



## ESTUDO COMPARATIVO DO DESEMPENHO DE REBOLOS COM GRÃOS SUPERABRASIVOS E CONVENCIONAIS SUBMETIDOS A DIVERSAS CONDIÇÕES DE USINAGEM

**Ivan De Domenico Valarelli**

**Eduardo Carlos Bianchi**

**Paulo Roberto Aguiar**

**Rodrigo Daun Monici**

Universidade Estadual Paulista – UNESP, Depto. Engenharia Mecânica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/nº, Vargem Limpa, Bauru-SP. E-mail: Valareli@feb.unesp.br

***Resumo.** Um dos processos de acabamento mais utilizados na fabricação de peças de precisão é a retificação. Existem diversos parâmetros de entrada (condições de corte, tipo de rebolo e fluido de corte utilizado, condições de dressagem) que afetam e levam a diferentes comportamentos nas variáveis de saída (força tangencial de corte, força normal, rugosidade superficial, temperaturas de retificação, relação G, etc.), implicando em diferenças na rugosidade superficial, na integridade superficial e na resistência mecânica do componente usinado. Desta forma os parâmetros de entrada devem ser controlados a fim de se garantir a qualidade final da peça. Este artigo apresenta um estudo comparativo do desempenho entre dois tipos de rebolos, sendo um convencional ( $Al_2O_3$ ) e outro superabrasivo (CBN), através da análise de variáveis de saída específicas, quando estes são submetidos a diferentes condições de usinagem, na retificação do aço VC 131 com dureza média de 60 HRc. Como resultado, o rebolo de CBN apresentou a maior capacidade de corte, além de levar aos melhores resultados de relação G, da rugosidade superficial, além de temperaturas menores na superfície da peça. Isto confirma a tendência mundial de substituição dos rebolos convencionais pelos de CBN, quando da retificação de aços DTG (“Difficult To Grind”).*

***Palavras-chave:** Rebolos de CBN, Rebolos de óxido de alumínio, Temperaturas de retificação.*

### 1. INTRODUÇÃO

O processo de retificação tem entre os seus objetivos melhorar o acabamento superficial e garantir a integridade superficial dos componentes usinados, sejam eles tratados termicamente ou não. Entretanto, excessivas temperaturas geradas durante o processo de retificação podem causar danos térmicos às peças. Segundo Shaw (1994), os danos na camada superficial da peça podem ser identificados como consequência da realização de operações de retificação sem controle ou mal elaboradas. A escolha incorreta do par fluido-ferramenta, a utilização de condições de usinagem e de afiação da ferramenta inadequados e uma lubrificação não eficiente pode afetar, negativamente, as propriedades mecânicas do componente usinado, pela diminuição de sua resistência à fadiga e ao desgaste. Isto se deve a incidência dos danos térmicos oriundos do processo de retificação, os quais provocam alterações micro-estruturais, pela introdução de uma zona termicamente afetada pelo calor, levando ao surgimento de

tensões residuais de tração. Além disso, a qualidade superficial do componente pode ser afetada pelo surgimento de trincas e a ocorrência de queima superficial, decorrentes das elevadas temperaturas na região de corte.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise comparativa entre o desempenho de um rebolo superabrasivos de CBN fabricado com ligante resinóide e um rebolo convencional de  $Al_2O_3$ , bem como uma análise qualitativa do acabamento superficial da peça retificada. As condições de usinagem (penetração do rebolo na peça  $a$ , velocidade da peça  $v_w$  e velocidade de corte  $v_s$ ) foram variadas a fim de se avaliar o comportamento da força tangencial de corte  $F_{tc}$ , relação  $G$  (Relação entre o volume de material usinado  $Z_w$  e o volume de ferramenta gasta  $Z_s$ ), rugosidade superficial  $R_a$  e temperatura superficial da peça.

