

SUBSTITUIÇÃO DO PROCESSO DE BRUNIMENTO POR MANDRILAMENTO: APLICAÇÃO NUMA FABRICANTE DE AUTOPEÇAS

Fabiano A. Sibella, fabiano.sibella@terra.com.br.com¹

Amauri Hassui, ahassui@fem.unicamp.br²

Iris Bento da Silva, Iris@fem.unicamp.br²

² Departamento de Engenharia de Fabricação, Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas, CP 6122. CEP: 13083-970 – Campinas/SP

Resumo: A vantagem competitiva entre as empresas depende da inovação, que segundo Roberts (1988), compreende a geração de uma idéia ou invenção e a conversão desta invenção em algum negócio ou aplicação útil e muitas vezes a quebra de paradigmas, e isso compreende desenvolver novos processos e métodos de trabalho. Essa quebra compreende dentre outras coisas desenvolver novos processos e métodos de trabalho. O objetivo deste trabalho é avaliar a possibilidade de substituição de um processo de brunimento em bielas, substituindo-o pelo mandrilamento. Essa análise baseou-se nos indicadores de qualidade relevantes a essa etapa de fabricação, a saber, rugosidade, cilindridade, circularidade e tolerância dimensional. Os resultados obtidos mostraram que todas as características exigidas pelo brunimento são possíveis de serem alcançadas com o mandrilamento. A aplicação deste projeto foi realizada numa empresa de grande porte do ramo de autopeças e resultou num processo mais enxuto como um todo com conseqüente diminuição do custo.

Palavras-chave: redução de custos, brunimento, mandrilamento

1. INTRODUÇÃO

Devido à globalização do mercado atual, a competitividade entre as empresas é muito intensa. A constante busca por redução de custos, processos cada vez mais enxutos e melhorias contínuas, são fatores que podem trazer diferenciais competitivos às empresas. Cabe ressaltar que qualquer tipo de vantagem com relação à concorrência está cada vez mais difícil de ser alcançada, especialmente no ramo de autopeças, onde a competição é bastante acirrada. Um fator fundamental então é conseguir melhorar itens tais como: preço, prazo de entrega e idoneidade (SIBELLA, 2006).

Dentro do contexto apresentado, uma das formas de reduzir tanto custo quanto prazo de entrega é a utilização de processos de manufatura mais enxutos. Isso implica na busca constante pela simplificação dos processos existentes. Uma vez atingido o limite técnico de um dado processo, enxugar o mesmo significa substituí-lo por outro mais eficaz. Essa substituição nem sempre é óbvia e, via de regra, conta com resistência das pessoas envolvidas. Uma das formas de se reduzir essa resistência e mesmo minimizar a chance de uma troca inadequada, é estudar de forma sistemática os resultados do processo novo.

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados da substituição de um processo de brunimento pelo mandrilamento na fabricação de bielas. Foram avaliadas as características funcionais do produto, rugosidade, cilindridade, circularidade e tolerância dimensional. A motivação do trabalho foi à necessidade de redução do índice de refugos e retrabalhos gerados pela operação de brunimento em bielas, bem como redução de custos com ferramentas especiais e dificuldade em se manter a qualidade e estabilidade nessa operação, contou-se também com a aprovação do cliente para aprovação do projeto (NOVASKI, 1994).

Com o envolvimento direto do cliente foi possível quebrar paradigmas e de acordo com Slack *et al* (1997) criar uma abertura para inovação em outros produtos e processos, alcançando assim, significativa redução de custos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A fim de melhor compreender os processos envolvidos bem como a peça e operação de usinagem envolvidas neste trabalho, será exposta uma descrição nos tópicos a seguir.

2.1 Brunimento

O brunimento é um processo de usinagem a baixa velocidade de corte que utiliza ferramentas abrasivas, nas quais todos os grãos ativos estão em contato com a superfície da peça. Tais grãos descrevem trajetórias helicoidais deixando marcas típicas em forma de hachurado com traços entrelaçados. Isso ocorre porque a ferramenta tem rotação e se desloca axialmente com movimento alternativo (MAHLE, 1999). Com isso, procura-se alcançar uma superfície acabada não muito lisa e com sulcos finos, devendo-se observar que o corte esteja sempre limpo.

