

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

(21) **PI 0914279-7 A2**



\* B R P I 0 9 1 4 2 7 9 A 2 \*

(22) Data de Depósito: 18/12/2009  
(43) Data da Publicação: 02/05/2012  
(RPI 2156)

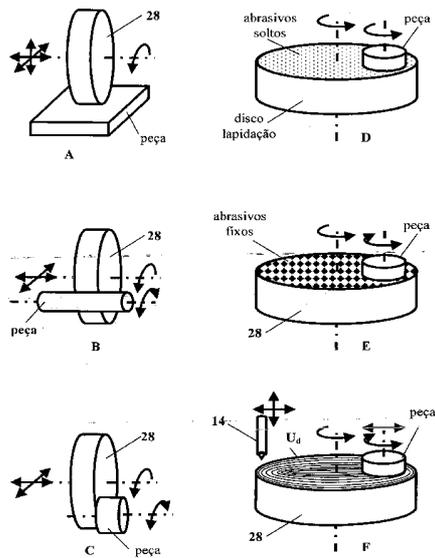
(51) *Int.Cl.:*  
B24D 7/14

(54) **Título:** PROCESSO ABRASIVO PARA ACABAMENTO DE ULTRAPRECISÃO

(73) **Titular(es):** FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO - FAPESP, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" UNESP

(72) **Inventor(es):** Arthur Alves Fioochi, Luiz Eduardo de Angelo Sanchez

(57) **Resumo:** PROCESSO ABRASIVO PARA ACABAMENTO DE ULTRAPRECISÃO. A presente invenção refere-se a um processo abrasivo para acabamento de ultraprecisão empregando um disco abrasivo convencional dressado com diferentes graus de recobrimentos e cinemática relativa entre peça e rebolo planetária.



**“PROCESSO ABRASIVO PARA ACABAMENTO DE  
ULTRAPRECISÃO”.**

A presente invenção refere-se a um processo abrasivo para acabamento de ultraprecisão, denominado de lapidoretificação e a máquina denominada de lapidoretificadora. Assim como no processo de retificação, o processo de lapidoretificação emprega um disco abrasivo convencional, não segmentado (rebolo), dressado com diferentes graus de recobrimentos. Assim como a retificação de face, a lapidoretificação utiliza a face lateral plana do rebolo. A peça obra é recalçada contra a superfície em questão e dotada de movimento de rotação, adquirindo uma cinemática relativa semelhante àquela encontrada no processo de lapidação.

Atualmente, os setores industriais, notadamente a indústria metal-mecânica, são demandantes de processos de fabricação capazes de produzir peças sob estreitas faixas de tolerâncias dimensional, geométrica e rugosidade. Dentre os processos utilizados destacam-se a retificação, a lapidação e o brunimento plano. Esses processos abrasivos podem ser notadamente utilizados na fabricação de selos mecânicos, mancais (de rolamentos, hidrodinâmicos e aerostáticos), lentes, equipamentos para gravação de dados digitais (cabeçote do disco rígido), dentre outros.

Na década de 90, difundiu-se nos EUA e Europa um processo abrasivo de grãos fixos, no qual as peças e o disco abrasivo produzem movimento relativo análogo ao da lapidação. O disco empregado é composto de pastilhas ou grandes segmentos feitos de CBN (Nitreto de Boro Cúbico) ou, então, de diamante com ou sem revestimento. Este processo industrial, que permite a usinagem de grande número de peças, assume diferentes denominações, não estando ainda claramente

padronizado. Os fabricantes de máquinas o denominam “fine grinding” (retificação fina) ou “flat honing” (brunimento plano). Na literatura, pode ser tratado, por diferentes autores, como “fine grinding” (Tönshoff et al, 1998 e Mackensen et al, 1997, Marinescu et al 2006), “flat honing” (Stähli, 5 2000 e Beyer & Ravenzwaaij, 2005), “face grinding on lapping machine” (Ulhman & Ardelt, 1999) e “high speed lapping” (Yang et al, 2007). Em francês o processo é conhecido por “La Rectirodologie”, que livremente traduzido significa ciência da retificação e lapidação (“réctifier”= retificação, “roder”=lapidação).

10 Este processo, cujo primeiro registro de sua criação reporta-se ao início dos anos 80, pela extinta empresa alemã de máquinas-ferramenta Hahn & Kolb, traz algumas importantes vantagens em relação à lapidação, com quem originalmente compete, como: peça limpa, uma vez que é livre do veículo de lapidação; reduzido desperdício de abrasivo, já que os grãos 15 são presos ao ligante; e usinagem mais rápida, pois a taxa de remoção é maior.

Na usinagem de peças de elevado nível de acabamento superficial são comuns as etapas de usinagem preliminar (na maioria das vezes a retificação), seguido da lapidação e, por último, o polimento. O brunimento 20 plano permite a drástica redução dos tempos de lapidação e polimento ou até suas eliminações. De maneira geral, observa-se nas informações disponibilizadas por fabricantes a possibilidade desse processo usinar peças com planicidade da ordem de 0,3  $\mu\text{m}$  a 0,6  $\mu\text{m}$  e rugosidade média aritmética (Ra) de até 0,025  $\mu\text{m}$  (Wolters, 1998). Pelo fato de se utilizar um 25 disco com material superabrasivo, a reafiação do rebolo é naturalmente feita com o desgaste progressivo do ligante que suporta o abrasivo e, assim, o surgimento de novos grãos. Quando necessário, o restabelecimento de

forma do disco é feito por um anel dressador, análogo ao da lapidação, mas feito de material cerâmico em sua superfície inferior onde se dá o contato com o disco abrasivo (Beyer & Ravenzwaaij, 2005).

5 Talvez, por se tratar de um processo derivado da lapidação, criado por tradicionais fabricantes de lapidadoras, não se tem registro da transferência do conceito do grau de recobrimento (Ud), oriundo da retificação, aplicado ao processo de lapidoretificação que utiliza um disco abrasivo convencional de ligante resinóide. A esta hipótese, somava-se o incipiente estudo do grau de recobrimento (Ud) por König & Messer  
10 (1980) na mesma época do surgimento do brunimento plano.

A lapidoretificação também possui vantagens quando comparada com a lapidação, e muitas delas se assemelham às encontradas no processo de brunimento plano descrito acima. Por não utilizar o veículo de lapidação as peças são limpas e se reduz o desperdício de abrasivo.

15 Ao contrário da lapidação e do brunimento plano, em que são usados grãos de CBN ou de diamante de custo muito mais elevado, a lapidoretificação utiliza, normalmente, abrasivos convencionais como, por exemplo, o óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ), o carbetto ou carboneto de silício (SiC) e o nitreto de silício ( $N_4Si_3$ ).

20 Como consequência da união dos grãos abrasivos por meio de um ligante, para formar o rebolo, é possível uma usinagem mais agressiva com maior taxa de remoção e, conseqüentemente, menor tempo de usinagem. Entretanto, diferentemente do brunimento plano, essa agressividade é controlada pela operação de preparo inicial do rebolo, definida como  
25 dressagem. A lapidoretificação também pode eliminar processos posteriores, ou ao menos reduzir os tempos de usinagem nesses processos.

Também utilizando conceitos estabelecidos na lapidação, surgiram alguns processos abrasivos mais dedicados, particularmente, voltados ao acabamento de componentes de equipamentos para gravação de dados digitais (recording head). Em um desses trabalhos, Eda & Tomita (1996) elaboraram discos abrasivos de SiC com ligante composto de resinas PVA, melanina e fenol, que em porcentagens adequadas, 20%, 15% e 5% em peso, respectivamente, produzem um disco com características necessárias para a lapidação do substrato do disco magnético. Este tipo de componente, feito de uma liga de alumínio de alta pureza, apresenta problemas de impregnação de finas partículas de abrasivos e rugosidade inadequada ( $R_a \approx 0,9 \mu\text{m}$ ) quando lapidado, com partículas de SiC de  $20 \mu\text{m}$  de tamanho, em disco de ferro fundido. Já o disco abrasivo com o mesmo tamanho de grão é capaz de produzir rugosidade significativamente menor ( $0,13 \mu\text{m}$   $R_a$ ), sem a deletéria impregnação de abrasivos. Com o uso do disco sintético, nota-se que a rugosidade e a taxa de remoção são diretamente proporcionais ao tamanho médio do grão abrasivo. O menor abrasivo usado nos testes foi de  $3 \mu\text{m}$  (4000 mesh) de diâmetro médio, correspondendo a uma rugosidade  $R_a$  de  $0,02 \mu\text{m}$  e planicidade de  $1,3 \mu\text{m}$ , em peças medindo cerca de 130 mm de diâmetro.

Outro trabalho, também empregando a cinemática da lapidação e destinado ao acabamento de cabeçote de leitura de disco rígido, é o processo “nanogrinding”, assim denominado por seus criadores Gatzen, Maetzig e Schwab (1996). Este processo consiste, basicamente, de duas etapas: a criação de um disco abrasivo específico e a usinagem da peça propriamente dita. No primeiro passo é aplicada uma pasta abrasiva, de grãos de diamante, sobre um disco metálico dúctil, feito de alumínio, submetido à rotação. Um anel de condicionamento percorre esta superfície

impregnando-a com grãos de diamante e nivelando seus picos, coplanarmente, à superfície do disco. Nesta técnica, as peças são usinadas primeiramente em regime de desbaste. Para isso, utilizam-se grãos de 1,5 a 3  $\mu\text{m}$  e um disco confeccionado com ranhuras radiais, por onde o excesso de abrasivo é coletado. Depois, no regime de acabamento, é empregado um disco sem ranhuras e grãos abrasivos pequenos, de 0,5 a 1  $\mu\text{m}$ , cujo excesso deposita-se nos riscos pertencentes à rugosidade. Aliás, constatou-se que discos muito lisos não produzem bom desempenho, por isso, previamente à sua criação, deve-se lapidá-los com grãos abrasivos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$  de, no máximo, 50  $\mu\text{m}$ . Naturalmente, após este condicionamento, se faz necessário uma rigorosa limpeza da superfície do disco para eliminação dos grãos remanescentes que seriam contaminantes na usinagem da peça.

Nos trabalhos envolvendo o processo “nanogrinding”, encontrou-se valores de rugosidade média aritmética até 1,14 nm, obtido em cabeçote de leitura feito de  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ , e 0,79 nm Ra em cabeçote feito de SiC (Gatzen e Maetzig, 1997). Quanto aos desvios de planicidade, conseguiu-se o valor mínimo de 6 nm em cabeçote feito de  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$  (Gatzen, Maetzig e Schwab, 1996). Em peças de grande exigência de acabamento, como esta, o desprendimento de grão abrasivo do disco torna-se um aspecto crítico do processo uma vez que um risco pode comprometer o seu uso. Portanto, diferentemente do “nanogrinding” e da lapidação, a lapidoretificação tem, dentre outras vantagens, a possibilidade de manter os grãos fixos no rebolo, característica essa que possibilita um melhor acabamento superficial.

Na direção de entender melhor os mecanismos de remoção na lapidação, e explorar mais a sua capacidade, Touge e Matsuo (1996) identificaram que, além da influência dos numerosos parâmetros já

conhecidos, a operação de faceamento do disco de lapidação exerce  
significante efeito sobre o processo. No experimento realizado em cabeçote  
magnético de gravação, feito de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Mn e ZnO, uma lapidadora dotada  
de um dispositivo de faceamento, com ferramenta de ponta de diamante  
5 arredondada, corrige a forma e o desgaste do disco metálico macio, feito de  
estanho. No entanto, observa-se que diferentes avanços produzem marcas  
de ondulações (sulcos) na superfície em forma de semi-arcos de diferentes  
comprimentos de passos, mantendo-se a mesma profundidade de corte.  
Com o progressivo aumento do passo de sulcamento, podem-se criar três  
10 situações distintas: (a) altura das cristas das marcas de ondulação abaixo da  
profundidade de corte; (b) altura das cristas igual à profundidade de corte; e  
(c) sulcos com altura igual à profundidade de corte, mas totalmente  
separados por áreas planas da superfície do disco. Nestes casos, o número  
de abrasivos contidos no fluido de lapidação aumenta da primeira situação  
15 (a) para a segunda (b), quando a quantidade de grãos soltos é máxima. No  
terceiro caso (c), os grãos abrasivos também cobrem a região plana entre os  
sulcos encravando-se ali. Portanto, tem-se uma situação de lapidação com  
grãos fixos. Como primeiro resultado, os autores verificaram que a maior  
taxa de remoção de material ocorre na situação (b) quando a quantidade de  
20 grãos abrasivos, de tamanho médio de 0,5 a 1  $\mu\text{m}$ , é máxima.

No trabalho de Touge e Matsuo (1996), fez-se um ensaio, dividido  
em três partes, no qual se preparou o disco de acordo com o terceiro caso  
(c). Na primeira parte do ensaio usinou-se apenas com grãos fixados sobre  
a região plana entre os sulcos. Depois, na segunda parte, adicionaram-se  
25 grãos abrasivos soltos, coexistindo com os grãos fixos. E na terceira parte,  
interrompeu-se a adição de grãos abrasivos.

Os resultados apontaram que, somente com grãos fixos, a taxa de remoção de material foi relativamente baixa e decrescente até o final da primeira etapa. A rugosidade manteve-se em nível praticamente constante, entre 1,4 a 1,5 nm Ra, indicando que houve modesta quantidade de  
5 desprendimento de grãos e a maioria dos remanescentes mantiveram sua protusão.

Na etapa intermediária, onde há grãos fixos e soltos juntos, a taxa de remoção mostrou-se 2,7 vezes maior do que na condição de grãos somente fixos, indicando, mais uma vez, o forte efeito dos grãos soltos na remoção  
10 de material. Na última parte, com a interrupção da alimentação dos grãos abrasivos, nota-se a contínua diminuição da taxa de remoção, quando a rugosidade tende aos valores mais baixos ao final do ensaio. Nesta etapa, os autores creditam este comportamento à gradativa redução do número de grãos de protusão mais alta.

Assim como na retificação com rebolo convencional, a lapidoretificação necessita da operação de dressagem. Essa operação prepara o disco abrasivo para a operação de usinagem renovando sua capacidade de corte e corrigindo sua forma. A dressagem baseia-se na  
15 geração de uma espiral sobre a superfície do disco abrasivo por meio do corte com uma ferramenta, com dureza superior ao grão abrasivo, denominada de dressador. Normalmente, o material empregado na ponta do dressador é o diamante, que pode ser aplicado no estado bruto ou lapidado em diferentes formatos, ancorado na ponta de uma haste metálica.

Os parâmetros da dressagem na retificação foram definidos por  
25 König em 1980, onde: Ud é o grau de recobrimento, bd é a largura de atuação da ponta de diamante, Sd é o passo de dressagem e ad é a

profundidade de dressagem. Esses parâmetros são relacionados pela equação 1:

$$U_d = \frac{bd}{S_d} \quad [1]$$

A geometria gerada na superfície do disco abrasivo pela operação de dressagem faz com que haja dois efeitos diferentes oriundos da operação de dressagem, o macroefeito e o microefeito.