## 2. REBOLOS CONVENCIONAIS E SUPERABRASIVOS: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

Para que os rebolos executem uma operação adequadamente, estes devem ser duros e resistentes para suportar as pressões que são geradas durante a operação de retificação, e o grão abrasivo deve ser capaz de se quebrar gradualmente para expor novas arestas de corte afiadas para que o material possa ser retificado. Os principais componentes de um rebolo são o grão abrasivo e o ligante, que os mantém juntos.

- **Grão abrasivo**

Segundo Malkin (1989), os abrasivos convencionais utilizados na confecção de rebolos são o óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) e o carbeto de silício (SiC). Virtualmente, todos os abrasivos convencionais utilizados hoje na fabricação de rebolos são materiais sintéticos tendo como elementos fundamentais tanto o  $Al_2O_3$  quanto o SiC. Como exemplo, os óxidos de alumínio sintéticos, contém, em adição ao  $Al_2O_3$ , várias quantidades de óxidos metálicos adicionados proposadamente ou na forma de impurezas.

Classicamente, o requerimento básico de um abrasivo é deste ser mais duro que o material a sofrer a abrasão. A dureza de um abrasivo é definida pelo teste de dureza Knoop, [ $kg/mm^2$ ]. Outra importante propriedade do abrasivo é a sua resistência dinâmica ou tenacidade. Alta tenacidade implica em grãos abrasivos menos propícios à fragmentação quando de seu impacto com a peça a ser retificada. De forma contrária, menos tenacidade (maior friabilidade) implica em grãos abrasivos com maior capacidade de gerar novas arestas de corte à medida que os grãos vão se tornando “cegos” devido ao atrito durante o uso.

- **Tipos de ligantes**

Utilizados para fixar os grãos abrasivos na superfície de corte do rebolo, os tipos de ligantes utilizados na produção de rebolos convencionais, segundo Malkin (1989) são: resinóide, resinóide reforçado, ligantes à base de borracha, silicato, vitrificados, dentre outros. Cada tipo de ligante apresenta características próprias quanto à capacidade de retenção do grão, resistência ao impacto, resistência térmica e à erosão do cavaco. Em geral, o ligante deve ser forte o bastante para resistir às forças de corte, a temperatura e a força centrífuga sem desintegrar, além de resistir ao ataque químico do fluido de corte.

O termo “dureza de rebolos” está relacionado com a capacidade de retenção dos grãos abrasivos pelo ligante, quando submetido aos esforços para a operação de retificação. A dureza de um rebolo pode variar em função da quantidade de ligante utilizado para a fabricação do rebolo (diagrama ternário), ou ainda em função da qualidade e do tipo de ligante utilizado.

Os quatro tipos de ligantes mais comuns, atualmente utilizados pelos fabricantes de rebolo superabrasivo, são os resinóides, vitrificados, metálicos e eletrodepositados.

### 3. METODOLOGIA DE ENSAIOS

Visando a realização deste trabalho, foram realizados 12 ensaios laboratoriais variando-se as condições de usinagem ( $v_s$ ,  $v_w$  e  $a$ ), já descritos na página anterior, e os parâmetros de saída medidos (força tangencial de corte, rugosidade superficial da peça e relação  $G$ ). As condições de usinagem e os valores de espessura equivalente de corte ( $h_{eq} = a \cdot v_w / v_s$ ) serão apresentadas, futuramente, na Tabela 1.

Para a medição da força tangencial de corte optou-se, pela determinação, em tempo real, da mesma através da rotação  $n$  da ferramenta e da potência elétrica  $P_c$  consumida pelo motor de acionamento da ferramenta abrasiva, durante o corte. Para tanto, utilizou-se um circuito condicionador de sinais, o qual permite a aquisição e transformação dos valores de corrente elétrica, tensão elétrica e rotação do motor em sinais de tensão elétrica compatíveis, para serem enviados a uma placa de aquisição de dados A/D. Utilizando-se o software de aquisição de dados LabView 4.1, equações de calibração previamente determinadas e os valores de tensão lidos pela placa de aquisição de dados pode-se então calcular a força tangencial de corte  $F_{tc}$ .