Posteriormente, superfícies de cilindros, aplicação onde tipicamente se usa o brunimento, passam por um processo de “amaciação” que leva a um ajuste entre as peças que trabalharão em conjunto. Nas superfícies em contato surgem platôs com rugosidade menor, que são interrompidos por sulcos mais profundos e lisos.

Uma superfície de cilindro neste estado é ótima para o anel de pistão que se move nela. A vedação é boa, já que a maior parte da superfície é relativamente lisa e os sulcos mais profundos formam “reservatórios de óleos”, o que favorece condições adequadas de lubrificação. (MAHLE, 1999).

A pressão dos segmentos abrasivos contra a superfície metálica varia de 2 a 8 kgf/cm² e não se pretende suprimir totalmente os defeitos de forma da peça com o brunimento. A precisão do processo depende, sobretudo, da usinagem prévia. Em geral, a espessura de material removido é de 0,04 a 0,06 mm. A insuficiência de pressão resulta em faixa anormal de retirada de material. Quando a pressão é excessiva, obtém-se um acabamento áspero porque o abrasivo é fragmentado com excessiva rapidez. Isto resulta num aumento do custo da pedra, assim como reduz a produção, uma vez que a máquina realiza várias trocas da pedra (MAHLE, 1999).

As pedras brunidoras consistem de partículas de óxido de alumínio, carbonetos de silício ou borazon (CBN), ligados por argila vitrificada, resina e outras. O carboneto de silício é geralmente utilizado no brunimento de ferro fundido e materiais não ferrosos. Enquanto que o óxido de alumínio é amplamente utilizado para brunimento de aços (MAHLE, 1999).

2.2 Mandrilamento

O mandrilamento é um processo de usinagem destinado à obtenção de superfícies de revolução com o auxílio de uma ou várias ferramentas de barra. Para tanto, a ferramenta tem rotação e a peça ou a ferramenta se desloca segundo uma trajetória determinada (FERRARESI, 1970).

Segundo Ferraresi (1970), pelo mandrilamento podem-se conseguir superfícies cilíndricas ou cônicas, internas, em espaços normalmente difíceis de serem atingidos, com eixos perfeitamente paralelos entre si.

As mandriladoras são máquinas especiais que permitem a adaptação de diferentes tipos de ferramentas e dependendo da posição do eixo-árvore, podem ser horizontais ou verticais. Nessas máquinas é possível posicionar a ferramenta para usinar um furo ajustando-se o cabeçote em determinada altura, e a mesa em posição transversal.

Uma grande vantagem do uso dessa máquina é a economia de tempo. A mandriladora universal tem a capacidade de processar todas as operações necessárias de usinagem, do começo ao fim, do desbaste ao acabamento, sem que haja necessidade de remover a peça da máquina.

As ferramentas de mandrilar são selecionadas em função das dimensões e características das operações a serem realizadas, elas têm pequenas dimensões porque geralmente trabalham no interior de furos previamente executados por brocas e são feitas de aço rápido ou insertos de metal duro em uma barra de mandrilar.

2.3 Biela

A descrição e características do produto biela são apresentadas abaixo. As bielas nos motores de combustão interna têm como função transformar a energia de câmara de combustão em movimento através do eixo do virabrequim. Como elo de ligação entre os pistões e o eixo de manivelas, e suportando cargas cada vez maiores, situação descrita na figura 1.

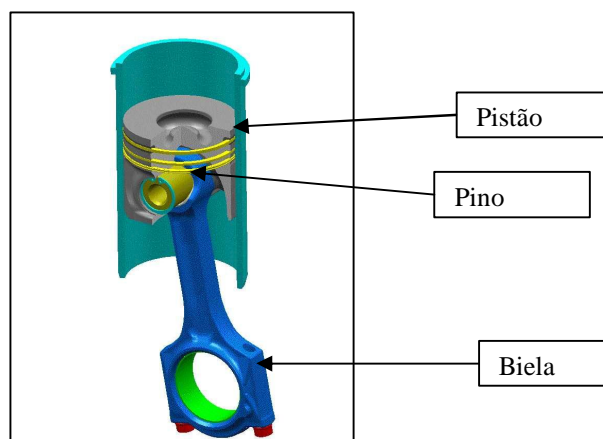


Figura 1 – Conjunto pistão-pino-biela (Fonte: Sibella, 2006).

