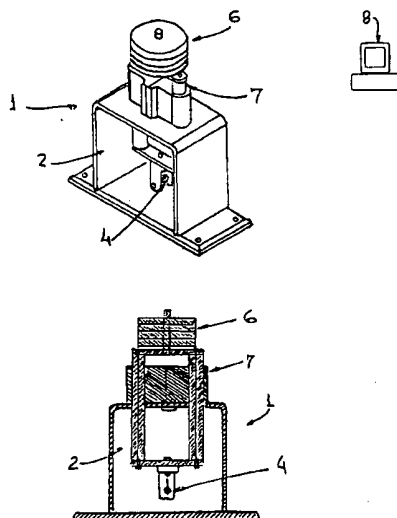
(51) Int. Cl.⁷:
A61C 19/00
A61C 3/00

(54) Título: **PROCESSO E EQUIPAMENTO DE DETERMINAÇÃO DE DESGASTE DE RESINAS COMPOSTAS**

(71) Depositante(s): Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho (BR/SP)

(72) Inventor(es): Eduardo Carlos Bianchi, César Antunes de Freitas, Ana Rita Rodrigues Bianchi, Eraldo Jannone da Silva, Alexandre Pegoraro Xavier

(57) Resumo: "PROCESSO E EQUIPAMENTO DE DETERMINAÇÃO DE DESGASTE DE RESINAS COMPOSTAS". O primeiro compreendido pelas etapas de: revestir uma superfície fixa com a resina a ser analisada, definindo uma camada superficial de resina a ser submetida a pressão dinâmica; submeter esta camada de resina a um pressionamento preestabelecido por contato dinâmico de modo que comece a ocorrer um desgaste. Já o equipamento é constituído por um cabeçote de teste (1) onde são montadas duas guias de precisão (3), as quais suportam um disco fixo (4), confeccionado com aço dúctil (ABNT 1020) e revestido em toda a sua circunferência externa com resina industrial, a qual se deseja analisar; sendo que esta superfície de resina, após sua regularização, é pressionada contra a superfície de um outro disco dito dinâmico (5), previsto nesta estrutura, dito disco dinâmico (5) confeccionado de porcelana e alinhado com o disco fixo (4), superior, de modo que este último seja pressionado contra o disco dinâmico (5), inferior, sob uma força normal F_n constante, promovida por uma carga preestabelecida (6), exercida no extremo superior do eixo vertical (2) da estrutura.



"PROCESSO E EQUIPAMENTO DE DETERMINAÇÃO DE DESGASTE DE RESINAS COMPOSTAS".

Refere-se o presente relatório a um processo e equipamento de determinação de desgaste de resinas compostas e, mais especificamente, a um processo para a
5 determinação do desgaste por abrasão de resinas compostas, baseado em estudos do comportamento da agressividade da superfície de restaurações dentárias com as resinas, ou seja, a capacidade de remover material deste tipo de restauração.

Como pode ser visto nas figuras 1 e 2 o equipamento que permite a realização
10 do processo é constituído por uma caixa estrutural 1 onde são montadas as duas com guias de precisão 2, as quais suportam um disco fixo 4 (ou seja, sem rotação), confeccionado com aço dúctil (ABNT 1020) e revestido em toda a sua circunferência externa com resina composta, a qual se deseja analisar. Esta superfície de resina, após sua regularização, é pressionada contra a superfície
15 de um outro disco dito dinâmico 5, previsto na estrutura do cabeçote de teste, dito disco dinâmico 5 confeccionado com liga de NiCr e revestido de porcelana. O disco fixo 4, superior, é pressionado contra o disco dinâmico 5, inferior, sob uma força normal F_n constante, promovida por uma carga preestabelecida 6, exercida no extremo superior do eixo vertical 2 da estrutura.