O primeiro (macroefeito) é a própria superfície espiralada gerada pela dressagem, ou seja, o perfil similar ao filete de uma rosca de parafuso. O macroefeito altera a capacidade de corte por meio da variação do grau de recobrimento, variando de condições mais agressivas, para maior remoção de material da peça de trabalho (valores de  $U_d$  próximos a 1) até condições de baixas taxas de remoção (valores de  $U_d$  próximos a 5), para um melhor acabamento da superfície lapidoretificada.

O segundo (microefeito) é caracterizado pela fratura dos grãos abrasivos durante a operação de dressagem. Essa característica do microefeito é mais acentuada quanto maior for a capacidade do grão abrasivo de produzir arestas cortantes durante sua fratura (friabilidade).

Apesar de a lapidoretificação utilizar um disco abrasivo assim como a retificação, as características do corte da peça são diferentes, seja pela velocidade de corte ou pelo movimento relativo entre a peça e o rebolo. A retificação utiliza elevadas velocidades de corte, por exemplo, 50 m/s com rebolo de ligante resinóide e, aproximadamente, 200 m/s para rebolo de CBN. Dessa maneira, ocorre elevada geração de energia térmica durante o corte com obrigatoriedade de aplicação de refrigeração. Na retificação,

como consequência da cinemática, o corte tende a gerar riscos orientados, perpendiculares ao eixo de rotação do rebolo, o que faz com que a rugosidade na superfície da peça de trabalho seja dependente da direção em que é medida.

5 Por sua vez, a lapidoretificação utiliza velocidades da ordem de 2,0 m/s, bem inferiores as aplicadas na retificação, e uma cinemática de corte que se aproxima daquela usada na lapidação. Consequentemente, o acabamento superficial independe da direção em que se dá a medição (acabamento anisotrópico) e o nível de energia térmica fica em patamares  
10 muito inferiores, evitando, portanto, distorção da peça.

A cinemática da lapidação, utilizada também na lapidoretificação, é composta, basicamente, de um movimento planetário. Na cinemática planetária, ocorre a rotação do disco de lapidação em torno do seu próprio eixo. Na superfície do disco de lapidação, a peça sendo lapidada rotaciona  
15 com seu eixo paralelo ao eixo do disco de lapidação, entretanto, os eixos de rotação estão deslocados. O dispositivo que contém a peça sendo lapidada é conhecido como anel dressador. Esse dispositivo tem a função de fixar a(s) peça(s) de trabalho e corrigir continuamente a forma plana do disco de lapidação, principalmente. O resultado dessa composição de movimentos é  
20 a geração de ciclóides que possuem diferentes padrões, dependendo das velocidades de rotação e dos sentidos utilizados. A relação  $N_L$ , que também é conhecida por  $\lambda$ , é usada para caracterizar o tipo de ciclóide gerado.

$$N_L = \lambda = \frac{n_{\text{anel dressador}}}{n_{\text{disco de lapidação}}} \quad [2]$$

Se a rotação do anel dressador ( $n_{\text{anel dressador}}$ ) tiver a mesma velocidade e sentido da rotação do disco de lapidação ( $n_{\text{disco de lapidação}}$ ), a relação  $N_L$  é igual à unidade e a trajetória, de um único ponto do anel sobre o disco, é uma elipse.

5 Segundo Stähli, para a relação  $N_L$  igual à unidade as velocidades dos grãos abrasivos são iguais em todos os pontos de contato e, conseqüentemente, a taxa de remoção é igual em qualquer trajetória, o que não ocorre para valores diferentes da unidade, ocasionando desgaste heterogêneo na superfície do rebolo.

10 O brunimento plano utiliza a mesma cinemática, porém, o disco de lapidação é substituído por um rebolo superabrasivo, normalmente constituído por inúmeros segmentos (pallets). No brunimento plano, a dressagem não é aplicada com o conceito de grau de recobrimento, mas sim com o intuito de corrigir a forma do disco superabrasivo em decorrência do  
15 desgaste não uniforme e remover qualquer partícula estranha ancorada na face de trabalho do rebolo, operação essa conhecida como perfilamento (*truing*). Também é aplicado a operação de avivamento (*conditioning*) caracterizada pela remoção preferencial do ligante na vizinhança das partículas abrasivas.

20 A cinemática planetária promove a geração de riscos aleatórios na superfície da peça, produzindo acabamento superficial homogêneo e independente da orientação em que a rugosidade é medida. Esse tipo de superfície é desejável e caracteriza uma peça com melhor acabamento.

Na lapidoretificação, também são gerados riscos aleatórios, porém  
25 com um movimento distinto. Esse porta-peças pode permanecer fixo, nesse caso a cinemática é idêntica a da lapidação, ou possuir um movimento linear, ao longo do raio do disco abrasivo. Diferentemente da lapidação e

do brunimento plano, as peças de trabalho permanecem fixas ao porta-peças, que pode ou não estar interno a um anel dressador.

Apesar da aparente semelhança entre os processos de retificação, lapidação, brunimento plano e lapidoretificação, nenhuma patente  
5 especifica um processo que utiliza um disco abrasivo plano preparado pela operação de dressagem, segundo o conceito de grau de recobrimento proposto por König em 1980, de modo que os parâmetros dessa operação preliminar determinem as condições de corte, e que possua uma cinemática composta da rotação do disco abrasivo e da peça de trabalho, concordante  
10 ou discordante, além da possibilidade do movimento linear da peça ao longo da superfície do disco. Com o eixo de rotação da peça(s) paralelo ao eixo de rotação do rebolo, a lapidoretificação produz peças planas. Caso ocorra um desalinhamento do eixo de rotação da peça e/ou o perfilamento da superfície do rebolo, a lapidoretificação produzirá peça(s) com  
15 superfície convexa, o que habilita o processo a manufaturar lentes e outras peças com geometrias convexas e complexas.

A presente invenção tem como objetivo, notadamente, usinar peças planas e/ou convexas sem os inconvenientes dos processos descritos acima, utilizando para isso a operação de dressagem, segundo o conceito do grau  
20 de recobrimento, em um rebolo composto por grãos abrasivos unidos por um ligante, e uma cinemática similar a da lapidação, acrescida ou não do movimento de translação, paralelo a superfície do rebolo, da peça(s).

As outras características da invenção são:

- rebolo com granulometria entre #100 e #2000 mesh.
- 25 - grãos abrasivos, em parte ou por completo, preferencialmente, de carboneto de silício, óxido de alumínio, óxido de silício, nitreto de silício,

diamante natural, diamante sintético, nitreto de boro cúbico, ou qualquer partícula abrasiva com dureza superior à peça de trabalho.

- grãos com geometria qualquer, dotados ou não de revestimento.
- grãos abrasivos unidos quimicamente ou fisicamente.
- 5 - condicionamento da superfície do rebolo segundo o conceito de grau de recobrimento, podendo ser adotados diferentes graus de recobrimentos para cada setor do rebolo que pode também ser perfilado.
- dressador de ponta única e/ou múltiplas com geometria qualquer.
- produção de peça(s) com geometria plana e/ou complexa.
- 10 - acabamento superficial subnanométrico com aspecto especular.
- rotação do(s) rebolo(s) entre 0 a 10.000 rpm.
- cinemática aleatória entre o rebolo(s) e a peça(s)
- a lubrificação e refrigeração do processo pode ser feita por fluidos de corte aquosos e óleos aplicados de forma abundante ou com a técnica de
- 15 mínima quantidade.

A invenção também se refere a uma lapidoretificadora para acabamento de ultraprecisão, equipamento no qual:

20 drossa-se o rebolo com o sistema de dressagem, de modo a definir o grau de recobrimento desejado. Recalca-se, com carga pré-definida, a peça obra contra a superfície dressada, com movimento relativo aleatório por período de tempo suficiente para acabar a peça nas condições desejadas.

A descrição que se segue e as figuras associadas, tudo dado a exemplo não limitativo, farão compreender bem a invenção.

25 A figura 1 apresenta a orientação da ferramenta e da peça, as cinemáticas e as principais características dos diferentes processos abrasivos.

A figura 2 representa graficamente alguns conjuntos da lapidoretificadora.

A figura 3 representa graficamente alguns conjuntos da e os eixos de referência da lapidoretificadora.

5 A figura 4 apresenta os componentes do conjunto estrutural da lapidoretificadora.

A figura 5 apresenta o conjunto de movimentação longitudinal.

A figura 6 apresenta o conjunto de movimentação transversal.

A figura 7 apresenta o conjunto de rotação do disco abrasivo.

10 A figura 8 apresenta o conjunto de aplicação de fluido de corte.

A figura 9 apresenta os circuitos de ar comprimido e de fluido de corte.

A figura 10 apresenta o conjunto de fixação da peça obra na lapidoretificadora.

15 A figura 11 apresenta o mecanismo para monitoramento do torque no eixo motriz da peça obra.

A figura 12 apresenta esquematicamente o tráfego de informação no conjunto de comando.

20 A figura 13 apresenta três exemplos em corte dos perfis que o rebolo pode assumir no processo de lapidoretificação: sucessivas dressagens planas A, dressagens planas em patamares B e dressagem com perfilamento C.

A figura 14 apresenta a preparação para a dressagem do disco abrasivo com a definição dos pontos coordenados “zero máquina” e “zero peça”, obtidos por uma seqüência de movimentos de set-up.  
25

A figura 15 apresenta a referencia do disco abrasivo por meio dos pontos “zero máquina”, “zero peça”.

A figura 16 apresenta esquematicamente a interface gráfica do programa ou painel do conjunto de comando.

5 A figura 17 apresenta alguns parâmetros do ciclo de dressagem.

### **O processo**

A lapidoretificação é um processo abrasivo de ultraprecisão que utiliza ferramenta de corte com geometria de corte não definida dos grãos, denominada de rebolo ou disco abrasivo, aglutinados por um ligante resinóide prensado a quente. Assim como na retificação com ferramenta não superabrasiva, o processo de lapidoretificação emprega um disco abrasivo convencional não segmentado dressado com diferentes graus de recobrimentos, segundo os critérios estabelecidos por König, por um dressador de ponta única de diamante. Analogamente a retificação de face, a lapidoretificação utiliza a face plana do rebolo. A peça obra é recalçada contra a superfície em questão, com pressão de contato controlada, e dotada de movimento de rotação, adquirindo uma cinemática relativa semelhante àquela encontrada no processo de lapidação. A figura 1 apresenta a orientação da ferramenta e da peça, as cinemáticas e as principais características dos diferentes processos abrasivos, sendo imprescindível para definir com objetividade o processo de lapidoretificação, diferenciando-o dos outros processos abrasivos.

10

15

20

## A máquina

A lapidoretificadora pode ser dividida nos seguintes itens:

- conjunto estrutural;
- conjunto de movimentação longitudinal em relação à superfície do  
5 disco abrasivo;
- conjunto de movimentação transversal em relação à superfície do  
disco abrasivo;
- conjunto de fixação da peça;
- conjunto de rotação do disco abrasivo;
- 10 - conjunto de aplicação de fluido de corte;
- conjunto de monitoramento das condições de usinagem; e
- conjunto de comando e acionamento da peça e dressador.

As figuras a seguir mostram um exemplo construtivo desse equipamento. Na figura 2 e figura 3, os conjuntos montados que compõem  
15 a Lapidoretificadora são mostrados e são definidos dois eixos de referência:  
o eixo longitudinal à superfície do disco, o qual é identificado pela letra X,  
e eixo transversal, identificado pela letra Z e Y.

Na seqüência, cada conjunto é explicado, assim como sua função e característica, separadamente.

## 20 CONJUNTO ESTRUTURAL

O *conjunto estrutural 2*, mostrado na figura 4 e figura 5, serve de base para as demais partes da máquina. Sua *estrutura 2* deve ser robusta (alta rigidez mecânica) e suficientemente pesada para absorver as

deformações provenientes dos esforços da usinagem. Pode ser idealmente feita de um monobloco de ferro fundido cinzento (dentre outros) que, por possuir veios de grafita livre em sua microestrutura, absorve vibrações, possui boa estabilidade dimensional e usinabilidade. Estruturas fundidas

5 podem ser substituídas por: granito natural ou sintético (vantagens: maior precisão dimensional e menor distorção térmica; desvantagens: maior fragilidade), perfis soldados e materiais compósitos. Deve-se ainda favorecer a dissipação de calor para minimizar as distorções térmicas.

Procurando melhor absorver as vibrações originadas principalmente

10 pelo *motor de acionamento do disco 30* e pelos esforços de usinagem, toda a estrutura é apoiada em uma base flexível, composta parte ou integralmente por um polímero natural ou sintético. Essa base flexível é um coxim que trabalha como um *apoio para amortecimento de vibração 1*, representado na figura 6.

15 **Tabela 1 - Lista de peças do conjunto estrutural**

Item	descrição	Quantidade
01	apoio para amortecimento de vibração	04
02	estrutura	01

### **CONJUNTO DE MOVIMENTAÇÃO LONGITUDINAL EM RELAÇÃO À SUPERFÍCIE DO DISCO ABRASIVO**

O conjunto de movimentação longitudinal 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 tem a função de mover a *ponta de diamante 14* para se efetuar

20 operação de dressagem. O conjunto proporciona o movimento na *direção longitudinal X*, sendo responsável pela geração do passo da espiral que é

impressa sobre a superfície do *rebolo* 28, conhecida como *passo de dressagem* *Sd*. Nesse movimento não se deve apenas garantir a posição precisa, mas principalmente a velocidade de deslocamento. Outra função do *conjunto de movimentação longitudinal* 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 é  
5 posicionar a(s) peça(s) para a usinagem. Pode-se desejar apenas alternar certas regiões do *rebolo* 28 para a usinagem da peça. Mas também se pode desejar um movimento contínuo da peça, de vai-e-vem, durante a usinagem. A peça se movimentaria na *direção longitudinal* alternando o seu sentido e se movimentando sobre a superfície do *disco abrasivo* 28  
10 com uma velocidade controlada. Mais detalhes desse movimento são discutidos na descrição do *conjunto de controle*.

O *conjunto de movimentação longitudinal* 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 pode ser construído usando qualquer dispositivo de movimentação linear desde que seja observada a precisão necessária. Os processos  
15 convencionais, como a retificação, com movimento coordenado por comando numérico (CNC) possuem precisão de 100 a 10  $\mu\text{m}$  (Byrne et al., 2003). Para o *conjunto de movimentação longitudinal* 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 pode-se adotar a mesma faixa de precisão encontrada nas máquinas convencionas CNC, isso porque os erros de posicionamento longitudinal da  
20 ponta de diamante ou da peça não afetam diretamente a qualidade da usinagem.

Além da precisão no movimento deve se atentar para a rigidez do conjunto, que deve absorver os esforços da usinagem sem apresentar deformação significativa, por exemplo, uma deformação inferior a 1  
25 micrometro para cada 300 N de força aplicada.