Uma biela é toda a peça de uma máquina que serve para transmitir ou transformar o movimento retilíneo alternativo em circular contínuo. Um exemplo de biela no interior de um motor de automóvel é a peça que liga o êmbolo (pistão) à cambota. A cabeça (a parte mais larga) é apertada à cambota por meio de parafusos e a extremidade oposta é trancada pela cavilha do êmbolo, no interior da sua saia. Enquanto esta extremidade se desloca para cima e para baixo (solidária com o movimento do pistão), a cabeça descreve um movimento circular. Não tem, portanto, qualquer mecanismo de atenuação do esticão do pistão quando da explosão ou combustão, pelo que o movimento brusco seria transmitido diretamente da cambota para o eixo com esta, por sua vez, sofrendo as consequências da explosão - vibrações. Esta função é assegurada pelos moentes de apoio da cambota e pelo volante do motor.

A grande função da biela é converter o movimento vertical do conjunto pistão e anéis na forma de movimento rotacional do eixo virabrequim (expansão), e rotacional em vertical (exaustão, aspiração e compressão).

Além dos novos processos de fratura de bielas, outra exigência atual em termos de qualidade e economia, é o processo de brunimento, por serem componentes de alta performance e fabricados dentro de tolerâncias precisas. Com isso, surgiu a necessidade de um acabamento super polido na região do olhal maior da biela

As três partes distintas do produto podem ser observadas na figura 2.

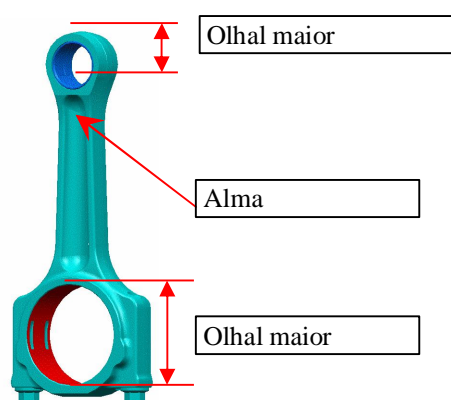


Figura 2 – Partes que compõe a biela (Fonte: Sibella, 2006).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de descrever os processos anterior e atual, com particularidades e resultados, nos seguintes tópicos será uma exposição dos mesmos.

3.1. Descrição e requisitos do processo antigo

A região do olhal menor tem por função ligar a biela ao pistão através do pino. O olhal maior é responsável em fazer a ligação com o virabrequim e a alma da biela e, por se tratar de componentes extremamente precisos, necessitam de garantia de suas dimensões.

Os custos envolvidos na fabricação de bielas estão em constante crescimento, sendo que no processo antigo, o acabamento do olhal maior da biela era feito através do brunimento, que dentro do processo de fabricação representa grande parcela desses custos, pois necessita de máquinas especiais, óleos de refrigeração de alto custo e principalmente ferramentas diamantadas.

O brunimento é um processo mecânico de usinagem por abrasão a baixa velocidade de corte, utilizando ferramenta abrasiva, na qual todos os grãos ativos estão em constante contato com a superfície da peça, para remoção do material, quer seja metálico ou não, e descrevem trajetórias helicoidais, formando marcas típicas de um hachurado com traços entrelaçados. Para tanto, a ferramenta gira e se desloca axialmente com movimento alternativo.

Com isto, procura-se alcançar uma superfície acabada não muito lisa e com sulcos finos, devendo-se observar que o corte esteja sempre limpo.

Na fabricação de bielas a rugosidade especificada é de Rz menor do que 6 μm Tpi maior que 97% (intervalo entre os picos da superfícies usinada). Ressalta-se que durante o brunimento das bielas, as ferramentas de brunir apresentavam um desgaste excessivo das pedras diamantadas, provocando ajustes excessivos de diâmetro e, conseqüentemente uma vida útil bem abaixo da média especificada, além do empastamento constante nas guias diamantadas, gerando riscos que resultavam em refugos. Eram utilizadas uma ferramenta de desbaste, e outra de acabamento, sendo que a ferramenta de desbaste retira um sobremetal da operação anterior entre 20 e 25 μm e a ferramenta de acabamento que retira um sobremetal de aproximadamente 5 μm . Todos esses fatores somados elevaram significativamente os custos de fabricação neste processo descrito.

O processo atual, destacando-se o brunimento, se compõe desta forma: desbastar olhal maior, semi-acabamento do olhal maior, brunir olhal maior, lavar bielas e controlar bielas.