20 O valor do deslocamento do disco fixo 4 contra o disco dinâmico 5 conduz ao deslocamento da haste (δ), que é registrado ponto a ponto, em função do tempo, por intermédio de dispositivos eletrônicos 7, do tipo definido por um comparador eletrônico modelo 32.10801 (Tesa SA, Suíça) conectado a um registrador Tesatronic TT10, com saída RS 232, ligado a um micro-computador 8, que com
25 esses dados constrói uma curva do deslocamento, em função do tempo. Posteriormente uma outra curva é construída onde, são registrados os valores do deslocamento da haste e o tempo gasto para aquisição dos dados elevado a $2/3$. Isto é feito para a obtenção de uma reta onde sua tangente representa o

coeficiente angular da reta de regressão linear.

O processo de determinação do desgaste de resinas compostas compreende as etapas de: revestir uma superfície do disco fixo com a resina a ser analisada, definindo uma camada superficial de resina a ser submetida a pressão dinâmica; 5 submeter esta camada de resina a um pressionamento preestabelecido por contato dinâmico de modo que comece a ocorrer um desgaste.

Mais particularmente, este processo consiste em manter um disco fixo 4 (ou seja, sem rotação), confeccionado com aço dúctil (ABNT 1020) e revestido em toda a sua circunferência externa com resina composta, a qual se deseja 10 analisar. A superfície de resina, após sua regularização, é pressionada contra a superfície de um outro disco (confeccionado de porcelana), sob uma força normal F_n constante, por meio de uma carga preestabelecida.

O valor do deslocamento do disco fixo contra o disco dinâmico (confeccionado em liga de NiCr com revestimento de porcelana) conduz ao deslocamento da 15 haste (δ), que é registrado ponto a ponto, em função do tempo. Com esses dados é construída uma curva do deslocamento, em função do tempo. Posteriormente uma outra curva é construída onde, no eixo vertical são registrados os valores do deslocamento da haste e, no eixo horizontal o tempo gasto para aquisição dos dados elevado a $2/3$. Isto é feito para a obtenção de 20 uma reta onde sua tangente representa o coeficiente angular da reta de regressão linear.

Na figura 4a é apresentado de forma esquemática um resultado típico obtido em ensaio.

O processo de revestimento do disco metálico com resina é manual, não 25 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 de teste, são preparados os discos, tanto fixo quanto o dinâmico. O disco fixo é fabricado e retirado o cabeçote, enquanto o disco dinâmico não. Isto é realizado para minimizar os
5 erros de descentralização (batimento radial).

O objetivo da presente invenção é prover um processo e respectivo equipamento que permita a definição ou mesma uma previsão do tempo de duração das resinas compostas para que seja previamente determinada a sua substituição, quando estiver prestes a atingir um grau de desgaste inaceitável. Assim surge a
10 necessidade de desenvolvimento de um padrão laboratorial (in vitro) confiável, que forneça resultados em curtos períodos de tempo, em oposição aos estudos clínicos (in vivo) que são difíceis de serem realizados, demorados e imprecisos. Para melhor esclarecer o processo será descrito alguns ensaios realizados. Antes do início de cada ensaio se faz necessário a confecção dos corpos de
15 prova. Estes são preparados através do lixamento de suas laterais, para que suas faces fiquem paralelas entre si. O motor de acionamento do cabeçote que movimenta o disco dinâmico 5 é de 1cv de potência e dois pólos. Para obter-se a rotação necessária, é utilizado um par de polias e correia dentada para a transmissão e ampliação de 3:1 da rotação.

20 Tanto o cabeçote quanto o motor são fixados em um chapa de aço ABNT 1020, com meia polegada de espessura, para que o sistema tenha rigidez suficiente para minimizar os problemas de vibração.

Para se obter a velocidade tangencial do disco dinâmico 5, com o menor diâmetro possível (visando reduzir os custos) é adotado o diâmetro de 20mm.

25 Assim as resinas compostas são desenvolvidas com o objetivo de reparar as perdas de material dentário do ser humano.

O principal problema das resinas compostas é o seu desgaste, que pode ser proveniente das escovações e da mastigação.

O modelo matemático para a determinação da agressividade, considera o comportamento das forças de corte durante a remoção de resina.

