

# **ANÁLISE DOS DEFLETORES AERODINÂMICOS NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO DO AÇO VC 131 TEMPERADO E REVENIDO**

**Rodrigo Eduardo Catai**

Doutorando em Eng. Mecânica - Depto. de Materiais e Tecnologia, UNESP – Guaratinguetá, SP, Brasil, Caixa Postal 205, CEP: 12516-410, E-mail: rcatai@feb.unesp.br

**Eduardo Carlos Bianchi**

Dept. de Eng. Mecânica, UNESP, CEP: 17033-360, Bauru, SP, bianchi@feb.unesp.br

**Felipe Montebugnoli Zilio**

Dept. de Eng. Mecânica, Universidade Estadual Paulista, CEP: 17033-360, Bauru, SP, Brasil, E-mail: zilio@feb.unesp.br

**Leonardo Roberto da Silva**

Dept. de Mecânica, CEFET - MG, CEP 30.410-000, Belo Horizonte, MG, lrsilva@feb.unesp.br

**Paulo Roberto de Aguiar**

Dept. de Eng. Elétrica, UNESP, CEP: 17033-360, Bauru, SP, aguiarpr@feb.unesp.br

**Resumo.** Alguns processos convencionais de retificação muitas vezes geram danos térmicos às peças. A fim de prevenir estes problemas térmicos, que surgem devido, por exemplo, à aplicação incorreta do fluido de corte na região de interação dos grãos abrasivos do rebolo com a superfície da peça, é que métodos de se otimizar o processo de retificação devem ser empregados. Esta otimização pode ocorrer através da correta seleção dos parâmetros de corte, desenvolvimento de dispositivos que eliminem a camada de ar gerada ao redor do rebolo etc. Neste artigo será apresentada uma comparação do uso ou ausência de defletores aerodinâmicos no processo de retificação. Para se avaliar a eficiência dos defletores, as seguintes variáveis foram analisadas: força tangencial de corte, rugosidade, erros de circularidade e o desgaste radial do rebolo. Os resultados mostraram a excelente eficiência dos defletores aerodinâmicos quando aplicados no processo.

**Palavras-chaves:** Retificação, Fluidos de corte, Defletores aerodinâmicos, Processo otimizado.

## **1. INTRODUÇÃO**

O processo de retificação ao longo dos tempos vem sendo considerado como um dos mais importantes da manufatura. Trata-se de um processo de alta precisão e importância, uma vez que é inaceitável perder uma peça nesta etapa. Isso ocorre, porque o valor agregado do material é muito elevado devido aos vários processos de usinagem que geralmente antecedem a retificação (Soares, 2001).

No processo de retificação, a peça é forçada contra o rebolo gerando cavacos que são removidos da superfície da peça (Gupta et al., 2001). Durante a formação dos cavacos grande parte da energia gerada é convertida em calor, causando altas temperaturas na região de corte, que podem causar danos térmicos às peças (Kovacevic & Mohan, 1995).

A fim de controlar as elevadas temperaturas geradas na região de corte que podem danificar a peça ou mesmo a ferramenta e com intuito de minimizar ao máximo os custos com o desperdício de fluidos aplicados de maneira ineficaz, torna-se cada vez mais imprescindível, a otimização do processo de retificação, que pode ocorrer através da escolha correta do par fluido-ferramenta, pela utilização de parâmetros ideais de corte e pela adoção de sistemas otimizados de aplicação de fluidos de corte, pois nos métodos convencionais a energia armazenada nos fluidos durante a sua aplicação não é suficiente, na maioria dos casos, para vencer a força centrífuga do rebolo ou penetrar na barreira de ar que circunda o mesmo em movimento.

Este trabalho pretende analisar se a utilização de um sistema de defletores pode melhorar o desempenho do processo de retificação. Para tanto, far-se-á o monitoramento do mesmo e uma posterior análise das variáveis de saída como a força tangencial de corte, o desgaste radial do rebolo, a rugosidade e os erros de circularidade encontrados nas peças.