Em virtude da *dressagem*, a velocidade de deslocamento longitudinal do *dressador* 14, deve ser controlada. A rotação do *disco abrasivo* 28 pode

variar entre 0 a 10.000 rpm, entretanto para diminuir os esforços de perfilamento do disco abrasivo e aumentar assim a estabilidade do processo, normalmente, utilizam-se rotações na faixa de 0 a 500 rpm, sendo 100 rpm o valor mais vantajoso. Variando-se o grau de recobrimento (Ud) de 1 a 5 e a profundidade de dressagem (ad) de 20 a 300  $\mu\text{m}$ , as velocidades de deslocamento longitudinal variam de 100 a 600  $\mu\text{m/s}$ , ou seja, são velocidades mais baixas que as utilizadas nas máquinas CNC convencionais. Mas se for desejado variações finas na profundidade de dressagem ou na rotação do disco abrasivo o movimento longitudinal deve sofrer variações sutis, da ordem de 10  $\mu\text{m/s}$ , o que gera a necessidade de um comando automático e de um conjunto de acionamento que possa reproduzir essa variação de velocidade.

Uma solução possível para suprir as exigências do processo é a utilização de guias lineares e de fusos de esferas recirculantes movimentados por um motor de passo ou servo motor comandado por seu respectivo conjunto de acionamento eletrônico. Deve-se notar que as peças que se unem a esse conjunto devem ser robustas e o uso de elementos flexíveis como o acoplamento elástico contribuem para compensar os erros de fabricação e de posicionamento/alinhamento na montagem. Como o movimento está todo apoiado em esferas existe pouca resistência e que leva a uma menor necessidade de potência do motor e em menores tempos de aceleração. Para se ter maior precisão no deslocamento pode ser necessário o uso de sensores de posicionamento (medição direta ou indireta). Os motores elétricos como os motores de passo ou servomotores são facilmente acoplados aos sensores de posição. Sensores de posição angular como os *encoders* (absoluto ou incremental) possibilitam a leitura do

número de passos e da velocidade de rotação. O conjunto de controle é alimentado com essa informação e corrige o movimento do motor.

Existem outras soluções para esse conjunto, algumas delas não apenas mecânicas, como o uso de atuadores hidráulicos ou pneumáticos controlados por válvulas elétricas comandadas por conjuntos computadorizados. Nesse caso o uso de transdutores lineares de posição, como a régua óptica, se faz necessário para alimentar o conjunto de comando que controla os atuadores.

**Tabela 2 - Lista de peças do conjunto de movimentação longitudinal**

Item	Descrição	Quantidade
03	guias lineares com patins do eixo x	02
04	travessa estrutural	01
05	protetor do fuso	01
06	flange com rosca interna	01
07	fuso de esferas recirculantes com porca de esferas para o eixo x	01
08	mancal com rolamento de esferas	01
09	suporte para o motor	01
10	prolongador do motor de passo	04
11	acoplamento elástico	01
12	motor de passo	01

## CONJUNTO DE MOVIMENTAÇÃO TRANSVERSAL EM RELAÇÃO À SUPERFÍCIE DO DISCO ABRASIVO

- A função do *conjunto de movimentação transversal 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22* é de posicionar o *dressador 14*, em relação à superfície do *disco 28*, para a operação de dressagem. A ponta deve estar recuada, distante do *disco abrasivo 28*, para que o movimento longitudinal ocorra livremente. Entretanto, durante a operação de dressagem, o *conjunto transversal 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22* deve proporcionar o avanço sobre o *disco abrasivo 28* chamado de *profundidade de dressagem ad*. Nesse caso a posição do *dressador 14* é o principal fator a ser controlado. A velocidade de movimento não é importante quando o perfil almejado para o rebolo é plano, porém, pode-se desejar usar um avanço lento para proporcionar o aprofundamento do diamante sobre o disco abrasivo e um avanço rápido para o recuo da ponta do *dressador 28*. Entretanto, caso seja necessário perfilar o *rebolo 28*, todas as considerações feitas para o *conjunto de movimentação longitudinal 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12* são necessárias para garantir o posicionamento adequado do *dressador 14*. Esses detalhes são discutidos na descrição do *conjunto de comando*.
- As considerações construtivas do *conjunto de movimentação transversal 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22* são as mesmas feitas para o *conjunto de movimentação longitudinal 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12*.

**Tabela 3 - Lista de peças do conjunto de movimentação transversal**

Item	Descrição	Quantidade
13	guia linear com patins do eixo y	01
14	ponta de diamante embutida no suporte	01

	(dressador)	
15	suporte de ligação entre o fuso e a guia	01
16	mancal com rolamento de esferas	01
17	suporte para o fuso do eixo y	01
18	fuso de esferas recirculantes com porca de esferas para o eixo y	01
19	acoplamento elástico	01
20	prolongador do motor	04
21	motor de passo	01
22	reforço	02

### CONJUNTO DE ROTAÇÃO DO DISCO ABRASIVO

O conjunto de rotação 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30 do disco abrasivo 28 é constituído, basicamente, de um *motor trifásico* 30, uma *transmissão* 24, 25 e 29 e um *eixo* 23 acoplado a um *disco de lapidação* 27 que funciona como suporte para o *disco abrasivo* 28. A energia da operação de usinagem é basicamente fornecida por esse *motor* 30 e, por isso, ele é o que necessita de maior potência. A rotação do *disco de lapidação* 27 pode variar de 0 a 10.000 rpm, mas, normalmente, é baixa, em torno de 100 rpm, o que leva a necessidade de uma *transmissão* 24, 25 e 29. Essa *transmissão* 24, 25 e 29 reduz a velocidade do *eixo motor do disco abrasivo* 23 e amplifica seu torque, ambos em relação ao *motor* 30. Como as velocidades são baixas e os esforços não são tão grandes, potências entre 367,75 W a 1103,2 W, por exemplo, são suficientes para o *motor* 30 quando se trabalha com pressão de corte entre 0 a 130 kPa.

Entretanto, quanto maior for a área aparente e a força de contato, maior será a potência instalada do *motor 30*.

A transmissão deve ser de construção simples e robusta, sendo o conjunto formado por *correia trapezoidal 24* e duas *polias, maior 25 e menor 29*, apto a atender essas necessidades. Entretanto, outros tipos de transmissão também podem ser aplicados. Incluindo o uso de engrenagens, correntes ou até de conjuntos com motores hidráulicos ou pneumáticos. Existem motores disponíveis no mercado que poderiam suprimir todo o sistema de transmissão *23, 24, 25, 26, 29 e 30* descrito, sendo acoplado diretamente ao *disco de lapidação 7*, pelo fato de possuir mancal próprio e fornecer controle preciso de rotação e torque. Entretanto, seu custo atual é superior ao conjunto *23, 24, 25, 26, 29 e 30* adotado.

O *eixo 23* deve ser robusto para fornecer resistência às deformações oriundas dos esforços de usinagem e dressagem. Os *mancais 26* devem ser montados no *eixo 23* e podem ser utilizados todos os tipos disponíveis no mercado, por exemplo, mancais de rolamento, aerostáticos, hidrostáticos, eletromagnéticos, dentre outros.

**Tabela 4 - Lista de peças do conjunto de rotação do disco abrasivo**

Item	Descrição	Quantidade
23	eixo motor do disco abrasivo	01
24	correia trapezoidal	01
25	polia maior	01
26	mancal de rolamento de esferas	02
27	disco de lapidação	01
28	disco abrasivo ou rebolo	01
29	polia menor	01

30	motor trifásico	01
----	-----------------	----

### CONJUNTO APLICADOR DE FLUIDO DE CORTE

A utilização de fluido de corte é fundamental para a operação de lapidoretificação. A ausência de lubrificação e refrigeração pode gerar a queima da superfície da peça, semelhantes às encontradas na retificação, e distorções de forma. Como a rotação do *disco abrasivo 28* é substancialmente menor que a utilizada na retificação, assim como a taxa de remoção, a energia específica de corte é menor que a encontrada na retificação. Assim o calor gerado é menor e a necessidade de refrigeração também é menor. Dessa forma a utilização de uma quantidade mínima de fluido de corte é mais adequada. Adota-se, portanto, a mínima quantidade de lubrificante (MQL) e pulveriza-se o fluido através de um *bico de aplicação 33*. A vazão na faixa de 0 a 150 ml/h é suficiente para evitar danos térmicos à peça. Outra opção de fluido de corte é a água, que após simples filtragem pode ser reutilizada ou descartada corretamente, sem os inconvenientes de poluição sonora e atmosférica características do MQL.

O fluido de corte é um óleo tipo semi-sintético diluído em água, comum nas indústrias em geral, e o *bico atomizador 33* é um bico do tipo Venturi, dotado de duas entradas, uma *tubulação de ar comprimido 33a* e outra *tubulação de fluido de corte 33f*. A mistura de fluido de corte e ar é pulverizada logo acima da superfície do *disco abrasivo 28* próximo da peça.

O ar comprimido deve ser limpo, ou seja, deve haver um filtro para controle de partículas e não conter óleo lubrificante. Válvulas de controle de pressão e vazão devem ser utilizadas para se controlar a quantidade do

fluido de corte aplicado. Uma válvula direcional bloqueia a passagem do ar desligando a aplicação, quando acionada a passagem do ar proporciona a aplicação. O sinal de acionamento dessa válvula é enviado pelo *conjunto de comando*.

- 5 O circuito do fluido de corte contém, principalmente, um reservatório do mesmo conectado ao *bico 33* por meio de uma tubulação. A Figura 13 mostra esquematicamente os elementos que compõem os circuitos de ar comprimido, amplamente difundido, e do fluido de corte.

**Tabela 5 - Lista de peças do conjunto aplicador de fluido de corte**

Item	Descrição	Quantidade
31	suporte cilíndrico	01
32	suporte para o bico	01
33	bico aplicador	01
33a	tubulação de ar comprimido	01
33f	tubulação de fluido de corte	01

## 10 CONJUNTO DE FIXAÇÃO DA PEÇA

Depois de realizada a preparação do *disco abrasivo 28* pela operação de dressagem, executa-se a operação de usinagem das peças de trabalho. As peças são fixadas em um *dispositivo porta-peças 66* que é parte do *conjunto de fixação da peça 34, 35, 36, até 67*. Esse conjunto possui duas

15 funções: movimentar as peças de trabalho e recalá-las contra o *rebolo 28* com uma carga controlada.

O movimento da(s) peça(s) de trabalho é composto de rotação em torno do eixo do *porta-peças 66* e da translação longitudinal ao longo do

*disco abrasivo 28*. A translação longitudinal é realizada pelo *conjunto de movimentação longitudinal 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10* e a rotação do *porta-peças 66* é transmitida por um *eixo 47* acionado pelo *cabo flexível 34* acionado, por sua vez, pelo *conjunto de monitoramento do torque no eixo*  
5 *motriz 68, 69 até 78* da peça de trabalho. O *eixo 47* que transmite a rotação ao *porta-peças 66* possui um rasgo de chaveta alongado para compensar a movimentação transversal da função de aplicação de carga sobre as peças de trabalho. O mesmo rasgo de chaveta é encontrado no *apoio do porta-peças 65*. Esse *apoio do porta-peças 65* possui alojamentos para os  
10 *mancais de rolamento 58 e 60*. Esses *rolamentos 58 e 60* são alojados no *corpo de fixação sobre a guia com patim 59* que se movimenta na direção transversal fixo à *guia linear 67*. O *apoio do porta-peças 65* pode corrigir continuamente desalinhamentos mantendo a superfície usinada constantemente paralela a superfície do *rebolo 28*, em situação de  
15 lapidoretificação plana. Para lapidoretificação de superfícies complexas o eixo de trabalho, do *conjunto de fixação da peça 55, 56, 57, 60, 61, 63, 64, 65 e 66*, pode ser inclinado, em relação à superfície do *rebolo 28*, de acordo com a especificação almejada. Também é possível inclinar todo o *conjunto*  
*34, 35, 36, até 67*.

20 A carga sobre a peça de trabalho é aplicada pela *mola 52* alojada no *apoio para a mola 53* em uma de suas extremidades, a outra extremidade é apoiada na *porca do fuso 49*. Quando o *fuso 48* é forçado a girar pelo *conjunto 37, 38, 40, 41, 42, 44 e 49* a *porca 49* avança comprimindo a *mola 52*, que reage comprimindo todo o *conjunto 53, 59, 60, 62, 65 e 66* e,  
25 conseqüentemente, a peça contra o *rebolo*. A carga sobre a peça de trabalho é então ajustada pelo deslocamento da *porca do fuso 49*, aumentado com o avanço da mesma. O *fuso 48* também é forçado pela *mola 52*, porém aquele

se encontra rigidamente fixado no *mancal de rolamentos 43* por meio dos *rolamentos 41 e 44*. Esse *mancal 43* está preso na *capa para leitura da escala 45* que, por sua vez, está presa na *peça 17*. A *capa para leitura da escala 45* possui um bilongo para prover a ligação mecânica entre as *peças 49, 50, 51 e 53*. Dessa forma, a leitura da deformação da mola (carga) pode ser feita diretamente pela observação da variação da *bucha 50* ao longo da *escala graduada 51*. O momento torçor do *fuso 48* é gerado pelo *motor de passo 42* e transmitido pelas *polias 37 e 38*, ligadas pela *correia 36*. O *motor de passo 42* é acionado pelo *conjunto de comando* que recebe o valor da carga informado pelo usuário do programa de comando.

**Tabela 6 - Lista de peças do conjunto de fixação da peça**

Item	Descrição	Quantidade
34	cabo flexível com eixo para transmissão de torque	1
35	suporte roscado para prender a capa do cabo	1
36	correia sincronizadora para o motor 3	1
37	polia sincronizadora maior	1
38	polia sincronizadora menor	1
39	prolongador	1
40	suporte para o motor de passo 3	1
41	rolamento	1
42	motor de passo 3	1
43	mancal	1
44	rolamento	1

45	capa com rasgo para leitura da escala	1
46	suporte	2
47	eixo com rasgo de chaveta	1
48	fuso convencional para transmitir o torque do motor 3	1
49	porca do fuso	1
50	bucha para leitura da carga	2
51	escala linear para leitura da carga	1
52	mola	1
53	apoio da mola	1
54	bucha superior com rasgo de chaveta	1
55	porca para fixar apoio do porta-peça	1
56	arruela	1
57	bucha flexível para compensar desalinhamento	1
58	rolamento	1
59	corpo de fixação sobre a guia com patim	1
60	rolamento	1
61	retentor	1
62	mancal	1
63	bucha inferior com rasgo de chaveta	1
64	eixo flexível para compensar desalinhamentos	1
65	apoio do porta-peça para transmissão de torque	1
66	porta-peças	1

67	guia linear com patim	1
----	-----------------------	---

## CONJUNTO DE MONITORAMENTO

### MONITORAMENTO DA POSIÇÃO LONGITUDINAL E TRANSVERSAL

O comando da movimentação dos *eixos longitudinal X e transversais Y e Z* é realizado por um programa computacional que faz parte do conjunto de comando da lapidoretificadora. Esse programa coordena, portanto, o posicionamento do *dressador 14* a da peça de trabalho.