Utilizou-se uma retificadora plana, marca Sulmecânica, e o material utilizado para a realização dos ensaios foi o aço VC 131, temperado e revenido, com dureza média de 60 HRC. As dimensões dos corpos-de-prova foram: 263,5 mm de comprimento, 65 mm de largura e 5 mm de espessura.

Inicialmente o corpo de prova era fixado sobre a mesa da máquina retificadora e posteriormente eram acertadas todas as condições de usinagem (velocidade de corte, velocidade da mesa e penetração do rebolo na peça). Posteriormente dava-se início aos ensaios medindo-se a força tangencial de corte, em tempo real, a rugosidade superficial da peça, e o desgaste diametral do rebolo no final de cada ensaio.

Cada ensaio era finalizado quando o volume específico de material removido atingia 6.000 mm<sup>3</sup>/mm, o que aconteceu, em média, após 9 horas ininterruptas de ensaio.

A rugosidade superficial ( $R_a$ ) (cut-off de 0,8 mm e filtro 2CR (ISO)) dos corpos de prova era medida periodicamente (a cada número pré-determinado de passadas do rebolo sobre a peça, dependendo da condição de usinagem), utilizando-se um rugosímetro marca Taylor Hobson, modelo Surtronic 3+, em três posições distintas do corpo de prova (laterais e centro) e quatro vezes consecutivas em cada posição. Posteriormente era feita a média dos valores obtidos, e anotada para posterior utilização. Os ensaios foram realizados utilizando-se a metade da largura (altura) do rebolo. Desta forma, a metade não utilizada no ensaio servia como referência para a medição da perda diametral do rebolo. No final de cada ensaio o perfil geométrico do rebolo era marcado sobre uma chapa metálica (aço com baixo teor de carbono) para posterior medição do desgaste do rebolo. Como o volume de material removido era constante para cada ensaio, a determinação da relação  $G$  era direta.

As temperaturas foram obtidas utilizando-se de 03 termopares para a peça ensaiada com o rebolo de óxido de alumínio e 05 termopares para a peça ensaiada com o rebolo de CBN, calibrados e embutidos na referida peça. Desta forma, ao retificar-se o primeiro termopar (após a remoção de 5 mm, na altura do material), seriam removidos os primeiros 1200 mm<sup>3</sup>/mm de material e assim sucessivamente, até atingir os 6000 mm<sup>3</sup>/mm de material removido.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para uma melhor análise do comportamento dos valores de força tangencial de corte ( $F_{tc}$ ) da rugosidade ( $R_a$ ) e relação ( $G$ ), os resultados obtidos para cada ensaio são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 1. Resultados obtidos com os rebolos de CBN com ligante resinóide (NB126R100BK) e com rebolo convencional de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (38A46KVS)

Rebolo de CBN - heq = 0,1 μm							
Ensaio	Ftc média (N)	Ra média (μm)	G	Qw' (mm <sup>3</sup> /mm.s)	a (μm)	Vs (m/s)	Vw (m/s)
1	63,83	0,46	363,80	3,3	100	33	0,033
5	59,35	0,50	109,20	3,3	60	33	0,055
6	60,78	0,52	68,20	3,3	30	33	0,11
Rebolo de CBN - heq = 0,05 μm							
Ensaio	Ftc média (N)	Ra média (μm)	G	Qw' (mm <sup>3</sup> /mm.s)	a (μm)	Vs (m/s)	Vw (m/s)
3	62,50	0,48	496,10	1,65	50	33	0,033
2	60,49	0,43	272,90	1,65	30	33	0,055
4	57,84	0,41	218,30	1,65	15	33	0,11
Rebolo de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - heq = 0,1 μm							
Ensaio	Ftc média (N)	Ra média (μm)	G	Qw' (mm <sup>3</sup> /mm.s)	a (μm)	Vs (m/s)	Vw (m/s)
11	58,77	0,74	12,70	3,3	100	33	0,033
10	61,30	0,72	7,00	3,3	60	33	0,055
12	58,34	0,61	4,80	3,3	30	33	0,11
Rebolo de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - heq = 0,05 μm							
Ensaio	Ftc média (N)	Ra média (μm)	G	Qw' (mm <sup>3</sup> /mm.s)	a (μm)	Vs (m/s)	Vw (m/s)
7	60,61	0,64	19,10	1,65	50	33	0,033
9	58,23	0,64	7,70	1,65	30	33	0,055
8	57,37	0,59	3,50	1,65	15	33	0,11