## 2. OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO

A otimização do processo aumenta a capacidade de lubrificação e refrigeração dos fluidos, promove a remoção de cavaco mais facilmente, gera menores dispersões na região de corte, porém para isto é necessário um correto posicionamento dos bocais (Ebbrell et al., 1999).

Existem alguns fatores que afetam diretamente a eficiência da refrigeração, incluindo-se o tipo e a velocidade do fluido utilizado, o posicionamento do bocal, o ângulo de abertura do bocal, o projeto do bocal, a utilização de um dispositivo para quebrar a barreira de ar envolta do rebolo e o tamanho dos grãos abrasivos do rebolo (Campbell, 1995).

**Utilização de bicos convencionais e otimizados:** A utilização de bicos convencionais para a saída do fluido não é mais adequada devido ao crescimento na utilização de fluidos a base de água que sofrem grande dispersão e se perdem na região de corte, devido à barreira de ar gerada em torno do rebolo, pela sua elevada rotação. Esta barreira de ar pode ser vencida, igualando-se a velocidade de saída do jato à velocidade periférica do rebolo, porém, devido ao desenho incorreto dos bicos convencionais, o aumento da pressão da bomba, visando aumentar a velocidade de saída do fluido, leva a um aumento da dispersão do jato, diminuindo a eficiência do mesmo.

Desta forma, bicos especiais vêm sendo desenvolvidos a fim de permitir a chegada eficaz do jato de fluido na região de corte.

Segundo Webster (1995), um bico ideal, teria o formato arredondado com paredes internas côncavas, o que minimiza a ocorrência de queda de pressão e a turbulência ocasionada durante a passagem e saída do fluido, e ainda garante uma maior coerência ao jato.

**Bicos especiais com uma língua ao redor do rebolo:** esses bicos são bastante eficientes e ajustáveis a uma grande faixa de tamanho de rebolos e contam com uma espécie de língua, a qual deve ser conjugada ao bico e ajustável aos diferentes diâmetros dos rebolos (Silliman, 1992).

**Bicos ejetores com elementos condutores:** outra forma de se otimizar o processo é através da utilização de bicos injetores do tipo sapata, com elementos condutores, os quais têm as funções de direcionar melhor o fluxo do fluido, e melhorar o preenchimento dos poros do rebolo (Brinskmeier et al., 2001).

**Sapatas refrigerantes e defletores:** Os defletores têm a função de eliminar a cortina de ar formada ao redor do rebolo, devido a sua rotação, o que dificulta a entrada de refrigerante na

zona de corte. Em operações em que se utilizam elevadas velocidades de corte, esta camada de ar é ainda mais relevante, sendo que a velocidade e a pressão deste ar diminuem exponencialmente com a redução da distância radial em relação ao centro do rebolo. Reduzindo-se ou eliminando-se o efeito desta camada de ar, principalmente quando se trabalha com retificações de altas velocidades de corte, pode-se reduzir, por exemplo, as forças de corte em torno de 40% a 60% e os valores da rugosidade em torno de 10% a 20%. A fim de eliminar este filme de ar, Bellows (1983) propõe a colocação de placas deflectoras que envolvem o contorno do rebolo, localizandose acima do bocal de saída de fluido, conforme ilustrado na fig. (1).

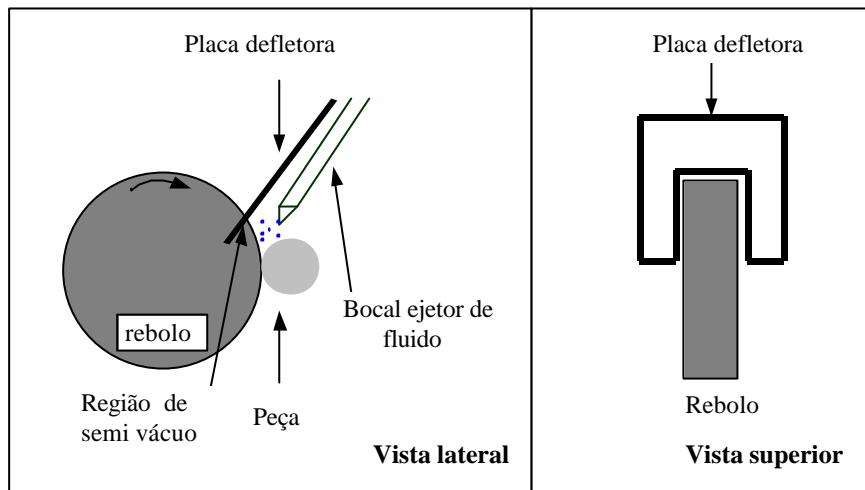


Figura 1. Esboço de uma placa deflectora ao redor do rebolo (Bellows, 1983)