No caso desses movimentos serem realizados sem o auxílio de um monitoramento de posição deve-se presumir que a posição indicada no programa de comando é exatamente igual à medida real nos eixos que ele coordenou. Entretanto, isso nem sempre está correto, se houver algum esforço capaz de bloquear o movimento dos *motores 12, 21 e 42*, mesmo que momentâneo, o programa de comando não percebe e há um erro entre a posição real e a mostrada no programa de comando, gerando uma defasagem entre a posição real e a posição desejada.

Para minimizar esse problema pode ser realizado o monitoramento da posição dos *eixos longitudinal X e transversais Y e Z*. É possível aplicar o sensor de posicionamento indireto, o qual informa, por exemplo, a posição angular atual dos motores 12, 21 e 42. Dessa maneira, pode-se monitorar a rotação medida no eixo do motor e compará-la com aquela mostrada no programa de acionamento, se houver diferença a última é corrigida.

Entretanto, dependendo da precisão exigida, o monitoramento indireto pode indicar uma posição incorreta devido ao fato da tomada de posição acontecer nas partes intermediárias do conjunto. O motor que aciona um fuso de esferas recirculantes tem seu movimento angular transformado em movimento linear, as folgas, a dilatação térmica e a deformação elástica do equipamento são exemplos de erros inerentes da medição indireta, embora na maioria dos casos possua um custo inferior.

Por outro lado, podemos empregar o método direto de medição, que nesse caso ocorre diretamente sobre a parte que se deseja conhecer a posição, evitando assim os problemas citados anteriormente. Um exemplo de medição direta é a utilização de um transdutor linear, também conhecido como régua linear ou régua óptica, montado paralelo às *guias lineares 3, 13 e 67*.

## MONITORAMENTO DO TORQUE NO EIXO MOTRIZ DA PEÇA DE TRABALHO

Além do movimento de translação longitudinal, a peça de trabalho é submetida a uma rotação em torno do eixo do *dispositivo porta-peças 66*. O movimento de rotação do *porta-peças 66*, por sua vez, provém do acionamento de uma das extremidades do *cabo flexível com eixo para transmissão de torque 34*. A outra extremidade é presa ao *conjunto de monitoramento de torque 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77 e 78*. Esse conjunto de monitoramento possui um *torquímetro rotativo 73*, sensor que mede o torque por ele suportado em seu eixo. O *torquímetro 73* é acoplado a dois *eixos concêntricos 71 e 75*, fixados nos mancais *72 e 76*, que por sua vez, são acoplados aos seus *subjacentes 70 e 74* impedindo a rotação do

corpo externo do *torquímetro* 73. O componente que aciona o conjunto de monitoramento de torque e por sua vez proporciona movimento de rotação da peça de trabalho é o *motor* 30. A transmissão, composta de duas *polias sincronizadoras* 78 e uma *correia sincronizadora* 77, é responsável por

5 conectar mecanicamente o *eixo motor do disco abrasivo* 23 ao eixo do *torquímetro* 73. A relação de transmissão das *polias* 78 é 1:1, ou seja, a velocidade de rotação do eixo do *torquímetro* 73 é a mesma do *eixo do disco abrasivo* 23, ou ainda, a velocidade de rotação da peça de trabalho é a mesma do *disco abrasivo* 28. Essa característica é desejada e se baseia nos

10 estudos da cinemática da lapidação feitos por Stähli (1998). Stähli notou que para velocidades angulares do *disco de lapidação* 27 e *porta-peça* 66 iguais, a taxa de remoção de material nos diferentes pontos do *disco de lapidação* 27 será idêntica. Portanto, na lapidoretificação a velocidade angular do *rebolo* 28 e do *porta-peças* 66 deve ser preferencialmente a

15 mesma. Dependendo do material da peça e da composição do rebolo diferentes relações de rotação podem ser empregadas.

**Tabela 7 - Lista de peça do mecanismo para monitoramento do torque no eixo motriz da peça de trabalho**

Item	Descrição	Quantidade
68	Contra peça para fixação do cabo flexível	1
69	Fixador do cabo flexível para transmissão do torque	1
70	Mancal	1
71	Eixo com rasgo para acoplar o torquímetro	1
72	Mancal com rolamentos	1

73	Torquímetro rotativo	1
74	Mancal com suporte para o torquímetro	1
75	Eixo com rasgo para acoplar o torquímetro	1
76	Mancal com rolamentos	1
77	Correia sincronizadora	1
78	Polia sincronizadora	2

### MONITORAMENTO DE EMISSÃO ACÚSTICA

O monitoramento da emissão acústica (EA) é realizado por um sensor de emissão acústica comercial instalado no *corpo de fixação 59*, próximo do *porta-peças 66*. Esse sensor capta os sinais acústicos, gerados no processo de lapidoretificação e dressagem, e transmite as informações para o aparelho que se encarrega de processar o sinal.

Durante a operação de dressagem, o monitoramento da emissão acústica é realizado com a intenção de determinar o momento do contato da *ponta de diamante 14* no *disco abrasivo 28*. Nesse momento o programa defini as coordenadas do contato e armazena a posição definindo, assim, o chamado “zero peça”. Duas posições são determinadas usando esse recurso: a posição em que a *ponta de diamante 14* toca a superfície superior do *rebolo 28*, movimentação transversal; e a posição que o *dressador 14*, com diâmetro calibrado, toca a superfície lateral do *disco abrasivo 28*. Na descrição do *conjunto de comando* é esclarecido a operação executada pelo programa para definir o “zero peça” nos eixos transversal e longitudinal, respectivamente.

A outra função do monitoramento da emissão acústica diz respeito ao acompanhamento da operação de lapidoretificação. Com o decorrer da usinagem o disco desgasta-se; sendo a emissão acústica a ferramenta empregada para avisar o momento oportuno para dressar, novamente, o

5 *disco abrasivo 28*.

Pesquisadores como Dornfeld (1999) e Inasaki (1999) afirmam que a emissão acústica possui grande sensibilidade ao baixo nível de sinal das condições de maior precisão, e consistência com a magnitude do fenômeno que está sob investigação. Ou seja, há uma correspondência entre o nível de

10 ruído acústico e as condições de usinagem do *disco abrasivo 28*, sendo possível detectar variações nas condições de corte e se determinar o momento adequado para se efetuar uma nova operação de dressagem. A intervenção da dressagem nesse momento do processo evita variações na qualidade das peças e o processo de lapidoretificação passa a oferecer uma

15 forma eficiente de restabelecer as condições de corte, vantagem que não se encontra, por exemplo, na lapidação.

## **MONITORAMENTO DA CARGA SOBRE O CORPO-DE-PROVA**

A lapidoretificação, assim como a lapidação, pode utilizar carga

20 extra sobre a peça de trabalho. A magnitude dessa força de compressão esta diretamente ligada à taxa de remoção de material, ao desgaste do *rebolo 28* e a qualidade superficial da peça. Durante a operação de usinagem o programa de comando aciona o *motor 42* e este varia a energia potência elástica da *mola 52* que por sua vez altera a magnitude da força de

25 compressão suportada pela peça. A intensidade da carga é modificada

manualmente durante a usinagem, pela observação direta da *escala 51*, ou automaticamente pelo programa.

A utilização de extensômetro ou célula de carga na *mola 52*, pistão hidráulico ou pneumático são exemplos de ferramentas que podem ser empregadas para controlar a magnitude da força de compressão.

### **MONITORAMENTO DA POTÊNCIA DO MOTOR DO DISCO ABRASIVO**

A energia mecânica provém do *motor 30*, integrante do conjunto 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30. Parte dessa energia é direcionada para movimentar o *disco abrasivo 28* e parte para movimentar o *porta-peças 66*. O monitoramento do consumo de energia do *motor 30* é realizado por um sensor de potência elétrica comercial chamado de wattímetro, baseado no conceito de efeito Hall. Essa potência, associada a emissão acústica, fornece informação suficiente para controlar a taxa de remoção de material, desgaste do rebolo, ocorrência de queima da peça, qualidade superficial e outras importantes condições de usinagem.

### **CONJUNTO DE COMANDO E ACIONAMENTO**

O conjunto de comando é composto por um *programa de comando*, *driver* e *sensores*, cada qual possui funções específicas que são descritas a seguir:

**O programa de comando é responsável por:**

- fornecer um meio de comunicação simples e de fácil interpretação para o usuário da máquina;
- receber as informações referentes às operações de usinagem e dressagem, processá-las e arquivá-las;
- 5 - enviar os dados processados para o *driver*.

**O *driver* é responsável por:**

- receber os dados processados pelo programa de comando;
- fazer um novo processamento dos dados e gerar sinais elétricos de potência para os *motores de movimentação longitudinal 12* e transversal *21 e 42*, do *motor principal 30* e da válvula para aplicação do fluido de corte.
- 10 - receber os sinais dos sensores, processá-los, e transmiti-los para o software. Os sensores, denominados de chave de curso, têm a função de informar a posição de referência da máquina chamada de “zero máquina”. Podem ser do tipo indutivo, capacitivo, contato mecânico, ultrasônico ou
- 15 qualquer outro sensor comercial.
- comandar acessórios como, por exemplo, aspirador de partículas e líquidos para manter a superfície do *rebolo 28* limpa, luzes para iluminação e sinalização.

A Figura 12 ilustra a transmissão de informações no conjunto de comando. Os sinais dos *sensores de final de curso* e dos sensores do *conjunto de monitoramento* são recebidos pelo *driver* que, após processá-los, envia para o programa de comando.

O programa de comando recebe essas informações e, de posse dos parâmetros de dressagem e usinagem informados pelo usuário, gera os

sinais elétricos contendo os deslocamentos e velocidades dos eixos *X*, *Y* e *Z*, a rotação do motor 30 do disco abrasivo 28 e o sinal de abertura/fechamento da aplicação do fluido de corte.

Esses sinais são transmitidos para o *driver* que comandará os motores 12, 21 e 42, o inversor de frequência e a válvula de aplicação do fluido de corte. Esse fluxo de informação é contínuo e alterações nas operações de dressagem e usinagem podem ser feitas a qualquer momento por solicitação do usuário.

Para o programa de comando, a operação de dressagem não se resume apenas na geração de uma “rosca” ou macroefeito sobre a superfície do disco abrasivo 28, mas também na geração de um perfil qualquer de geometria definida pelo usuário. Esse perfil pode ser composto por diferentes regiões, cada qual com seu respectivo grau de recobrimento, afim de se obter superfícies geométricas do rebolo 28 mais complexas aptas a usinagem de peças perfiladas ou simplesmente representar o formato do mesmo após sucessivas dressagens. A Figura 13 expressa, genericamente, algumas das possibilidades de perfis gerados no disco abrasivo.

O usuário do programa utiliza uma linguagem de programação codificada muito parecida com a linguagem ISO, conhecida também por Código G. Essa linguagem baseia-se na formação de blocos de comando que traduzem uma representação geométrica do caminho que a ferramenta deve seguir. Esses blocos de comando contém, genericamente, informações como:

- sequência das instruções (identificado pela letra N)
- comandos auxiliares (identificado pela letra M)

- tipo de movimento (identificado pela letra G)
- coordenadas do movimento (identificadas pelas letras X, Y e Z)
- velocidade de deslocamento (identificado pela letra S)

Muitas outras informações fazem parte dos blocos de comando, 5  
entretanto, o perfilamento do disco abrasivo se resume a movimentação da  
ponta do *dressador 14* através de pontos coordenados interpolados por  
linhas ou arcos de circunferência e, para isso, poucos tipos de comandos  
são necessários.

A Figura 16 mostra um exemplo da interface do programa de 10  
comando. A tela se assemelha aos painéis de comando industriais, em que  
o programa é inserido pelo usuário por meio de seleção das letras e  
números que formam os blocos de comando.

O comando da lapidoretificadora também dispõe de recursos gráficos  
para a simulação da operação de dressagem. Dessa forma, o usuário pode  
15 visualizar o perfil gerado no *disco abrasivo 28* antes ou durante a operação  
de dressagem. Os comandos numéricos usados em máquinas-ferramenta  
possuem os mesmos recursos e a programação do processo é feita tendo  
por base o formato da matéria-prima e a geometria final. No comando da  
dressagem, a programação é feita a partir do formato gerado pela última  
20 operação de dressagem, ou seja, como o *disco abrasivo 28* pode ser parte  
integrante da máquina, o programa de comando deve armazenar o último  
perfil, a partir do qual é realizada a nova programação. Para o programa de  
comando, cada *rebolo 28* possui um código atrelado ao formato bruto,  
normalmente cilíndrico, que é informado pelo usuário. Feita a primeira  
25 programação, a dressagem é realizada e o perfil do *rebolo 28* armazenado.  
Quando o operador proceder nova programação, o último perfil é carregado

e apresentado na tela de comando como formato inicial da dressagem subsequente.

Se o *disco 28* é trocado o programa carrega o novo perfil. Entretanto, para se iniciar a operação de dressagem em um disco novo, é necessário referenciá-lo. Inicialmente, desloca-se o *dressador 14* até ativar os *sensores de final de curso*, posição esse definida como “zero máquina”. A partir desse ponto é necessário identificar a posição do *disco abrasivo 28* em relação à referência da máquina. Assim, a ponta do *dressador 14* é movimentada em direção a superfície superior do *rebolo 28* até que o *sensor de emissão acústica* acuse o contato. Essa posição é armazenada pelo programa na coordenada Y do “zero peça”. Depois o *dressador 14* é deslocado para a lateral do *rebolo 28* e movimentado até ocorrer o contato de sua haste, de diâmetro conhecido, na superfície lateral do disco abrasivo. Com o aviso de contato emitido pelo *sensor de emissão acústica* a posição é armazenada na coordenada X do “zero peça”, acrescida do valor do raio da haste do *dressador 14*. Dessa forma o *disco abrasivo 28* encontra-se referenciado e a operação de dressagem pode ser iniciada.

O formato do *rebolo 28* armazenado no programa de comando é referenciado pelo “zero peça”. E as sucessivas dressagem formam um perfil sempre atualizado e armazenado pelo programa. Toda manipulação ou substituição do *rebolo 28* deve ser acompanhado de uma nova calibração para não ocasionar problemas durante a dressagem.

Os comandos de movimentação do *dressador 14* são os mesmos encontrados na linguagem ISO. Para movimentação linear rápida utiliza-se o comando G00 e para uma movimentação linear lenta o G01. Para os arcos de circunferência o comando G02, para interpolação no sentido horário, e G03 no sentido anti-horário. Entretanto, como a dressagem

possui parâmetros próprios, foi adicionado o comandos para o ciclo de dressagem.

O ciclo de dressagem, em uma região plana, é representado pelo comando D01 que possui a seguinte sintaxe:

5 N \_\_\_ D01 X \_\_\_ Y \_\_\_ L \_\_\_ ad \_\_\_ Ud \_\_\_ bd \_\_\_

onde X e Y são as coordenadas do ponto inicial da dressagem, L e ad são as coordenadas do ponto final da dressagem, ou seja, L é o comprimento da região a ser dressada no eixo X e ad é a profundidade de dressagem no eixo Y. Por fim, Ud é o grau de recobrimento definido pelo operador e bd é a

10 largura de atuação da ponta do *dressador 14*.