Neste ponto destacam-se as dificuldades encontradas na operação de acabamento do olhal maior através do brunimento, tais como: desperdício excessivo, custos muito elevados com ferramentas, refugos, retrabalhos e instabilidade do processo. De acordo com todos esses fatores, somados a forte pressão por redução de custos, houve a necessidade de uma série de estudos e testes práticos.

Diante dos experimentos realizados e dos resultados obtidos, optou-se pela eliminação da operação do brunimento de bielas, substituindo-o por mandrilamento.

3.2. Descrição e requisitos do processo proposto

Partindo-se do pensamento enxuto, surgiu um novo conceito, do qual foi possível manter todas as características exigidas e usar o olhal maior através do mandrilamento, em uma máquina própria, e já existente no atual processo.

O mandrilamento é um processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies de revolução com auxílio de uma ou várias ferramentas de barra. Para tanto a ferramenta gira e se desloca segundo uma trajetória determinada.

Ressalta-se que mandriladoras são máquinas que utilizam barras de mandrilar especiais com utilização de pastilhas comuns, no caso utiliza-se insertos de metal duro, que segundo Diniz *et al* (2008), é um produto da metalurgia do pó, feito de partículas duras finamente divididas de carbonetos de metais refratários, sinterizados, formando um corpo de alta dureza e resistência à compressão então, passou-se a acabar o olhal maior em um equipamento já existente na célula e também se passou a utilizar ferramentas padrões mantendo todas as características necessárias ao produto final.

A barra de mandrilar deve ser rígida, cilíndrica, sem defeito de retlineidade. Deve ser bem posicionada no eixo-árvore, para possibilitar a montagem de buchas que formam mancais.

Antes da implantação tinha-se um $V_c=211$ m/min (velocidade de corte), nessa condição atingia-se rugosidade maior que $6,3 \mu\text{m}$, T_{pi} maior que 97% com circularidade maior 0,006, ainda no processo antigo, com experimentos realizados e eliminação do brunimento chegou-se a $V_c=310$ m/min. Foram necessárias outras alterações para se obter as especificações alcançadas com o brunimento, tal como desenvolver um inserto de metal duro com raio de 0,8 para usinagem do olhal maior. Por meio dessas alterações atingiu-se a rugosidade, a T_{pi} e a circularidade dentro do especificado, bem como um processo estável e de baixo custo, se comparado com o brunimento, devido ao baixo custo das ferramentas, tipo dos insertos e das barras de mandrilar, que já existiam e eram usadas no processo antigo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Apresentação das cartas de CEP

Sabe-se que um processo para ser considerado capaz, deve apresentar um C_{pk} igual ou maior que 1,66, e após a realização dos testes, essa proposta se mostrou com um C_{pk} acima de 1,66, e ao longo de inúmeras peças usinadas, as principais características: circularidade, cilíndricidade, diâmetro e rugosidade mantiveram-se em alta estabilidade.