Para Bianchi et al. (2002), uma das formas de se eliminar esta camada de ar gerada pelo rebolo é através da utilização de sistemas de deflectores, conforme fig. (2).

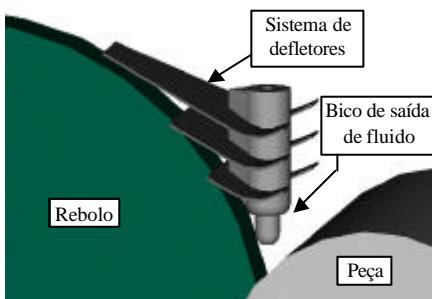


Figura 2. Sistema de deflectores (Bianchi et al., 2002)

### 3. ERROS DE CIRCULARIDADE

De acordo com Jedrzejewski & Modrzycki (1997), o erro de circularidade, conforme ilustrado na fig. (3), pode ser entendido como qualquer divergência entre a peça construída e a peça teoricamente exigida com tolerância especificada.

Um fator de grande importância para contribuir com a formação dos erros de circularidade e com o estado final da peça retificada são os elevados atritos gerados durante o processo de retificação (Minke, 1999). Assim, é fundamental a utilização de fluidos com maior capacidade de redução de atrito e consequentemente redução do calor gerado nessa operação.

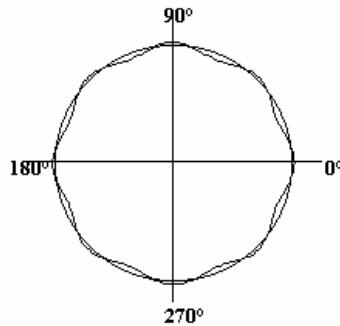


Figura 3. Exemplo de uma peça com erro de circularidade (Taylor-Hobson, 2001)

#### 4. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foram realizados seis ensaios, sendo três sem a utilização do sistema de defletores na retificadora (ensaios 1, 2 e 3) e três com a utilização dos mesmos (ensaios 4, 5 e 6). O material utilizado para o corpo-de-prova foi um aço VC 131, temperado e revenido, com dureza média de 60 HRc.

Para todos os ensaios tinha-se sempre como fixo:

- Rebolo convencional de óxido de alumínio 19A100SVHB;
- Velocidade de mergulho ( $v_f$ ) de 1,5mm/min;
- Velocidade de corte ( $v_s$ ) de 33m/s;
- Velocidade do jato de fluido de corte ( $v_j$ ) de 33m/s;
- Vazão (Q) de 14 l/min;
- Pressão na entrada do registro de esferas de 5 kgf/cm<sup>2</sup>;
- Fluido de corte: óleo integral;
- Tempo de *spark-out* igual a 5 segundos.

Antes do início de cada ensaio dressava-se o rebolo convencional, permitindo-se obter a agressividade adequada, além de se manter a mesma condição inicial da ferramenta para todos os ensaios. A dressagem foi realizada através de um dressador do tipo *freeze*, retirando 0,2mm do raio do rebolo. Para as análises fez-se um desgaste de 5mm no diâmetro do corpo-de-prova em 50 ciclos de 0,1mm.

O sistema de defletores utilizado durante os ensaios é semelhante ao proposto por Bellows (1983) e Bianchi et al. (2002). Na fig. (4), é apresentado o processo de retificação bem como o defletor aerodinâmico construído para o desenvolvimento desta pesquisa.