De posse desses parâmetros e da *rotação do rebolo w* o programa de comando calcula a *velocidade de deslocamento V* do *dressador 14* através do equacionamento descrito a seguir:

$$V = Sd \left[ \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right] \cdot w \left[ \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right] = \frac{bd \cdot w}{Ud} \left[ \frac{\text{mm}}{\text{min}} \right] \quad [3]$$

15 Definidos a *velocidade de deslocamento longitudinal* do *dressador V* e a profundidade de dressagem ad a operação de dressagem plana se resume na movimentação do *dressador 14* ao longo do eixo X, partindo-se da posição inicial X1 até a posição final X1 + L. O *dressador* faz esse trajeto com a coordenada Y fixa na posição Y1 + ad. O ciclo de dressagem

20 D01 termina com uma movimentação rápida até a posição de referencia, por exemplo, o “zero máquina”.

Toda a operação de dressagem descrita também poderia ser executada em uma máquina dedicada ou adaptada para esse fim, segundo as características técnicas apresentadas, e ao término do processo o rebolo poderia ser fixado na lapidoretificadora ou até mesmo no disco de lapidação de uma lapidadora ou no quarto eixo de uma fresadora ou qualquer outro tipo de máquina-ferramenta, por exemplo.

O macroefeito também pode ser induzido na superfície do rebolo injetando-se abrasivo e ligante num molde previamente usinado com a característica superficial desejada ou até mesmo por meio de estampagem, a quente ou a frio, na superfície do rebolo. O micro efeito poderia então ser inserido projetando-se partículas contra a superfície do rebolo, como no jateamento com grãos de areia ou esferas de aço.

## REIVINDICAÇÕES

1. Processo abrasivo para acabamento de ultraprecisão com grãos abrasivos fixos unidos por ligante formando o rebolo, caracterizado pela operação de dressagem, executada por dressador, segundo o conceito de grau de recobrimento e cinemática relativa entre peça e rebolo aleatória semelhante à lapidação.

2. Rebolo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os grãos são feitos de abrasivos escolhidos em parte ou totalidade entre carboneto de silício, óxido de alumínio, óxido de silício, nitreto de silício, diamante natural, diamante sintético, nitreto de boro cúbico, nitreto de boro cúbico policristalino ou qualquer outro material abrasivo natural ou artificial.

3. Rebolo de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado pelo fato de que a dureza dos grãos abrasivos é superior a dureza do material da peça que será produzida pelo processo de lapidoretificação.

4. Ligante do rebolo de acordo com as reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que o ligante é escolhido em parte ou totalidade entre resinóides, vitrificados, metálicos, borrachas ou qualquer outro tipo natural ou artificial.

5. Rebolo de acordo com as reivindicações 1, 2 e 3, caracterizado pelo fato de que o ligante é resinóide prensado a quente.

6. Rebolo de acordo com as reivindicações 1 a 5, caracterizado por macroefeito e microefeito decorrente da operação de dressagem segundo o conceito de grau de recobrimento.

7. Grau de recobrimento de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por valores compreendidos entre 0,3 e 10 inclusive.

8. Rebolo de acordo com as reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que os grãos abrasivos têm granulometria entre #100 e #2000 mesh.

9. Grãos abrasivos de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que seu formato pode assumir qualquer geometria.

5 10. Grãos abrasivos de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que os mesmos podem ou não serem cobertos por outros materiais.

11. Grau de recobrimento de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que podem ser aplicados diferentes valores de grau de recobrimento em diferentes regiões de um mesmo rebolo.

12. Grau de recobrimento de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que pode ser gerado na própria lapidoretificadora ou em qualquer outra máquina-ferramenta, por exemplo, torno mecânico, fresadora ou retificadora.

15 13. Dressagem de acordo com a reivindicação 12, caracterizada pelo fato de que sua execução pode ocorrer simultaneamente a lapidoretificação ou com a interrupção da mesma.

14. Rebolo de acordo com as reivindicações de 1 a 13, caracterizado pelo fato de que o rebolo pode assumir diferentes geometrias.

20 15. Dressador de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a ponta é feita de diamante natural, diamante sintético ou nitreto de boro cúbico ou qualquer outro material natural ou artificial.

16. Dressador de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de possuir ponta única ou múltiplas.

25 17. Dressador de acordo com as reivindicações 15 e 16, caracterizado pelo fato de que a geometria da ponta pode ser escolhida entre cônica, piramidal, esférica ou qualquer outra forma.

18. Rebolo de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que sua rotação varia entre 0 e 10.000 rpm.

19. Rebolo de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de que pode ser utilizado mais de um rebolo simultaneamente no processo  
5 de lapidoretificação tal como nos processos de brunimento plano, lapidação, retificação, polimento, dentre outros.

20. Cinemática relativa entre peça-obra e rebolo de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por gerar risco aleatórios na superfície da peça.

10 21. Peça-obra de acordo com a reivindicação 20, caracterizada por superfície plana e/ou complexa.

22. Peça-obra de acordo com a reivindicação 21, caracterizada por acabamento superficial subnanométrico com aspecto especular.

15 23. O processo abrasivo de acordo com as reivindicações 1 a 22, caracterizado pelo fato de que pode ocorrer a seco ou com a aplicação de fluido de corte.

20 24. Fluido de corte de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de que pode ser escolhido entre ar, aquosos (água, emulsões com óleos solúveis, microemulsões com fluidos semi sintéticos, soluções químicas de fluidos sintéticos) e óleos (minerais, sintéticos, graxos, compostos, extrema pressão, usos múltiplos).

25 25. Fluido de corte de acordo com a reivindicação 24, caracterizado pelo fato de que a aplicação pode ser de forma abundante, por imersão ou com a técnica da Mínima Quantidade de Fluido.

26. Processo abrasivo de acordo com as reivindicações 1 a 25, caracterizado pelo nome de lapidoretificação e a máquina-ferramenta de lapidoretificadora.

27. Processo de lapidoretificação para acabamento de ultraprecisão com grãos abrasivos fixos unidos por ligante formando o rebolo, dressado segundo o conceito de grau de recobrimento, montado de tal forma que o eixo do disco é perpendicular à superfície da peça de trabalho, e cinemática  
5 relativa entre peça e rebolo aleatória, semelhante à lapidação, de acordo com as reivindicações 1 a 26, caracterizado pelo fato de que:

- a face lateral do rebolo é dotada de macroefeito e microefeito por meio de dressador segundo o conceito de grau de recobrimento,
- recalca-se a peça de trabalho contra à superfície dressada,
- 10 - a cinemática relativa entre a peça de trabalho e a superfície abrasiva é caracterizada por movimento planetário, produzindo uma superfície com riscos em direções aleatórias.

28. Máquina lapidoretificadora de acordo com as reivindicações de 1 a 27, caracterizada pelo fato de que a estrutura mecânica da  
15 lapidoretificadora é construída utilizando-se ferros fundidos, aços, granitos (naturais ou sintéticos), materiais compósitos ou a utilização simultânea de mais de um tipo.

29. Estrutura mecânica de acordo com a reivindicação 28, caracterizada pelo fato de que a estrutura é idealmente feita de um  
20 monobloco de ferro fundido.

30. Rebolo de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de que a estrutura ou composição química pode variar, por exemplo, radialmente ou de qualquer outra maneira.

31. Rebolo de acordo com a reivindicação 30, caracterizado pelo fato  
25 de que o rebolo é confeccionado por segmentos abrasivos menores.

32. A relação entre a velocidade angular da peça(s), ou do porta-peça(s), e da superfície abrasiva deve ser preferencialmente igual a 1, podendo ser utilizada qualquer outra relação dependendo da trajetória dos grãos abrasivos desejada para a usinagem da(s) peça(s)

5 33. Cinemática relativa entre peça e rebolo de acordo com a reivindicação 20, caracterizada pelo fato de que a relação entre a velocidade angular da peça e do rebolo varia entre -10 e 10, sendo a relação igual a 1 o valor mais interessante.

34. Movimento de translação da peça de acordo com a reivindicação 1 e 28, caracterizado pelo fato de que pode ser realizado em conjunto com o dressador ou por meio de dispositivo independente.

35. Movimentos de translação longitudinal e transversal de acordo com a reivindicação 1 e 28, caracterizado pelo fato de que a precisão de posicionamento é escolhida entre 0,1 e 100  $\mu\text{m}$ .

15 36. Movimentos de translação longitudinal e transversal de acordo com a reivindicação 35, caracterizado pelo fato de que o acionamento é escolhido entre elétrico, eletromagnético, pneumático, hidráulico dentre outros.

37. Rotação da peça-obra de acordo com a reivindicação 1 e 28, 20 caracterizado pelo fato de que o movimento angular é escolhido entre acionamento indireto, auxiliado por eixo flexível, eixo rígido, correia, engrenagem e acoplamento magnético, ou por acionamento direto.

38. Acionamento direto ou indireto de acordo com a reivindicação 37, caracterizado pelo fato de que o acionamento é escolhido entre elétrico, 25 eletromagnético, pneumático, hidráulico dentre outros.

39. Conjunto compensador de desalinhamento de entre o eixo de rotação do rebolo e o eixo de rotação da peça de trabalho de acordo com a

reivindicação 37, caracterizado pelo fato de que a correção é feita por rolamento autocompensador.

40. A aplicação da carga de usinagem de acordo com a reivindicação 1 e 28, caracterizado por aplicação manual ou automática e magnitude alterada de forma conveniente durante o processo de lapidoretificação.

41. Magnitude da força de acordo com a reivindicação 40, caracterizada por aplicação escolhida entre adição ou subtração de massas definidas, deformação de mola, variação da pressão do fluido dentro de um pistão, eletroímãs ou qualquer outro equipamento.

42. Aplicação da carga sobre a peça de trabalho de acordo com a reivindicação 41, caracterizada pelo fato de que a leitura da magnitude é realizada por medição direta ou indireta por meio de equipamento mecânico, eletrônico, pneumático, hidráulico, ou por qualquer outro equipamento ou associação de equipamentos destinados para esse fim, por exemplo, réguas graduadas, réguas eletrônicas, células de carga, manômetros, sensores piezoelétricos e *strain gauges*.

43. Monitoramento do processo de acordo com a reivindicação 1 e 28, caracterizado por medidor rotativo de torque, sensor de efeito *hall*, acelerômetro, sensor de posição, chave final de curso e emissão acústica.

44. Monitoramento do contato do dressador na superfície do rebolo de acordo com a reivindicação 43, caracterizado por definir a coordenada do “zero peça” em relação à coordenada de “zero máquina”.

45. Programa de comando do processo de lapidoretificação de acordo com a reivindicação 1 e 28, caracterizado por programa computacional que gerencia as funções da máquina através da troca de informações com um driver responsável pelo acionamento de diversas funções como: movimentação dos eixos, ciclo de dressagem, aplicação de fluido de corte,

rotação do disco abrasivo, parada de emergência, troca de rebolo, troca de dressador e acessórios.

46. Acessórios de acordo com a reivindicação 45, caracterizados por aspirador de sólido e líquido, ar comprimido, eletroímã, sinalizador de luz,  
5 abertura e fechamento de porta e sinal sonoro.

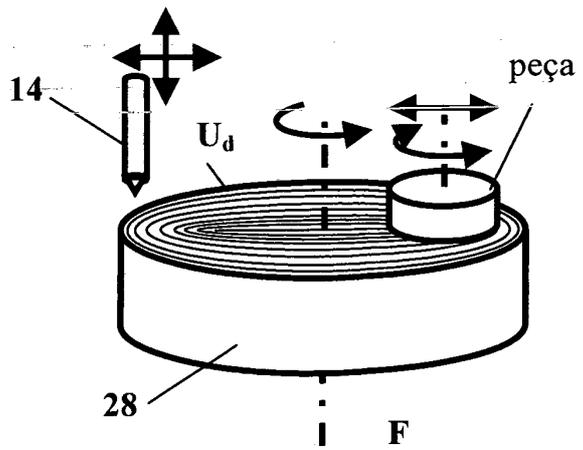
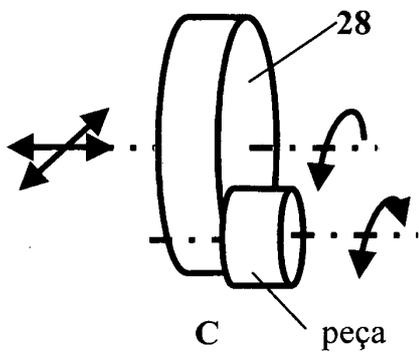
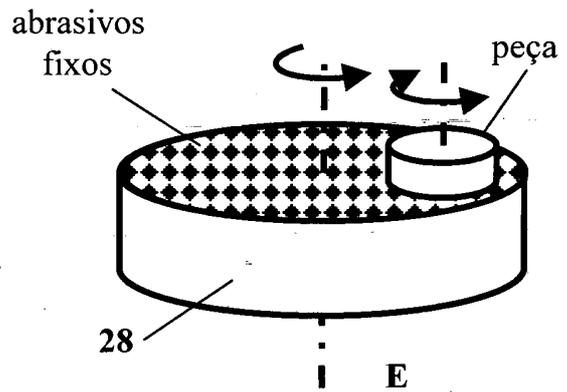
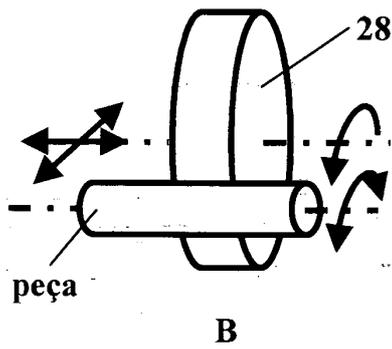
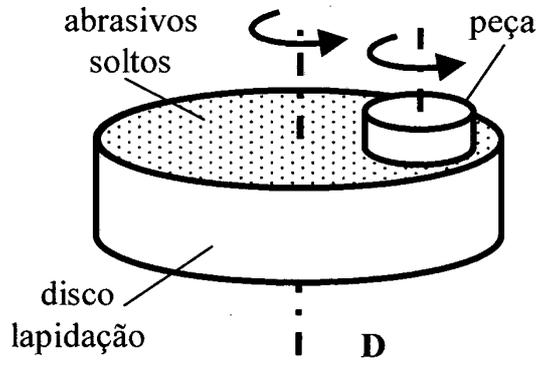
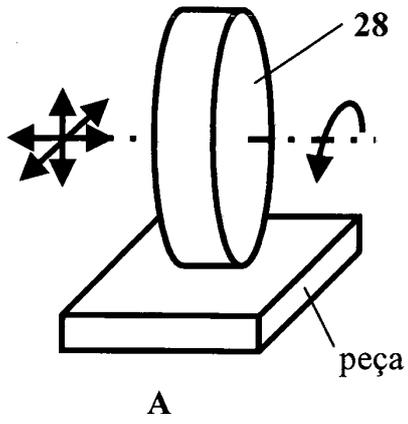
47. Ciclo de dressagem de acordo com a reivindicação 45, caracterizado por comando D01 que possui a seguinte sintaxe:

N \_\_\_ D01 X \_\_\_ Y \_\_\_ L \_\_\_ ad \_\_\_ Ud \_ bd \_\_\_

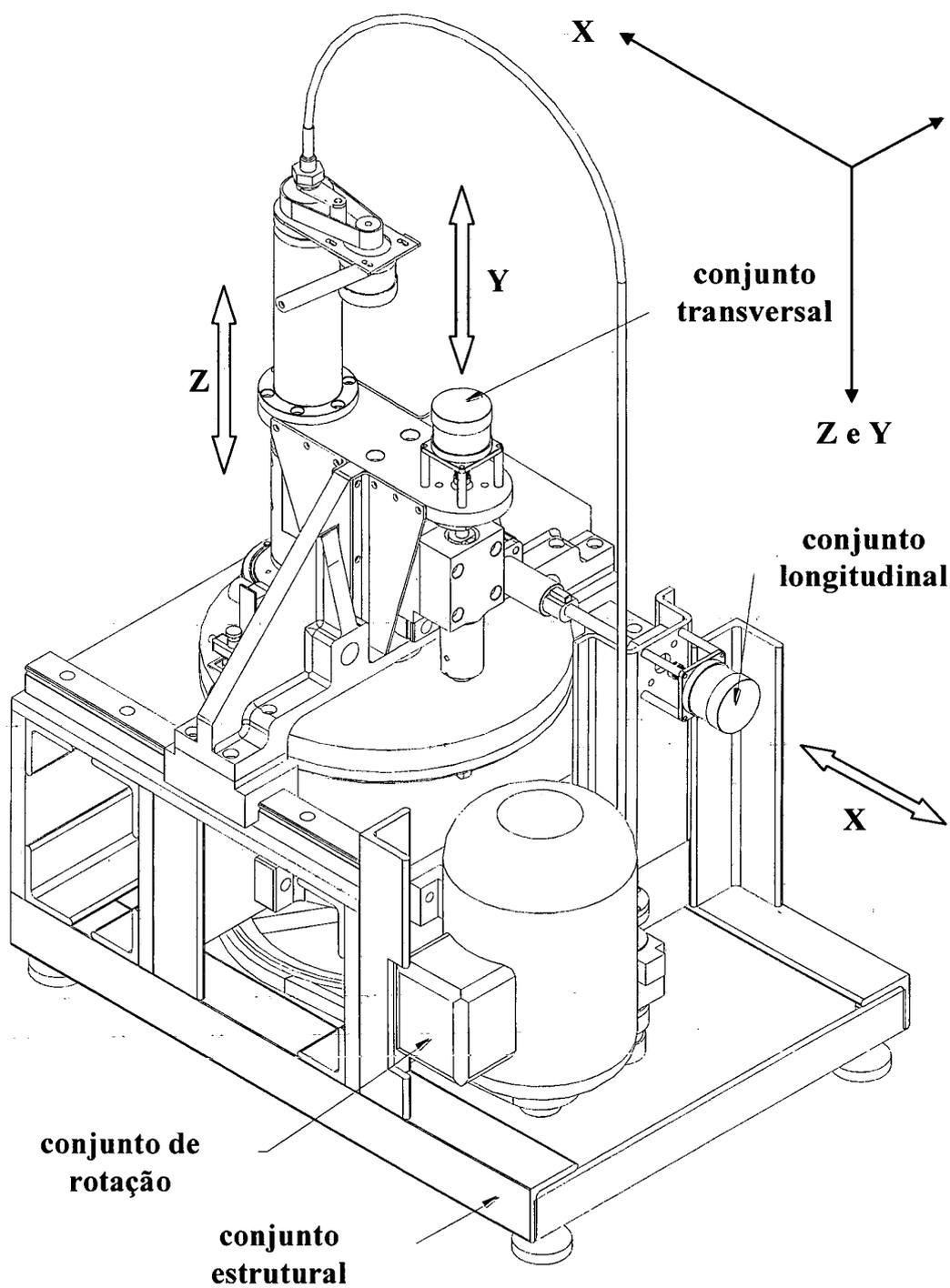
onde X e Y são as coordenadas do ponto de início da dressagem, L e ad são  
10 as coordenadas do ponto final da dressagem, ou seja, L é o comprimento da região a ser dressada e ad é a profundidade de dressagem. Por fim Ud é o grau de recobrimento que se deseja na dressagem e bd é a largura de atuação da ponta de diamante.

48. Dressador de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo  
15 fato de que durante a operação de dressagem o dressador é excitado mecanicamente ou eletricamente com frequência selecionada entre 10 hz e 100 Ghz.

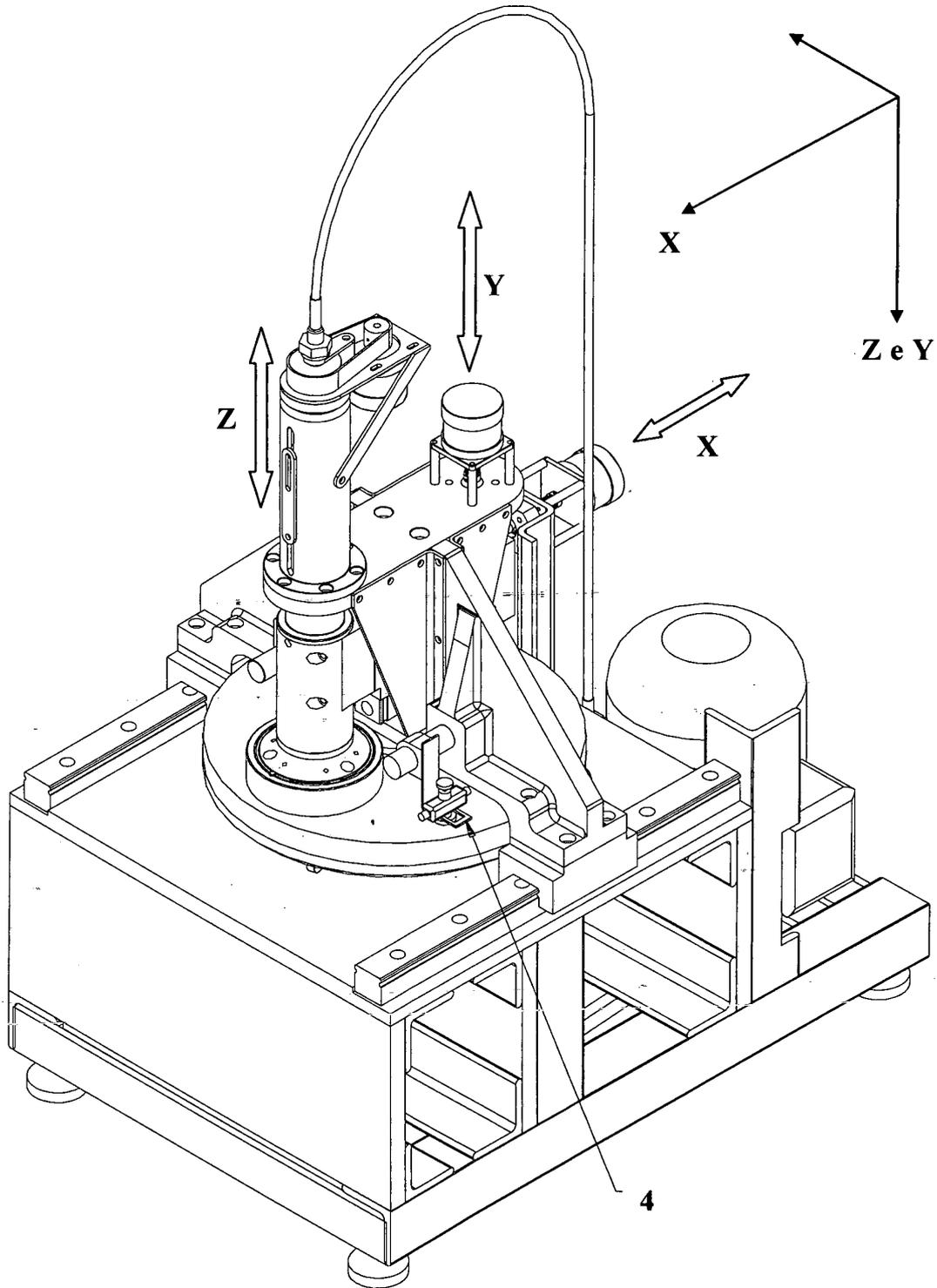
49. Magnitude da compressão de acordo com a reivindicação 42, caracterizado pelo fato de que a razão entre a força de contato e a área da  
20 peça é escolhida entre 0 e 1 MPa.