Da análise global dos resultados obtidos para as variáveis de saída monitoradas, pôde-se verificar que os dois tipos de ferramentas ensaiadas apresentaram um desempenho final distinto quando da análise da rugosidade superficial e da relação **G**, para os ensaios realizados.

Comparativamente, não houve diferenças entre as duas ferramentas, quando da análise dos resultados obtidos para força tangencial de corte. A tendência de estabilização e manutenção, dentro de uma faixa de pequena amplitude, dos valores de força tangencial de corte para o rebolo de CBN (mesmo sob as severas condições de usinagem impostas, que podem ser caracterizadas pelo desbaste com semi-acabamento), atestam que, para as condições de usinagem ensaiadas, esta ferramenta apresentou uma excelente manutenção da capacidade de corte durante o volume de material removido (30.000 mm<sup>3</sup> de material removido por ensaio, o que equivale aos 6.000mm<sup>3</sup>/mm). Isto possibilitou a obtenção de valores de rugosidade **R<sub>a</sub>** inferiores à 0,55μm, os quais foram menores do que os observados para o rebolo convencional. Este comportamento estável das variáveis de saída indicam que a ferramenta abrasiva ainda apresentava capacidade de corte para a remoção de um volume de material maior de que o proposto para a realização deste trabalho, sem que houvesse a necessidade de uma nova dressagem e afiação da ferramenta. Além disso, apesar do material retificado (Aço VC 131) ser de elevada dureza (60 HRC) e classificado como aço de difícil retificação (DTG), os resultados observados permitem concluir que as ferramentas abrasivas testadas apresentaram excelente desempenho, tomando-se como base os pequenos valores quantificados de desgaste radial da ferramenta e o acabamento superficial obtido.

Da análise do desempenho do rebolo convencional, este apresenta uma dureza do ligante classificada como mole, a qual é a adequada para a retificação de materiais DTG com rebolos convencionais. Segundo Vieira Jr. (1992), para materiais duros, o rebolo deve ser mole, ao passo que para materiais moles o rebolo deve ser duro. Ao se cortar um material com alto grau de dureza, o desgaste do grão é mais intenso e torna-se desejável a auto-afiação (para que

a peça não fique queimada). Além disso, o desgaste do ligante pelo cavaco não é tão evidente, uma vez que materiais duros normalmente produzem cavacos curtos e quebradiços. Já no corte de um material de baixo grau de dureza, o desgaste do grão abrasivo é mais lento e, portanto, com menor necessidade de novas camadas de grão.

Esta opção pela utilização de um rebolo mole permite a manutenção das forças de retificação e dos valores de rugosidade estáveis durante a usinagem, pela liberação e renovação constante de grãos abrasivos, pois aumentos na força de corte, resultado do desgaste dos grãos abrasivos, levam a uma liberação dos mesmos, devido a baixa dureza e capacidade de retenção do ligante do rebolo. Todavia, esta liberação constante dos grãos abrasivos resulta em uma perda diametral do rebolo e, conseqüentemente, uma queda na relação  $G$ . Caso contrário, se um rebolo com ligante classificado como duro for utilizado, o aumento excessivo da força tangencial de corte pelo desgaste do grão abrasivo e pela maior capacidade de retenção dos grãos desgastados pode levar a um aumento da energia de retificação requerida, aumento da temperatura na região de corte, provável incidência de danos térmicos e aumento da rugosidade superficial, do nível de vibrações, dentre outros.