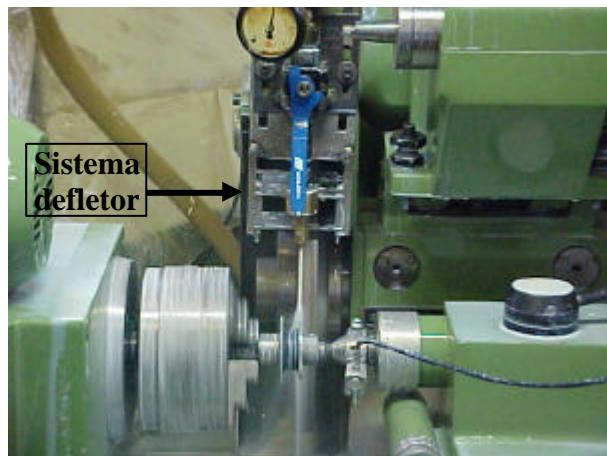


Figura 4. Defletor aerodinâmico empregado no processo de retificação cilíndrica

Um fator importante que se deve ressaltar em relação às condições de usinagem, é o bocal utilizado que é otimizado com 3mm de diâmetro, cujo desempenho mostra-se superior ao convencional, pois através da elevada pressão, pode-se ter o vencimento da barreira aerodinâmica gerada pelo rebolo, assim, o fluido de corte pode penetrar na região de contato entre o rebolo e a peça de maneira eficiente (Monici, 2001).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, serão expostos os resultados obtidos para as seguintes variáveis analisadas: força tangencial de corte, rugosidade superficial da peça, erros de circularidade e desgaste radial do rebolo. Ressalta-se que o fluido de corte utilizado foi o óleo integral e o rebolo um convencional de óxido de alumínio.

### 5.1. Resultados de força de corte

A força tangencial de corte foi medida através da determinação da potência elétrica consumida pelo motor de acionamento do eixo árvore do rebolo, através da monitoração dos valores de tensão e corrente elétrica, provenientes deste motor elétrico. Para isso, um circuito eletrônico foi projetado e construído, sendo utilizado para transformação dos valores de corrente elétrica e tensão provenientes do motor em sinais de tensão compatíveis, para serem enviados à uma placa de aquisição de dados A/D e manipulados pelo *software* de aquisição de dados, já desenvolvido, utilizando-se o programa *LabView 4.1*, da *National Instruments*.

A análise dos resultados de força de corte foi realizada através de gráficos contendo diversas curvas, sendo que cada uma destas curvas representa os resultados de um ensaio, conforme é apresentado nas fig. (5) e fig. (6). É importante ressaltar que para cada ponto existente no gráfico da fig. (7), obteve-se uma média aritmética dos pontos máximos obtidos nas três repetibilidades dos ensaios efetuados.

Observando a fig. (7), pode-se observar que com a retificação utilizando o sistema de defletores, houve uma redução da força de corte na ordem de 5,5%. Demonstra-se, portanto, que há uma maior solicitação da ferramenta abrasiva em condições de usinagem sem os defletores.