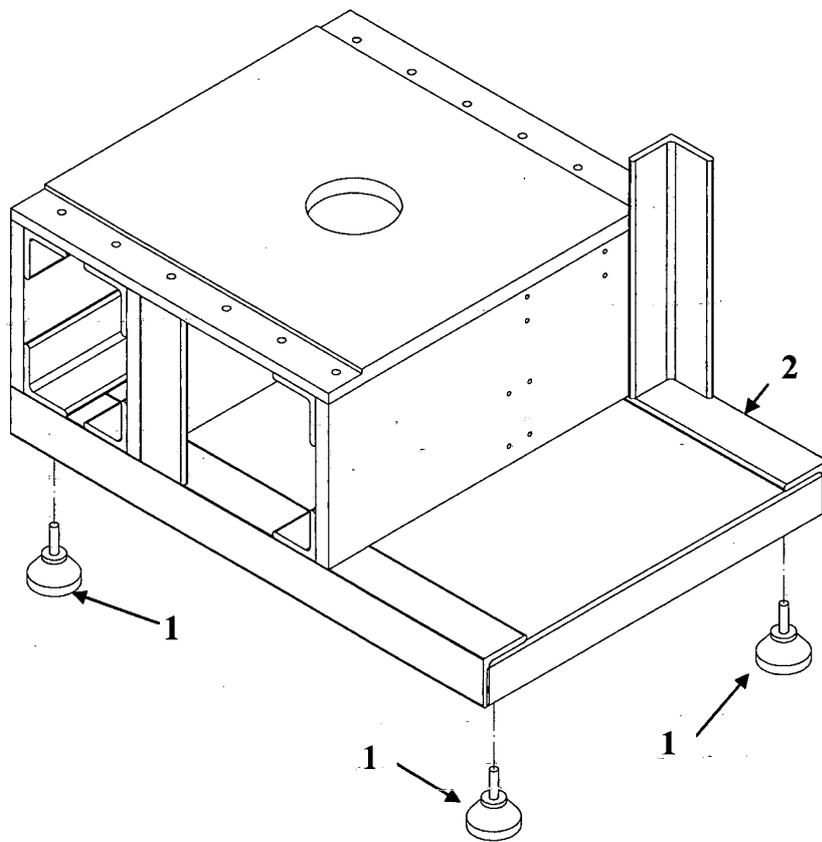
**FIG.1**



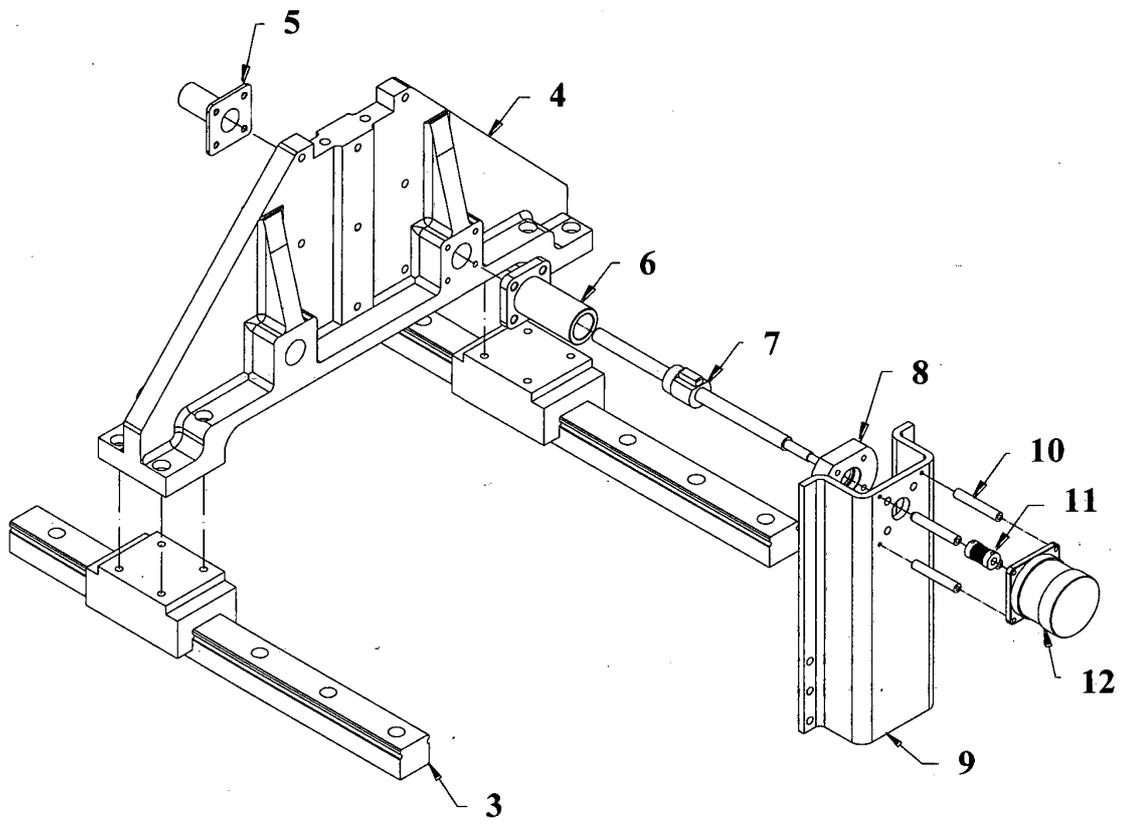
**FIG.2**



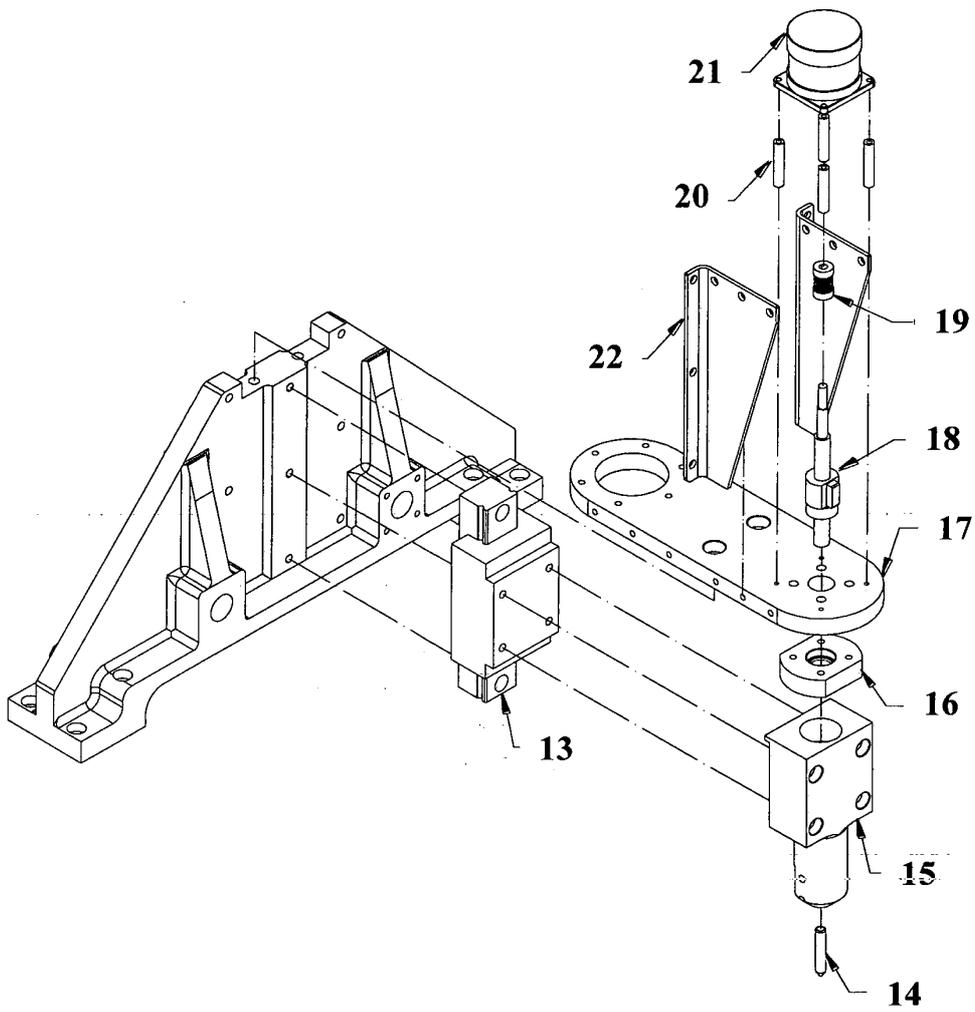
**FIG.3**



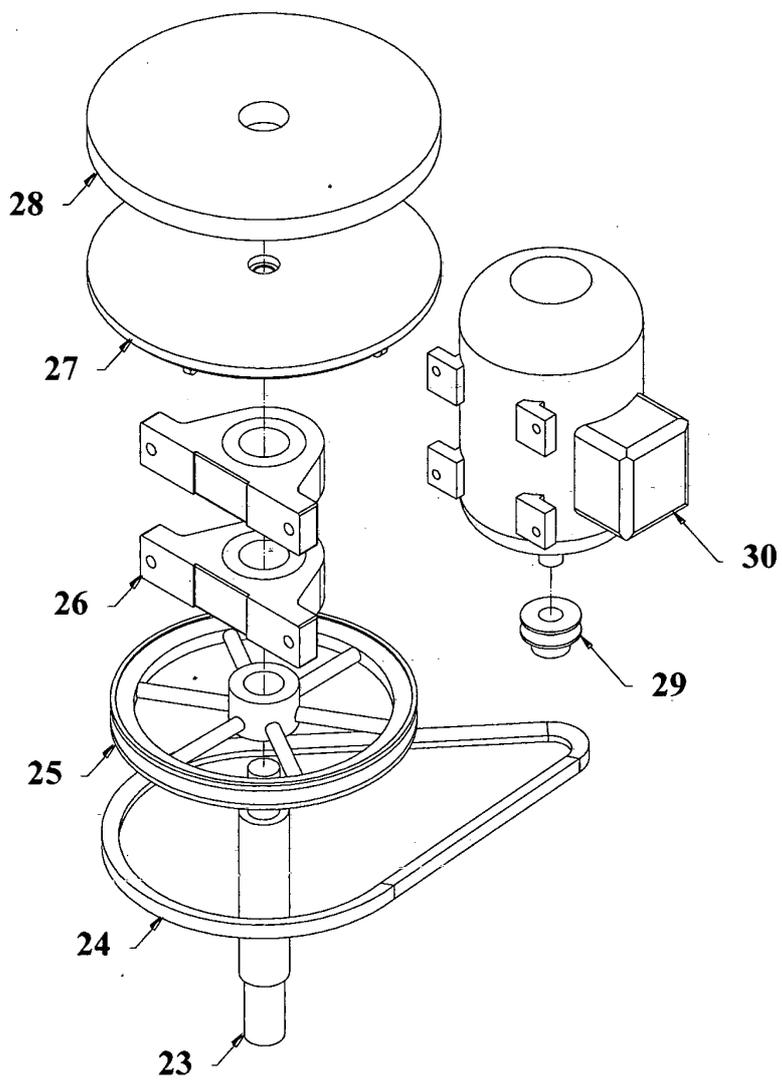
**FIG.4**



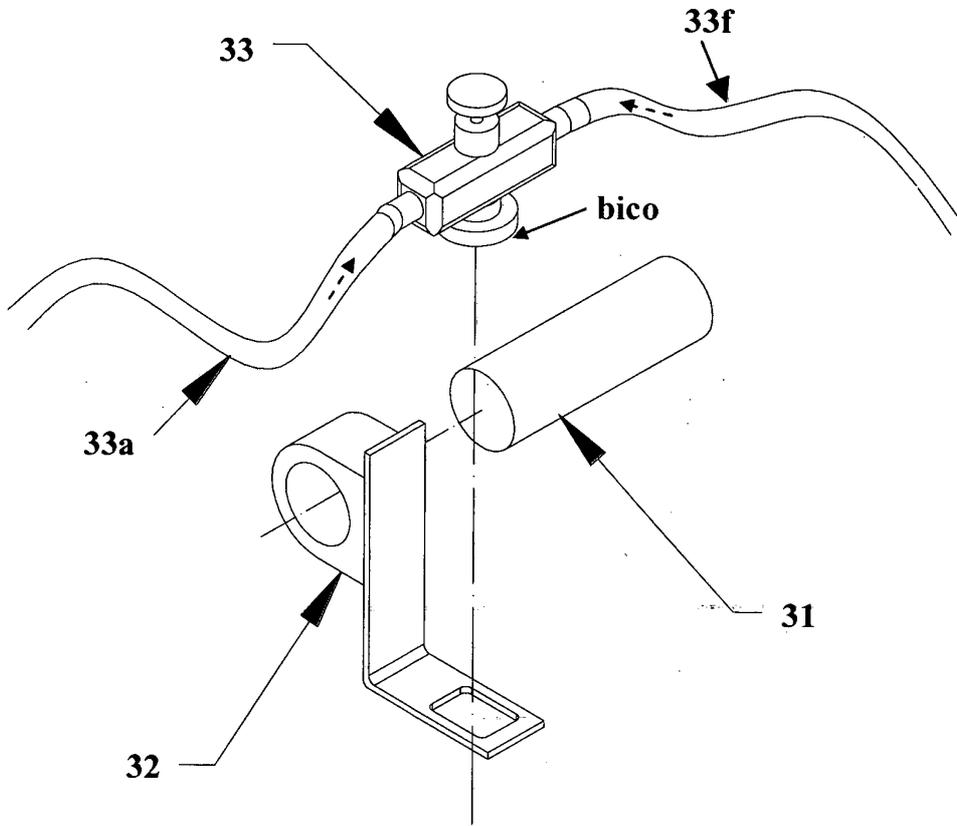
**FIG.5**



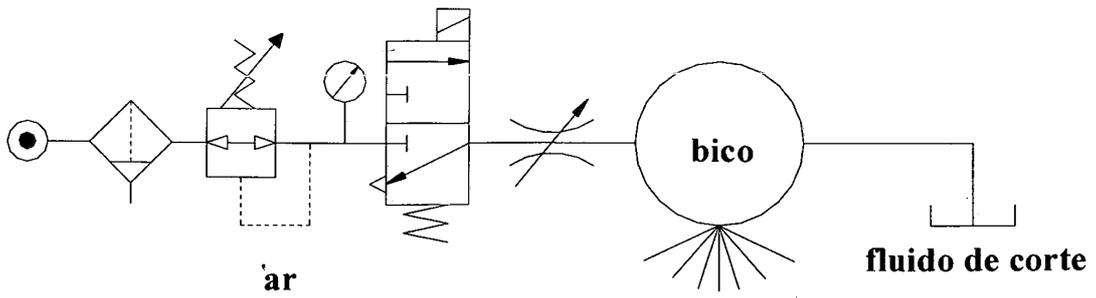
**FIG.6**



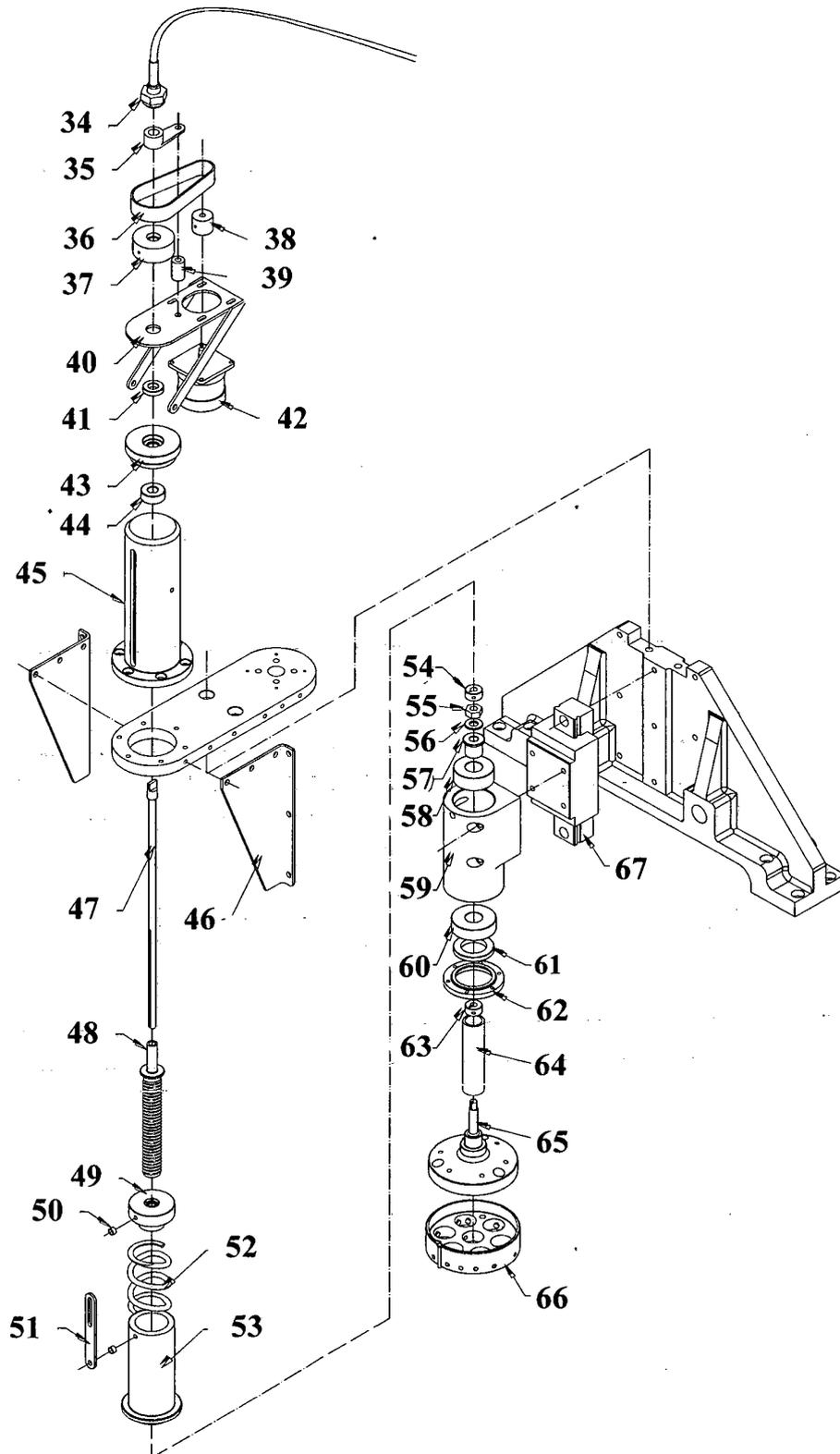
**FIG.7**



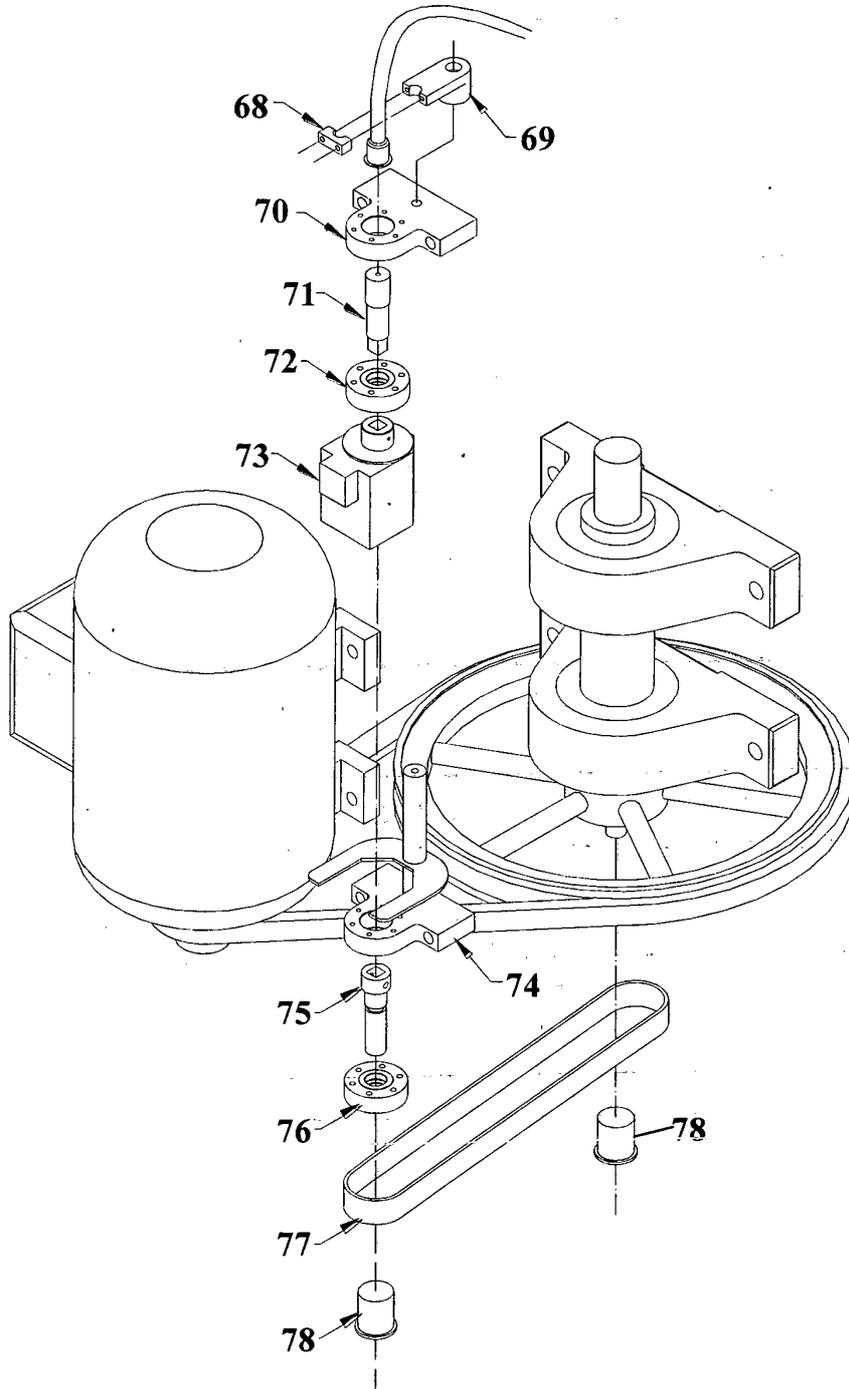
**FIG.8**



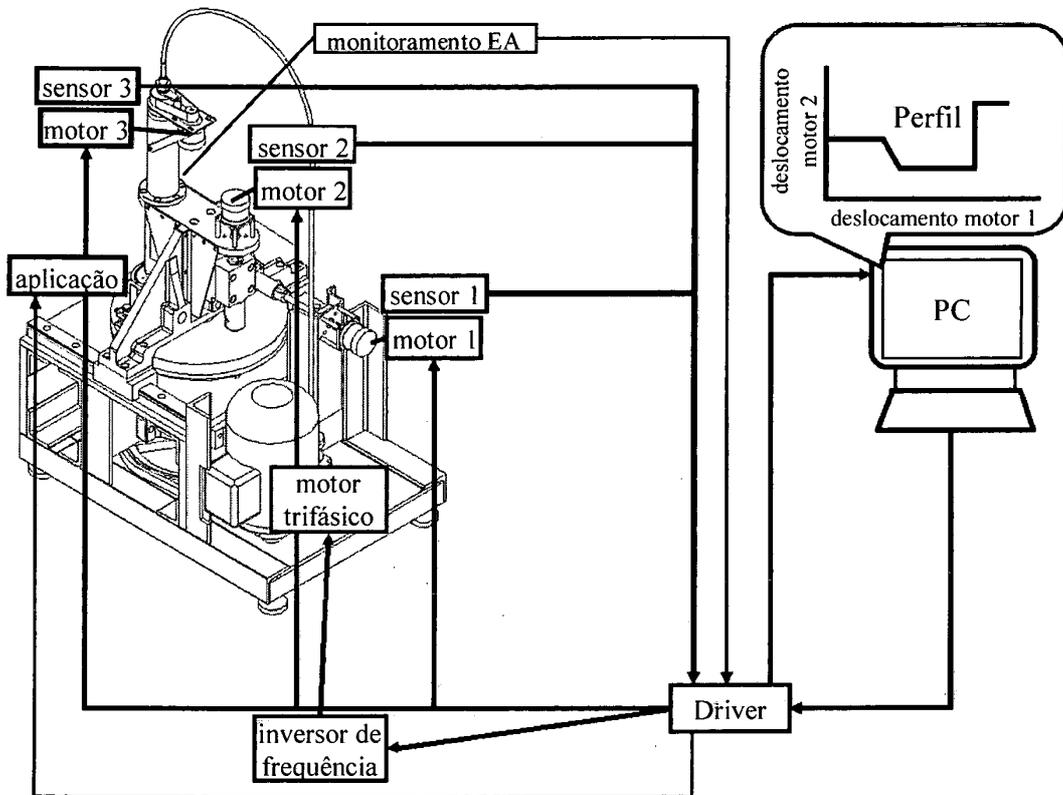
**FIG.9**



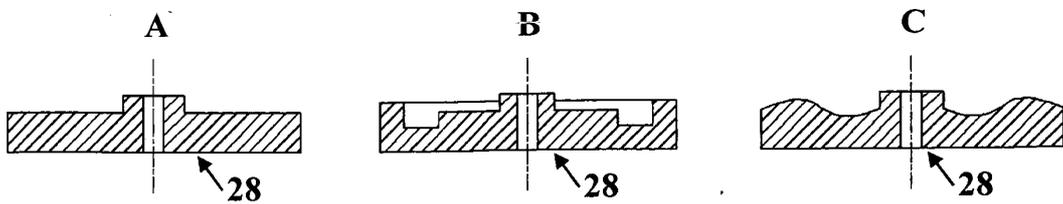
**FIG.10**



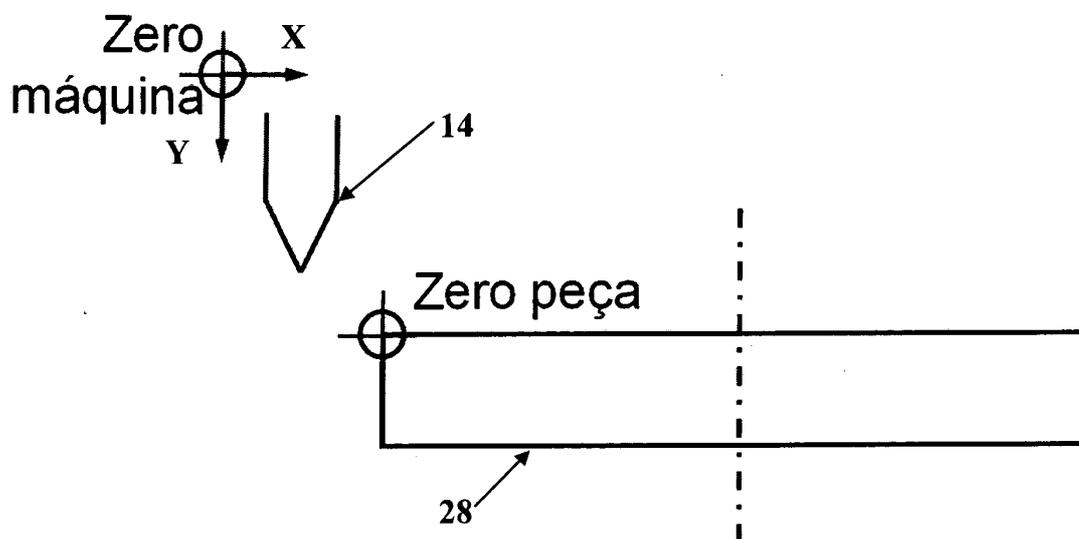