Sendo assim, a diferença mais significativa entre as duas ferramentas, quanto às variáveis de saída, foi verificada quando da análise da relação  $G$ , sendo que os valores observados foram muito diferentes para as duas ferramentas (vide Tabela 1). Neste caso, o rebolo de CBN com ligante resinóide apresentou, para todos os ensaios realizados, um valor de relação  $G$  muito superior ao verificado para o rebolo convencional, removendo uma quantidade muito maior de material (6.000 *versus* 4.200mm<sup>3</sup>/mm, respectivamente). Isto acompanhado de um desgaste radial substancialmente menor. Através do comportamento estável dos valores de força tangencial de corte, e rugosidade e dos valores de  $G$  observados, conjuntamente com as outras variáveis medidas, pode-se caracterizar uma sub-utilização desta ferramenta nos ensaios realizados. Além disso, grande parte deste desgaste observado para o rebolo de CBN com ligante resinóide é função da operação perfilamento seguido de avivamento. O avivamento resulta em uma maior exposição dos grãos abrasivos, pelo desgaste do ligante. Em contrapartida, diminui-se a força de ancoragem do ligante sobre o grão, podendo ocorrer até o desprendimento dos grãos mal ancorados. Nota-se que os volumes removidos são relativamente elevados, se comparado ao que é normalmente removido com rebolo convencional, fazendo com que sua aplicação no meio industrial seja mais econômica quanto ao desgaste do rebolo e estabilidade da rugosidade média das peças.

Quando da comparação dos valores de força tangencial de corte e de rugosidade referentes a ensaios realizados dentro de um mesmo grupo de ferramenta e  $h_{eq}$ , variando-se a penetração ( $a$ ) e a velocidade da peça ( $v_w$ ), pequenas diferenças foram verificadas. Alterações significativas nos valores de força e rugosidade, quando da alteração da penetração de trabalho, mantendo-se  $h_{eq}$  constante, são mais pronunciadas em operações de retificação profunda do que em operações de retificação do tipo pendular (König, 1982). Desta forma, pequenas diferenças na qualidade superficial da peça foram verificadas, ocorrendo pequena melhoria da rugosidade superficial quando da diminuição da penetração da peça. Entretanto estas diferenças não se apresentaram de forma significativa.

Conforme apresentado na Tabela 1, tanto para  $h_{eq} = 0,05 \mu\text{m}$  para  $h_{eq} = 0,10 \mu\text{m}$ , a diminuição da penetração do rebolo na peça, acompanhado da elevação da velocidade desta, resultou no aumento do desgaste radial da ferramenta, devido ao aumento do número de choques pelo aumento de  $v_w$ , ocasionando, conseqüentemente, uma diminuição da relação  $G$ . Isto ocorre pois, para um mesmo volume de material removido ( $Z_w = 30.000\text{mm}^3$  para o rebolo de CBN e de 24.000 mm<sup>3</sup> para o rebolo convencional de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), o qual mantiveram-se constantes para os respectivos ensaios com as duas ferramentas, o aumento do desgaste radial acarreta em um aumento do volume de ferramenta gasta ( $Z_s$ ). Com a relação  $G$  é definida como sendo a razão entre  $Z_w$  e  $Z_s$ , um aumento de  $Z_s$ , mantido  $Z_w$  constante, levará a uma

diminuição da relação  $G$ . Em outras palavras, a ferramenta apresenta um maior desgaste volumétrico para a remoção de um mesmo volume de material.