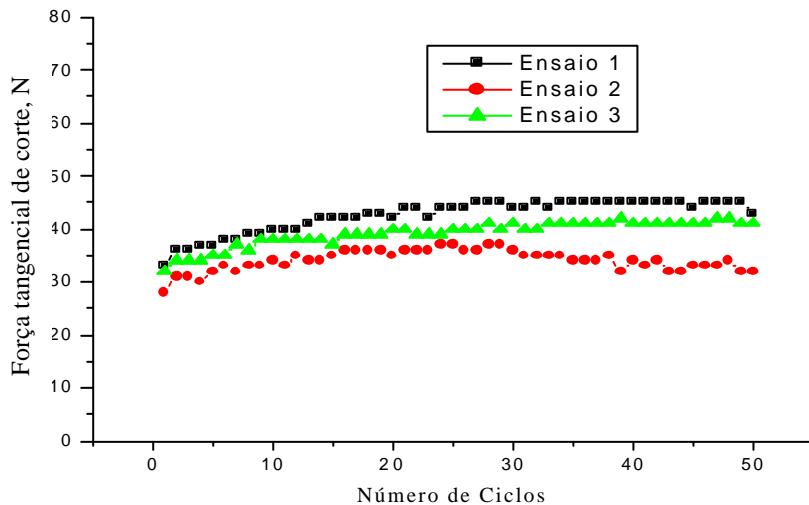


Figura 5. Força de corte para a retificação sem defletores

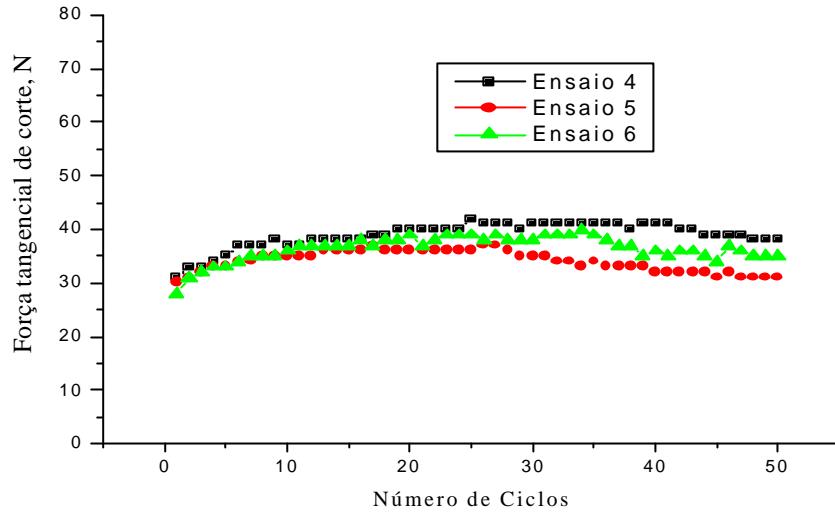


Figura 6. Força de corte para a retificação com o sistema de defletores

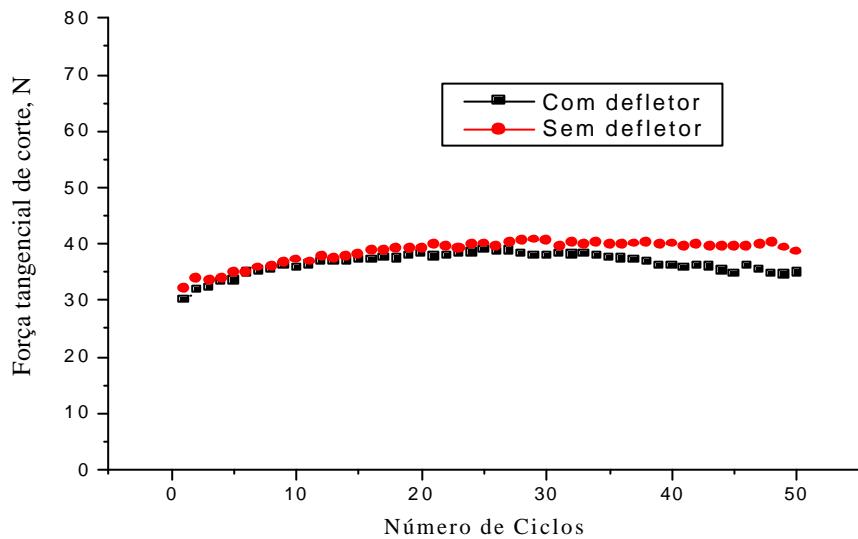


Figura 7. Comparaçāo entre as forças de corte mādias

## 5.2. Resultados do desgaste radial

Os valores de desgaste radial foram adquiridos através da marcação do desgaste do rebolo em um tarugo de aço SAE 1020 após cada ensaio. Desta forma o perfil do rebolo era passado ao tarugo, no qual posteriormente media-se o desnível (degrau micrométrico) existente entre a região gasta e não gasta deste, obtendo-se assim por conseqüência o desgaste radial do rebolo.

Na fig. (8) podem-se observar os desgastes radiais mādios para os ensaios realizados sem o sistema de defletores e com o sistema de defletores.