**FIG.11**



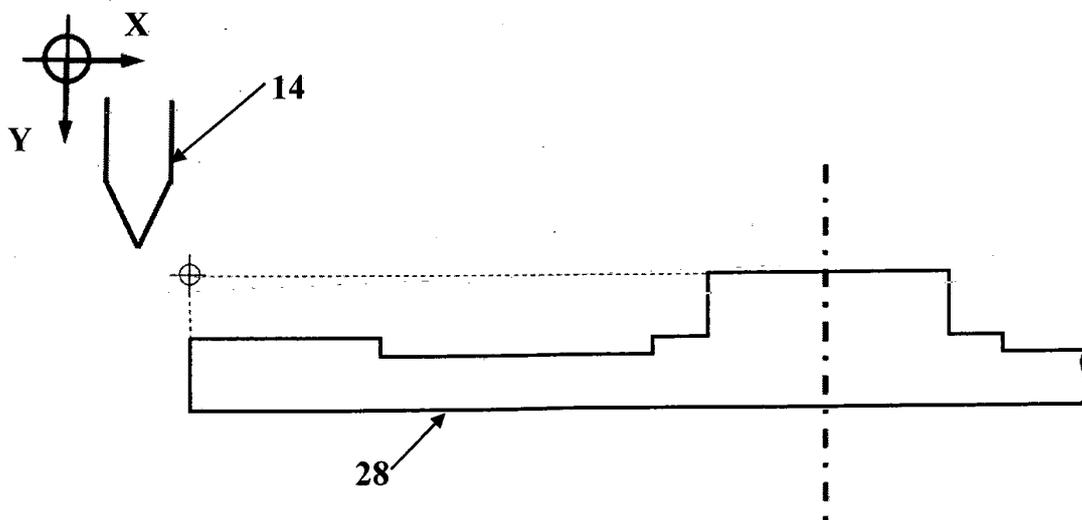
**FIG.12**



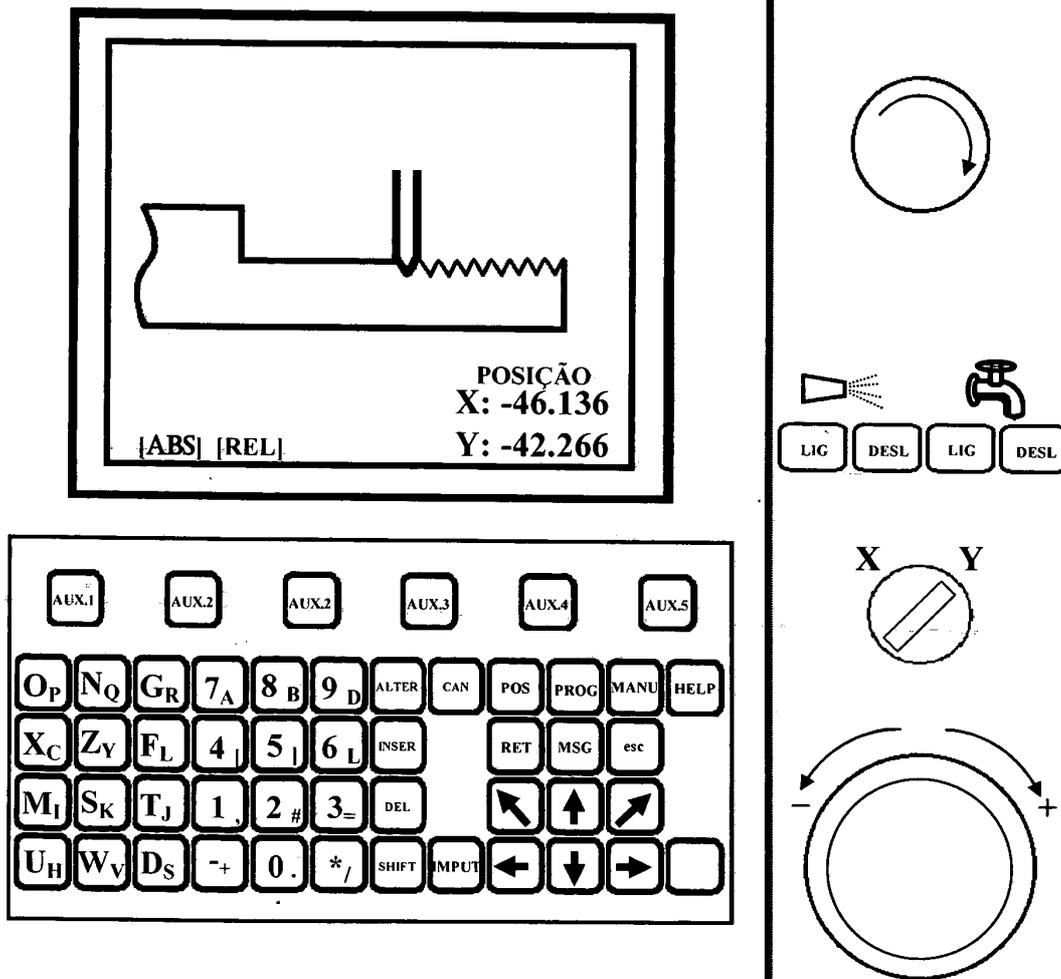
**FIG.13**



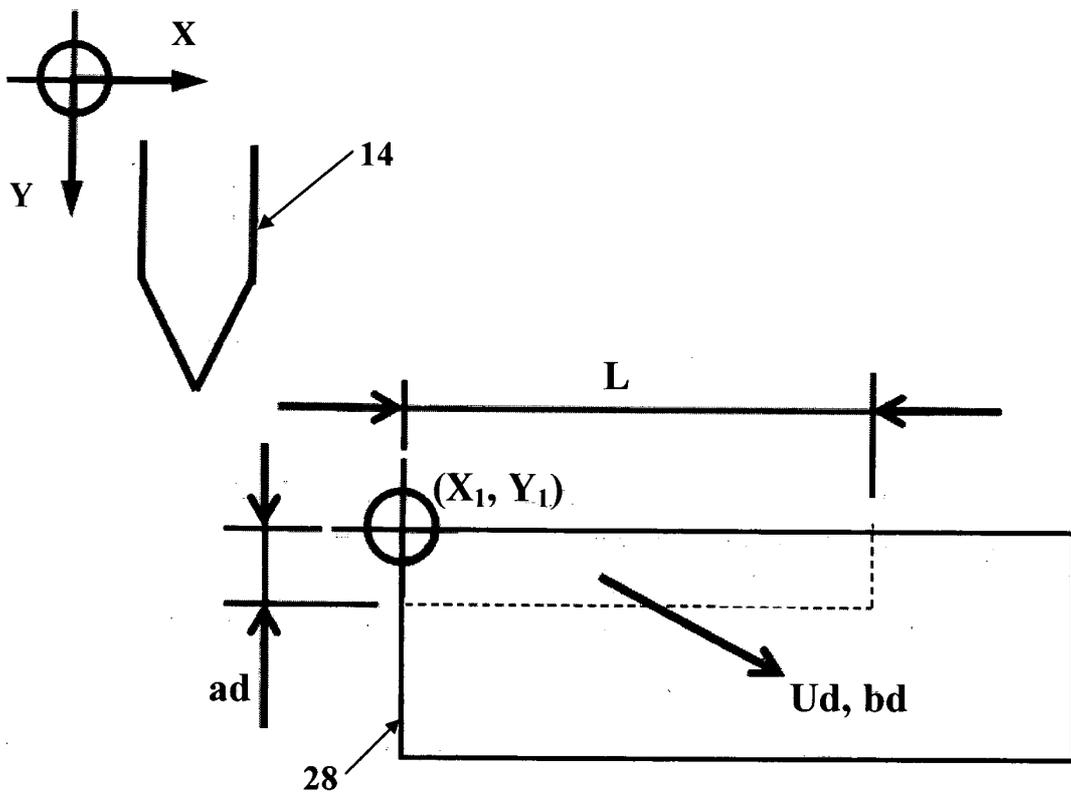
**FIG.14**



**FIG.15**



**FIG.16**

**FIG.17**

## RESUMO

Patente de Invenção: **“PROCESSO ABRASIVO PARA ACABAMENTO DE ULTRAPRECISÃO”**.

A presente invenção refere-se a um processo abrasivo para  
5 acabamento de ultraprecisão empregando um disco abrasivo convencional  
dressado com diferentes graus de recobrimentos e cinemática relativa entre  
peça e rebolo planetária.