Conforme apresentado nas figuras de números 1 a 6, pode-se verificar que as temperaturas de retificação, operando-se com rebolos de CBN, sempre foram inferiores quando comparadas com aquelas medidas nas peças retificadas com rebolos convencionais. Com relação aos valores máximos de temperatura observados (sempre inferiores a 100 °C, figuras 2, 4 e 6) deve-se ao fato dos rebolos de CBN apresentarem uma menor partição da energia gerada para a peça, segundo estudos realizados por Kohli, Guo e Malkin (1995). A análise dos resultados obtidos indica que a menor partição de energia introduzida pelos rebolos de CBN à peça, deve-se ao fato de que uma porção significativa do calor gerado durante o processo é transportada para a ferramenta e principalmente ao fluido de corte, ao invés de ser transportada para a peça, devido a maior condutibilidade térmica dos grãos abrasivos de CBN, a qual é muito maior do que a dos grãos de óxido de alumínio. A menor partição de energia, quando da utilização de rebolos de CBN permite uma diminuição das temperaturas na região de corte. Desta forma, os resultados obtidos se aproximam dos resultados verificados por Kohli, Guo e Malkin (1995), aproximadamente 400 °C quando utilizados rebolos de óxido de alumínio e 100 °C para rebolos de CBN. Isto tende a proporcionar uma menor possibilidade de indução de danos térmicos à peça.

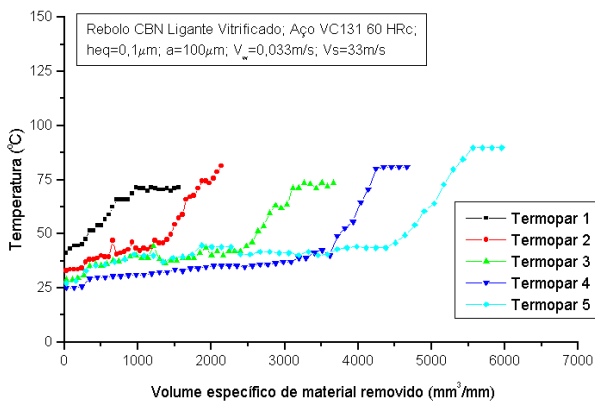


Figura 1. Variação da temperatura na peça, em função do volume de material removido com rebolo de CBN

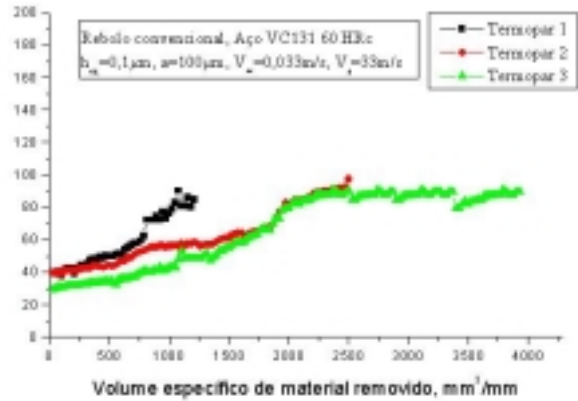


Figura 2. Variação da temperatura na peça, em função do volume de material removido com rebolo de  $\text{Al}_2\text{O}_3$

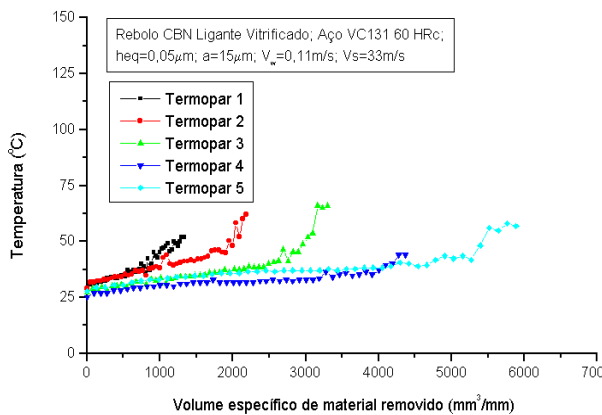


Figura 3. Variação da temperatura na peça, em função do volume de material removido com rebolo de CBN