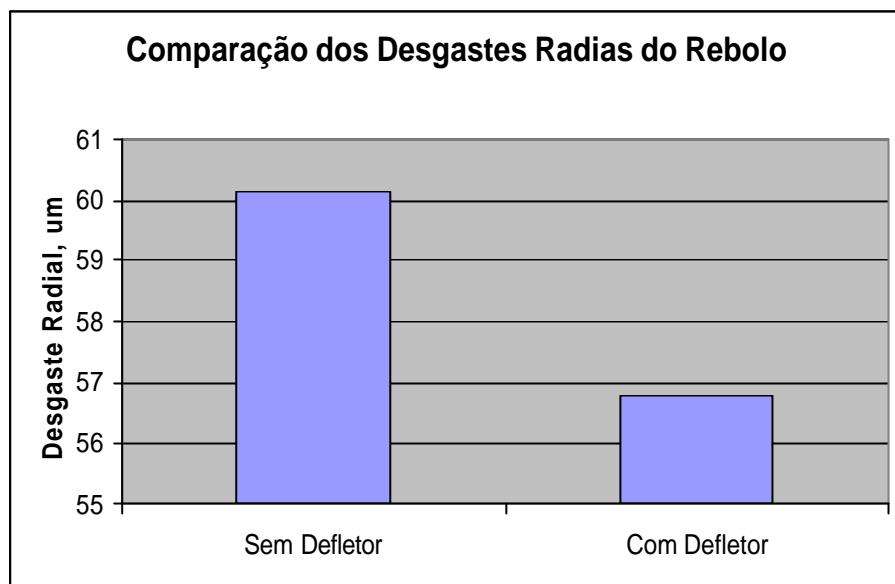


Figura 8. Desgaste radial do rebolo para a retificação sem e com o sistema de defletores

Através dessa figura percebe-se que o desgaste do rebolo é diretamente proporcional à força de corte, ou seja, para as condições mais agressivas da ferramenta há uma maior perda radial. Com o sistema de defletores, o desgaste foi 5,5% menor, ou seja, há uma maior vida útil da ferramenta com o uso de defletores.

### 5.3. Resultados da rugosidade

Os valores foram obtidos através da utilização de um rugosímetro marca *Taylor Hobson*, modelo *Sutronic 3+*, conforme apresentado na fig. (9).



Figura 9. Fotografia do rugosímetro utilizado

Os resultados de rugosidade ( $R_a$ ), são apresentados na forma de gráficos, onde cada ponto representa a média de três ensaios (fig. (10)), sendo que em cada ensaio foram efetuadas sete medidas na superfície do corpo-de-prova.

De acordo com a fig. (10) tem-se que a rugosidade teve uma melhora de 2,8% para a retificação sem o sistema de defletores proposto, sendo que pode-se dizer que as rugosidades são aproximadamente iguais, pelo fato de a diferença ser aproximadamente de  $0,01\mu\text{m}$ .

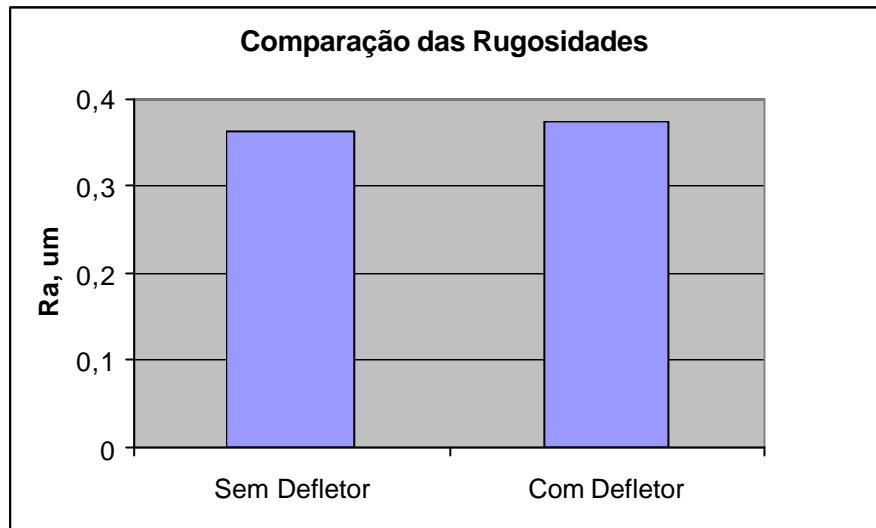


Figura 10. Comparação da rugosidade superficial do sistema sem defletores e com defletores

#### 5.4. Resultados de circularidade

Para a realização das medidas de circularidade, usou-se uma máquina *TALYROUND 31C*, sendo que os valores de circularidade foram obtidos através da média de três ensaios. Para cada ensaio foram realizadas três medições. A fig. (11) apresenta os resultados obtidos.