Baseados nestas definições, Hahn & Lindsay propuseram uma relação entre a força de corte e o volume específico do material removido em um determinado

5 tempo, sendo descrita da seguinte forma:

$$Zw' = K(Fn' - Fno') \quad [mm^3/mm.s] \quad (1)$$

onde: K = agressividade;

Zw' = taxa de material removido;

Fn' = força normal específica e

10 Fno' = força crítica de corte.

Adequando este modelo às condições específicas deste trabalho, adota-se a resina composta com um material ETG (de fácil usinagem), a força Fno' pode ser considerada nula, pois é muito pequena. Portanto, para as condições de ensaio tem-se, desta forma, a força crítica de corte (Fno'), e a parcela de atrito e

15 riscamento podem ser desconsideradas, pois são muito pequenas.

$$Zw' = \frac{VpA}{b} = \frac{d\delta A}{dtb} \quad [mm^3/mm.s] \quad (2)$$

e

$$20 \quad Fn' = \frac{Fn}{b} \quad [N/mm] \quad (3)$$

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

$$25 \quad \frac{d\delta}{dt} = \frac{KF_n}{A} \quad [mm/s] \quad (4)$$

onde : A = a área de contato entre o disco fixo e o disco dinâmico;

$d\delta/dt$ = velocidade de penetração do disco fixo contra o disco móvel e

30 b = a largura do disco de prova.

Como os discos têm o mesmo diâmetro externo, não é possível utilizar a aproximação proposta por outros autores. Portanto, é considerada uma nova

aproximação conforme é apresentado na figura 5.

Sabendo-se que : $x = \frac{2r - \delta}{2}$, aplicas-se o teorema de Pitágoras e tem-se que:

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

Aplicando o teorema de Pitágoras, novamente, no triângulo retângulo onde se encontra a reta destacada, tendo que $t = \frac{\delta}{2}$.

$$10 \quad L_{in} = \sqrt{\frac{4r\delta}{2}} = \sqrt{r\delta} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

Portanto, pode-se considerar o comprimento de contato, como sendo o dobro do comprimento da reta em destaque, ou seja:

$$15 \quad l_c = 2L_{in} = \sqrt{4r\delta} \quad [\text{mm}] \quad (7)$$

Multiplicando-se a área de contato o comprimento de contato pela largura do menor disco, tem-se a área de contato, assim:

$$20 \quad A = b\sqrt{4r\delta} \quad [\text{mm}^2] \quad (8)$$

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 6, onde a
25 área real é designada pela linha pontilhada e a área aproximada designada pelos asterísticos.

Assim sendo, substituindo a equação (8) na equação (4), tem-se:

$$30 \quad \frac{d\delta}{dt} = \frac{KF_n \delta^{-1/2}}{b \sqrt{4r}} \quad [\text{mm/s}] \quad (9) \quad \text{adotando:}$$

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

Tem-se com a substituição de (10) em (9) a equação diferencial que regerá o
35 movimento:

$$\frac{d\delta}{dt} = K_1 \delta^{-1/2} \quad [\text{mm/s}] \quad (11)$$

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

$$F(\delta) = \int_{\delta(t_0)}^{\delta(t)} \frac{d\delta}{f_{\delta}} \quad (12) \text{ tal que:}$$

10

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

estas funções têm como condição de existência que:

15

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

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

$$20 \quad \frac{d\delta}{dt} = k_1 \delta(t)^{-1/2} \Rightarrow \delta'(t) = f(\delta, t) \Rightarrow \frac{\delta'(t)}{f(\delta, t)} = 1 \quad (15)$$

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

25

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

Integrando-se ambos os lados:

$$30 \quad \int_{t_0}^t (F \circ \delta)'(t) dt = \int_{t_0}^t 1 dt = F(\delta(t_0)) = (t - t_0) \quad (17)$$