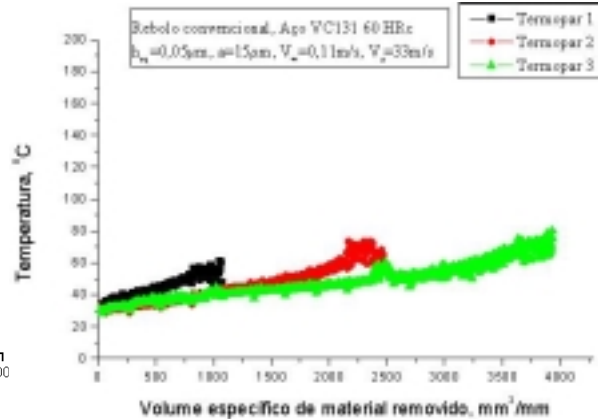


Figura 4. Variação da temperatura na peça, em função do volume de material removido com rebolo de  $\text{Al}_2\text{O}_3$

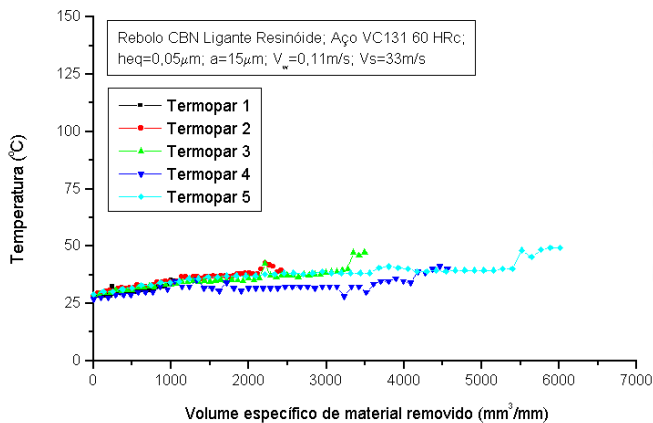


Figura 5. Variação da temperatura na peça, em função do volume de material removido com rebolo de CBN

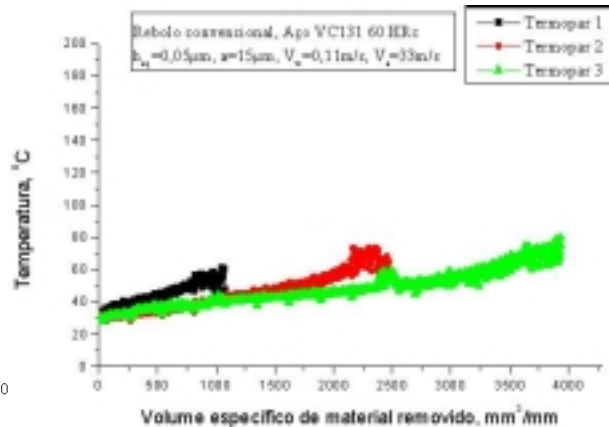


Figura 6. Variação da temperatura na peça, em função do volume de material removido com rebolo de  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Outros aspectos podem ser avaliados em pesquisas futuras como tensões residuais, microdureza, danos térmicos, dentre outros. É relevante ressaltar que se estas variáveis podem ser comparadas às obtidas por rebolos convencionais para destacar as substanciais diferenças e ganhos financeiros que podem ser obtidos pelas ferramentas superabrasivas.

## 5. CONCLUSÕES

Da realização desta pesquisa experimental do estudo comparativo do desempenho de um rebolo de CBN com ligante resinóide e de um convencional de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , pode-se concluir:

A metodologia adotada para a verificação do desempenho das ferramentas mostrou-se adequada para as finalidades do trabalho, sendo possível estabelecer correlações dos resultados obtidos com as demais pesquisas realizadas no estudo do comportamento de rebolos de CBN e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  no processo de retificação de aços endurecidos.

De uma maneira geral, através da análise dos resultados não foram verificadas diferenças significantes entre os dois tipos de rebolos quanto aos valores de força tangencial de corte. Para as observações referentes à rugosidade superficial, o rebolo de CBN apresentou melhores valores de rugosidade, para as mesmas condições de usinagem.