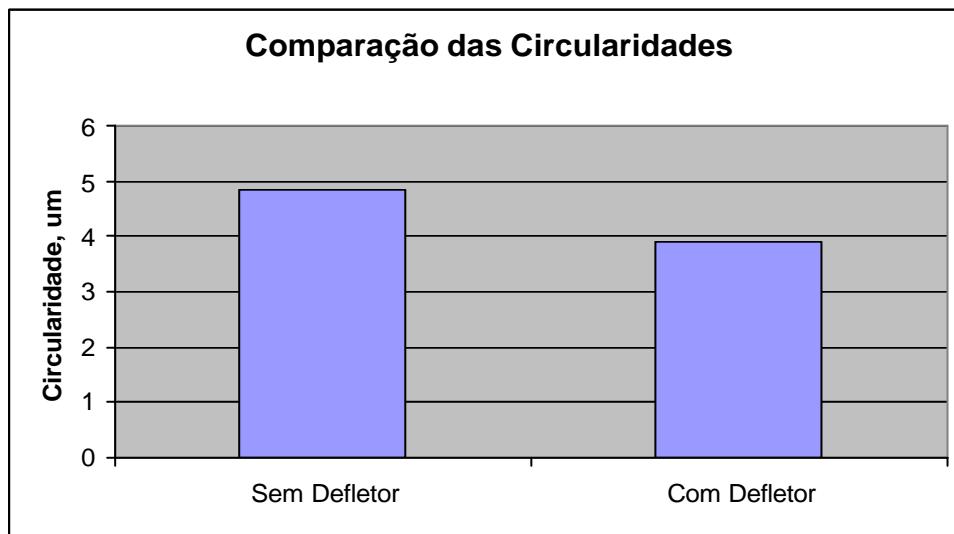


Figura 11. Comparação das circularidades obtidas com e sem o sistema de defletores

## 6. CONCLUSÃO

Através deste trabalho pode-se observar o comportamento da retificação cilíndrica externa de mergulho utilizando-se ou não o sistema de defletores.

De acordo com os gráficos obtidos a utilização de defletores permitiu a redução do valor da força de corte em 5,5% e do desgaste radial do rebolo na ordem de 5,5%. A rugosidade

apresentou uma diferença de 0,01 $\mu\text{m}$ , ou seja, sem os deflectores a rugosidade teve uma melhora de 2,8%, o que não é uma diferença significativa.

Em relação aos erros de circularidade, estes foram menores (cerca de 19,2%) quando foi empregado no processo o sistema de deflectores para eliminar a camada de ar gerada pelo rebolo.

No caso das indústrias, portanto, o mais indicado para se obter acabamentos superficiais de alta qualidade e menores desgastes da ferramenta é realmente a utilização de sistema de deflectores na região de corte para minimizar os efeitos das camadas de ar provindas da grande velocidade de rotação do rebolo, as quais fazem o jato de fluido se dissipar na retificação.