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

$$\text{ou seja: } \delta(t) = F^{-1}(t - t_0) \quad [\text{mm}] \quad (18)$$

- 35 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 ;

$$F(\delta) = \int_{\delta_0}^{\delta} \frac{dx}{k_1 x^{-1/2}} = \int_{\delta_0}^{\delta} \frac{x^{1/2} dx}{K_1} = \frac{2x^{3/2}}{3k_1} \Big|_{\delta_0}^{\delta} = \frac{2(\delta(t)^{3/2} - \delta_0^{3/2})}{3k_1} = t - t_0 \quad (19)$$

Adotando-se $t_0 = 0$, obtém-se $\left[\frac{2\delta(t)}{3k_1} \right]^{3/2} = \delta_0$ onde :

$$\delta_0 = \frac{2 \delta_0^{3/2}}{3k_1}, \text{ ou seja:}$$

$$\delta(t) = \left[\frac{3k_1}{2} t \right]^{2/3} + \delta_0 \quad [\text{mm}] \quad (20)$$

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). Em trabalhos anteriores, 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 aproximação 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

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

$$\text{Isto transforma a equação (20) em: } \delta(t) = \{3k_1/2\}^{2/3} T + \delta_0 \quad [\text{mm}] \quad (22)$$

Sendo assim a equação pode ser comparada a:

$$Y_1 = a_1 T_1 + a_0 \quad (23)$$

$$\text{onde } a_0 = \delta_0 \text{ e } a_1 = (3k_1/2)^{2/3}$$

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

$$K = \frac{2b \sqrt{4r}}{3F_n} (a_1)^{2/3} \quad [\text{mm}^3/\text{N.s}] \quad (24)$$

Na equação (24), K $[\text{mm}^3/\text{N.s}]$ representa a agressividade de uma resina contra

Na equação (24), K [$\text{mm}^3/\text{N.s}$] 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 em um 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.

Toda descrição acima, refere-se às figuras definidas a seguir, onde:

A figura 1 representa uma vista em perspectiva da caixa estrutural equipada com as duas guias de precisão;

A figura 2 representa uma vista lateral do conjunto ilustrado na figura 1;

10 A figura 2a representa um corte do conjunto tomado segundo a linha "A-A" da figura 2;

A figura 2b representa um detalhe ampliado do disco fixo que compõe o conjunto ilustrado nas figuras anteriores;

15 A figura 3 representa uma vista em perspectiva do disco dinâmico que compõe o equipamento de desgaste;

A figura 4 representa uma vista em perspectiva do disco estático que compõe o equipamento de desgaste; e

A figura 4a representa por meio de gráficos um resultado típico obtido em ensaio.

20 No presente trabalho é então desenvolvido um banco de ensaios inédito que possibilita a análise do desgaste abrasivo das resinas compostas, onde a análise de uma resina composta (um ensaio) leva menos de 30 segundos. Os resultados obtidos com este banco de ensaios são comparados com a literatura pesquisada sobre o assunto, fornecendo subsídios para se afirmar que o banco de ensaios realmente pode ser utilizado para a finalidade proposta inicialmente.

25 Apesar de ter sido descrito e ilustrado uma configuração preferida para o processo e equipamento em questão, cabe salientar que alterações conceituais e construtivas são possíveis e realizáveis sem que se fuja da presente invenção.