As diferenças mais pronunciadas foram verificadas quando da análise dos valores de relação  $G$ , onde o rebolo de CBN com ligante resinóide apresentou um desempenho muitas vezes superior que o rebolo convencional (até 62 vezes maior), sendo que a maior diferença observada entre as ferramentas, para uma mesma condição de usinagem (ensaio 8) foi de 6.137%. Ou seja, o rebolo de CBN utilizado permite a remoção de uma mesma quantidade de material que o rebolo convencional, porém com um desgaste de ferramenta muitas vezes inferior ao desgaste verificado no rebolo convencional. Além disso, pôde-se verificar uma sub-utilização da ferramenta superabrasiva de CBN com ligante resinóide pelo comportamento estável dos valores de força tangencial de corte e rugosidade, os quais indicaram que esta possuía ainda uma capacidade de corte elevada, podendo retificar um volume muito maior de material, do que os  $6.000\text{mm}^3/\text{mm}$  propostos ( $30.000\text{mm}^3$ ) para a realização deste trabalho, sem a necessidade de uma nova operação de afiação.

Observou-se também que as temperaturas medidas na região de corte, quando se usou o rebolo de CBN, sempre foram inferiores às aquelas medidas, nas mesmas condições, com o

rebolo convencional. Em nenhum dos casos os valores das temperaturas foram demasiadamente altas, com possibilidades de causar danos ao rebolo ou à peça.

Sendo assim, para destes tipos de aços (DTG, com dureza igual ou superior a 60HRC), o rebolo de CBN com ligante resínóide testado, apesar de seu custo inicial de aquisição ser mais elevado do que o de um rebolo convencional, leva grande vantagem em relação ao rebolo convencional de óxido de alumínio, em relação as variáveis monitoradas para este trabalho e principalmente pelo pequeno desgaste radial da ferramenta, levando a diminuição do número de operações de afiação durante a fabricação de um determinado componente, aliado ao comportamento estável e controlado dos valores de força tangencial de corte e rugosidade superficial, resultado da elevada resistência dos grãos de CBN ao desgaste, o que permite a manutenção da capacidade de corte dos grãos por um período de tempo muito maior, quando comparados com os rebolos convencionais.

### *Agradecimentos*

Manifestamos nossos agradecimentos à **FAPESP** (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro concedido para a realização deste trabalho.

## **6. REFERÊNCIAS**

1. BORAZON CBN - General Electric Company, USA - Superabrasives. Produtos para Retifica. Publicação feita pela empresa GE Company USA, 1998a, 14p.
2. DIAMANTE RVG - General Electric Company, USA - Superabrasives. Produtos para Retifica. Publicação feita pela empresa GE Company USA, 1998b, 41p.
3. KOHLI S.P., GUO, C.; MALKIN, S. "Energy Partition for Grinding with Aluminum Oxide and CBN Abrasive Wheels". *ASME Journal of Engineering for industry*, Vol. 117, 1995, p. 160-168.
4. MALKIN, S. "Grinding Wheels: Composition and Properties", In: MALKIN, S. *Grinding Technology: theory and applications of machining with abrasives*. 1<sup>st</sup>.ed. Chichester, Ellis Horwood Limited, 1989. Cap. 2, p.18 a 44.
5. MALKIN, S. "Grinding Mechanisms" e "Grinding Temperatures and Thermal Damage", In: MALKIN, S. *Grinding Technology: theory and applications of machining with abrasives*. 1<sup>st</sup>.ed. Chichester, Ellis Horwood Limited, 1989. Cap. 5 e 6, p.108 a 171.
6. VIEIRA Jr., M. Avaliação da dureza de rebolos em trabalho através do uso da emissão acústica na dressagem. São Carlos, 1996. p.1-35. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
7. SHAW, M. "Heat-affect Zones in Grinding Steels". *Annals of the CIRP*, v 43/1, 1994, p. 279-282.