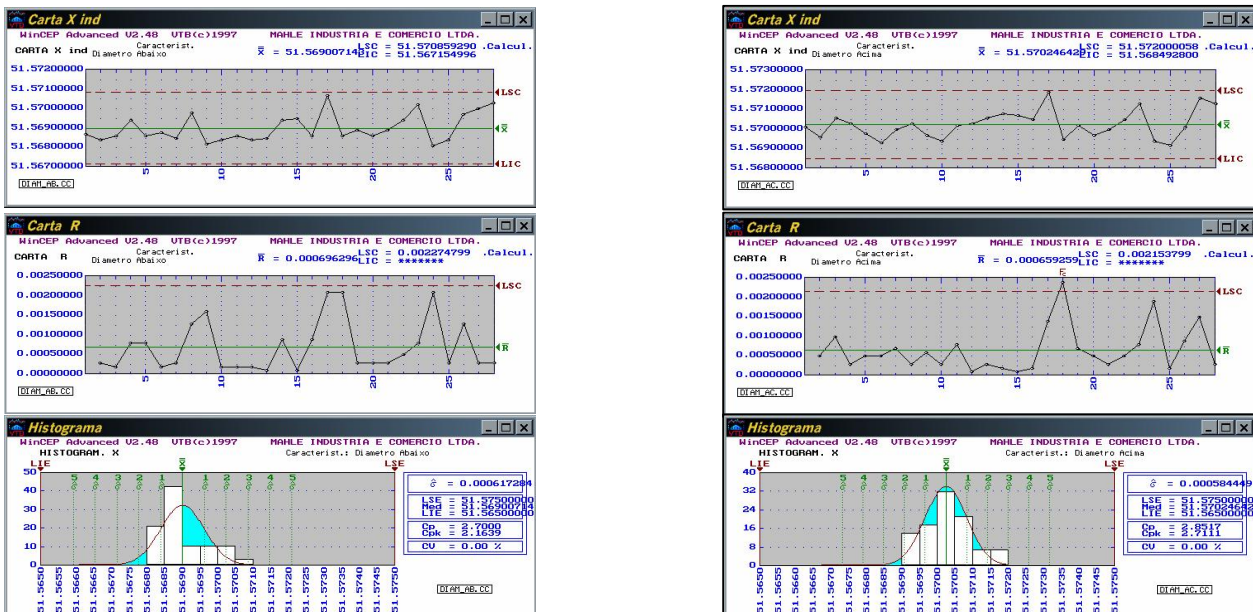


Figura 3 – C_{pk} para um produto com diâmetro de $51,57\text{mm}(+0,014) = 2,16$