## 7. REFERÊNCIAS

- BELLOWS, G., 1983, "Low stress grinding – For quality production. Machining Process Series". Metcut Research Associates Inc., Second Edition, Cincinnati, Ohio, p.49-95.
- BIANCHI, E. C., CATAI, R. E., AGUIAR, P. R., 2002, "Otimização do processo de retificação pela análise da quantidade de fluido de corte aplicada". In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais – CBECIMAT, Natal, RN.
- BRINKSMEIER, E.; HEINZEL, C.; WITTMANN, M.; SCHMID, U.; DREYER, M.; RATH, H. J., 2001, "Como a aplicação do fluido refrigerante pode ser melhorada na retificação". Revista Máquinas e Metais, out. 2001, p. 34-41.
- CAMPBELL, J.D., 1995, "Optimized Coolant Application". Technical Paper, MR95-211, Society of Manufacturing Engineers.
- EBBRELL, S.; WOOLLEY, N.H.; TRIDIMAS, Y.D.; ALLANSON, D.R.; ROWE, W.B., 1999, "The effects of cutting fluid application methods on the grinding process". International Journal of Machine Tools & Manufacture, Reino Unido, Jun. 1999.
- GUPTA, R., SHISHODIA, K. S., SEKHON, G. S., 2001, "Optimization of grinding process parameters using enumeration method". Journal of Materials Processing Technology, p.63-64.
- JEDRZEJEWSKI J., MODRZYCKI W., 1997, "Intelligent supervision of thermal deformations in high precision machine tools". Proc. 32nd Int. MATADOR Conf, Manchester, UK, pp. 457–462.
- KOVACEVIC, R., MOHAN R., 1995, "Effect of high speed grinding fluid on surface grinding performance". SME Technical paper MR95-213, p. 919-931.
- MINKE, E., 1999, "Contribution to the Role of Coolants on Grinding Process and Work Results". 3<sup>rd</sup> International Machining & Grinding Conference, October 4-7 of 1999, Westin Hotel, Cincinnati, Ohio.
- MONICI, R. D., 2001, "Análise da mínima quantidade de refrigeração e da refrigeração convencional no processo de retificação em aços endurecidos". Dissertação (Mestrado), UNESP de Bauru.
- SILLIMAN, J. D. (Ed.), 1992, "Cutting and grinding fluids: selection and application". Dearborn – Michigan: SME, Second Edition, p. 119-135, ISBN: 0-87263-423-X.
- SOARES, D. D., Oliveira, J. F. G., 2001, "Diagnósticos de Processos de Retificação Através da Análise de Sinais", In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - COBEM, 266p.
- TAYLOR-HOBSON (2001)- Manual da máquina TALYROUND 31C.
- WEBSTER, J., 1995, "Selection of coolant type and application technique in grinding". Supergrind, p. 205-218.

## 8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste material impresso incluído neste trabalho.

# ANALYSIS OF AERODYNAMICS BAFFLES IN THE GRINDING PROCESS OF VC 131 STEEL TEMPERED AND QUENCHED

**Rodrigo Eduardo Catai**

Department of Materials and Technology, UNESP – Guaratinguetá, SP, Brazil, CEP: 12516-410,  
E-mail: rcatai@feb.unesp.br

**Eduardo Carlos Bianchi**

Department of Mechanical Engineering, UNESP - Bauru, SP, Brazil, CEP: 17033-360,  
E-mail: bianchi@feb.unesp.br

**Felipe Montebugnoli Zilio**

Department of Mechanical Engineering, UNESP - Bauru, SP, Brazil, CEP: 17033-360,  
E-mail: zilio@feb.unesp.br

**Paulo Roberto de Aguiar**

Department of Electrical Engineering, UNESP - Bauru, SP, Brazil, CEP: 17033-360,  
E-mail: aguiarpr@feb.unesp.br

**Leonardo Roberto da Silva**

Department of Mechanical, CEFET - MG, CEP: 30.410-000, Belo Horizonte, MG, Brazil,  
E-mail: lrsilva@feb.unesp.br

**Abstract.** Some conventional processes of grinding many times generate thermal damages in the pieces. To prevent thermal problems, that appear due the interaction of the grains of the wheels with the surface of the workpiece and an inefficient cooling, optimized methods of cutting fluid application in the grinding zone are essential. The optimization can happen through the correct selection of the cut parameters and development of devices that eliminate the effect of the layer of air generated around the grinding wheel. In this article a comparison of the use or absence of aerodynamic baffles (deflectors) in the grinding process will be presented. The following output variables were analyzed: cutting tangential force, roughness, roundness and grinding wheel wear. The results showed the high efficiency of the deflectors or baffles in the finish results.

**Key-words:** Grinding, Cutting fluids, Aerodynamics Baffles, Optimized Process.