Reivindicações

- 1- "PROCESSO DE DETERMINAÇÃO DE DESGASTE DE RESINAS COMPOSTAS", caracterizado pelo fato de compreender as etapas de: revestir uma superfície fixa com a resina a ser analisada, definindo uma camada
5 superficial de resina a ser submetida a pressão dinâmica; submeter esta camada de resina a um pressionamento preestabelecido por contato dinâmico de modo que comece a ocorrer um desgaste
- 2- "EQUIPAMENTO DE DETERMINAÇÃO DE DESGASTE DE RESINAS COMPOSTAS", caracterizado pelo fato de ser constituído por uma caixa
10 estrutural (1) onde são montadas duas guias de precisão (3), as quais suportam um disco fixo (4), confeccionado com aço dúctil (ABNT 1020) e revestido em toda a sua circunferência externa com resina industrial, a qual se deseja analisar; sendo que esta superfície de resina, após sua regularização, é pressionada contra a superfície de um outro disco dito dinâmico (5), previsto nesta estrutura,
15 dito disco dinâmico (5) confeccionado de porcelana e alinhado com o disco fixo (4), superior, de modo que este último seja pressionado contra o disco dinâmico (5), inferior, sob uma força normal F_n constante, promovida por uma carga preestabelecida (6), exercida no extremo superior das guias de precisão (3).
- 3- "EQUIPAMENTO DE DETERMINAÇÃO DE DESGASTE DE RESINAS
20 COMPOSTAS", de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato do valor do deslocamento do disco fixo (4) contra o disco dinâmico (5) (confeccionado com revestimento de porcelana) conduzir ao deslocamento (δ) das guias (3), que é registrado ponto a ponto, em função do tempo, por intermédio de dispositivos eletrônicos (7) providos no equipamento que por sua
25 vez alimentam um micro-computador (8), que com esses dados constrói uma curva do deslocamento, em função do tempo, que por sua vez permite a obtenção de uma outra curva onde, são registrados os valores do deslocamento da haste e o tempo gasto para aquisição dos dados elevado a $2/3$, obtendo uma

reta onde sua tangente representa o coeficiente angular da reta de regressão linear.

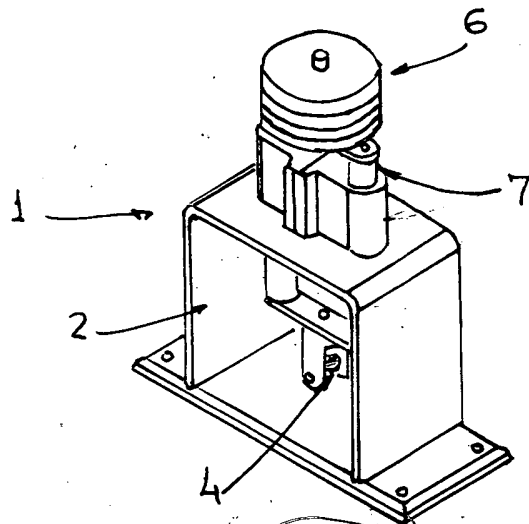


FIG. 1

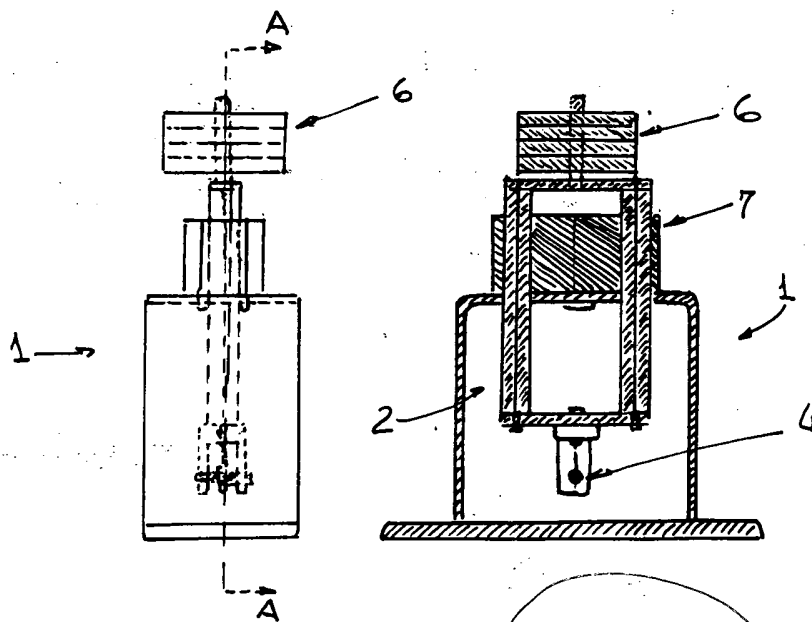
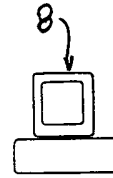