Figura 4 – Cpk para um produto com circularidade de 0,005 mm = 4,8

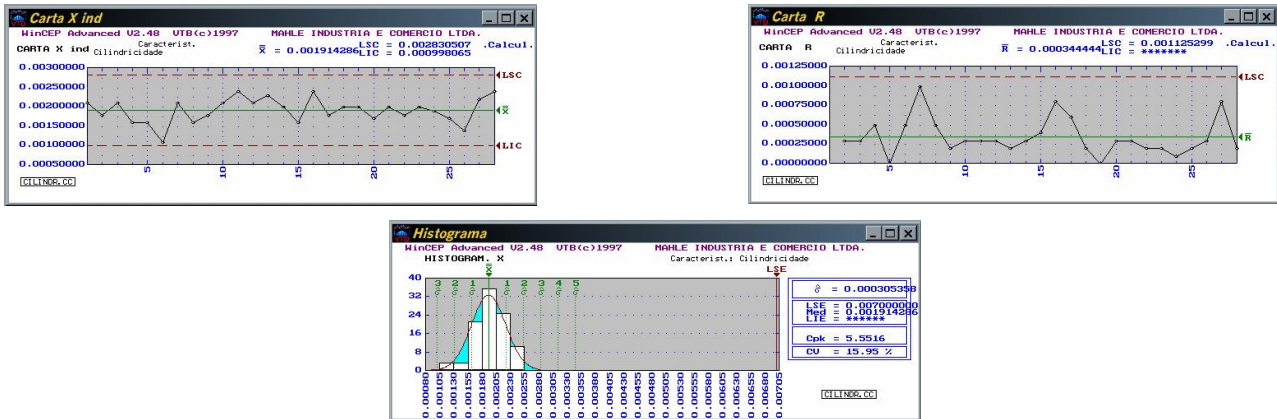


Figura 5 – Cpk para um produto com cilindridade de 0,006 mm = 5,55

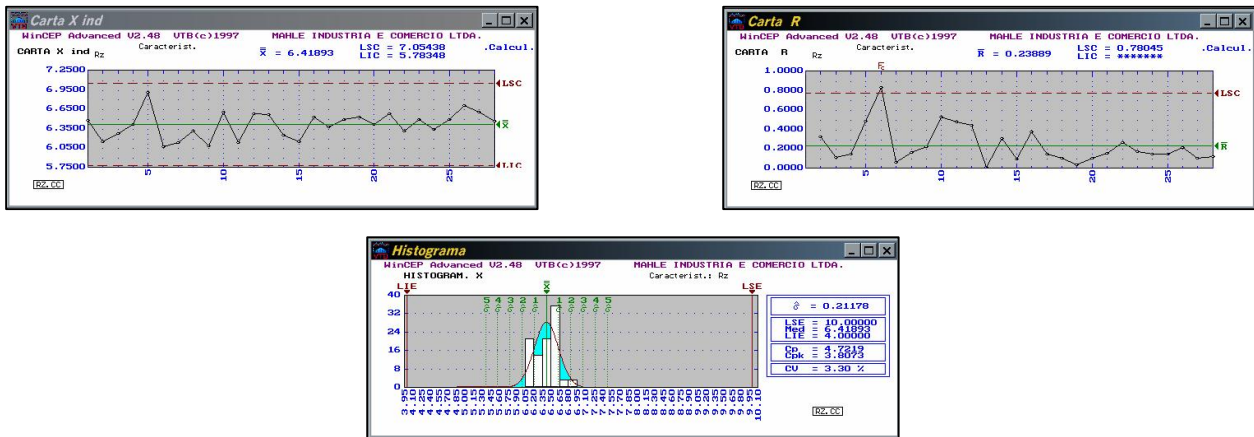


Figura 6 – Cpk para um produto com rugosidade Rz4 – Rz 10 = 3,8

Com a apresentação dos gráficos acima, comprova-se a eficácia do processo de mandrilamento, realizando a operação de acabamento do olhal maior, e os fatores principais para alteração deste processo de usinagem foram: aumento da velocidade de corte, diminuição do avanço da mandriladora e desenvolvimento de inserto de metal duro.

Realizados os testes na célula de usinagem e a obtenção dos resultados desejados, passou-se, então para testes em banco de provas em condições extremas por 1.000 horas. O resultado foi aprovado também pelo cliente.

Deve-se ressaltar que com a eliminação do brunimento, a utilização de óleos especiais utilizados neste processo, de alto custo, trouxe além de uma redução de custos, contribuição a sustentabilidade, reduzindo-se impacto no meio ambiente, evitando-se a necessidade de descarte do mesmo. Além disso, os custos de ferramentas, de mão-de-obra, de manutenção e de desperdícios com refugos e retrabalhos foram reduzidos; uma vez que se eliminaram os riscos no olhal maior decorrentes da operação de brunimento.

Com a aprovação e implantação desse projeto, chegou-se a um processo mais enxuto e maior satisfação do cliente. A parceria resultou em benefícios como a redução de custos de fabricação e o preço de venda do produto final.

Com a eliminação do brunimento, a usinagem do olhal maior passou a ser mandrilada, e as características do produto foram mantidas. A seqüência do processo de usinagem de bielas passou-se a constituir assim: desbastar olhal maior, acabamento do olhal maior, lavar bielas e controlar bielas.

5. CONCLUSÕES

A operação de brunimento no processo de usinagem de bielas foi substituída pelo processo de mandrilamento. Implantou-se nessa empresa de autopeças, um novo conceito de usinagem, um sistema flexível de baixo custo que atendeu a necessidade do cliente, no quesito qualidade, a um baixo custo. Essa substituição mostrou-se possível, através de testes práticos e relatórios de medição de que as características exigidas no processo de brunimento foram plenamente atendidas, utilizando-se o mandrilamento.

Como principais benefícios da eliminação do brunimento, pode-se destacar: a redução dos refugos e retrabalhos provenientes desta operação, tendo-se como consequência maior qualidade e estabilidade do processo, sustentabilidade (devido à eliminação do descarte de óleo), e obtenção de um processo mais enxuto.

Por fim, através da aprovação do cliente, que por sua vez considerou este projeto inovador e vem de encontro com a busca contínua por melhorias e redução de custos. Também mostrou que é possível quebrar antigos paradigmas em processos industriais. Ressalta-se ainda a importância da parceria, cliente e fornecedor em busca de interesses comuns.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

MAHLE. Apostila Técnicas de Brunimento. 1999.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. Materiais para ferramentas. In: Tecnologia da usinagem dos materiais. São Paulo: Artliber, 2001. p. 75-100.

FERRARESI, D. Introdução. In: Fundamentos da Usinagem dos Metais. São Paulo: Edgard Blucher, 1970. p. XXV-XLIII.

NOVASKI, O. Tolerâncias e ajustes. In: Introdução á Engenharia de Fabricação Mecânica. São Paulo: Edgard Blucher, 1994. p. 1-14.

SIBELLA, F. A. Eliminação da Operação de Brunimento. Trabalho de Graduação UNIMEP. Santa Bárbara d'Oeste, São Paulo, 2006. 78 p.

SLACK N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Planejamento e controle. In: Administração da Produção, Tradução: Maria Teresa Correa de Oliveira e Fábio Alher. São Paulo: Atlas, 2002. p. 483-510.

ROBERTS, E. B. Managing invention and innovation. Research Technology Management, v. 31, n. 1, p. 11-30, Jan. / Feb. 1988.