FIG. 2

FIG. 2a

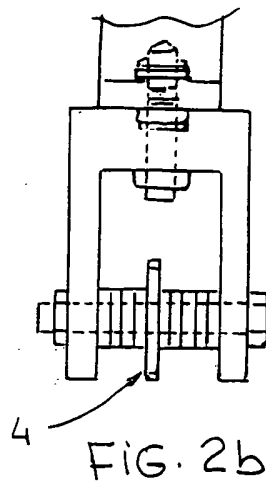


FIG. 2b

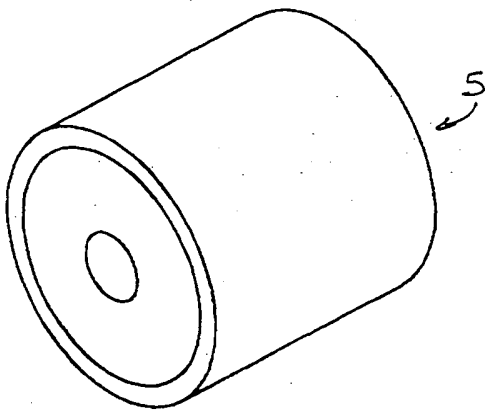


FIG. 3

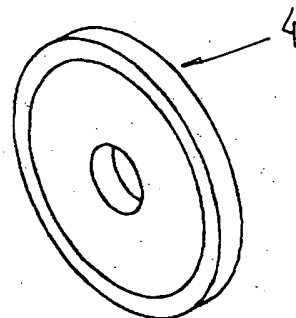


FIG. 4

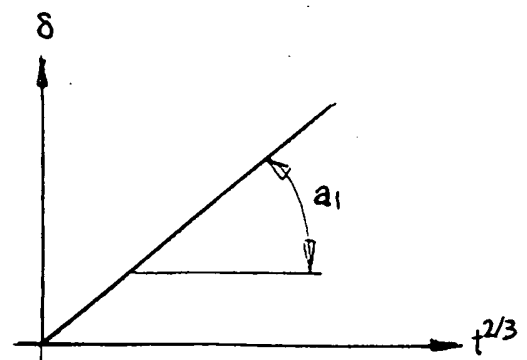
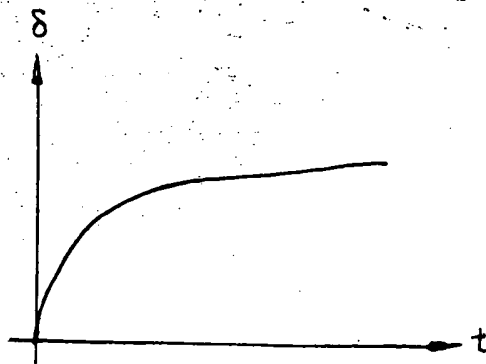


FIG. 4a

Resumo

"PROCESSO E EQUIPAMENTO DE DETERMINAÇÃO DE DESGASTE DE RESINAS COMPOSTAS", o primeiro compreendido pelas etapas de: revestir uma superfície fixa com a resina a ser analisada, definindo uma camada superficial de resina a ser submetida a pressão dinâmica; submeter esta camada de resina a um pressionamento preestabelecido por contato dinâmico de modo que comece a ocorrer um desgaste. Já o equipamento é constituído por um cabeçote de teste (1) onde são montadas duas guias de precisão (3), as quais suportam um disco fixo (4), confeccionado com aço dúctil (ABNT 1020) e revestido em toda a sua circunferência externa com resina industrial, a qual se deseja analisar; sendo que esta superfície de resina, após sua regularização, é pressionada contra a superfície de um outro disco dito dinâmico (5); previsto nesta estrutura, dito disco dinâmico (5) confeccionado de porcelana e alinhado com o disco fixo (4), superior, de modo que este último seja pressionado contra o disco dinâmico (5), inferior, sob uma força normal F_n constante, promovida por uma carga preestabelecida (6), exercida no extremo superior do eixo vertical (2) da estrutura.