

APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS CERÂMICAS DE USINAGEM NA CALIBRAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE MESAS DE CILINDROS DE LAMINAÇÃO¹

Ernesto Pedro Malère²

João Carlos Ribeiro³

Marcos Valério Ribeiro⁴

Resumo

O objetivo deste trabalho é o de demonstrar os ganhos de produtividade no torneamento de calibração de cilindros para laminação de barras e fio- máquina na Usina Luiz Dumont Villares, Pindamonhangaba (SP) da Aços Villares S.A. (Grupo Sidenor), obtidos através da utilização de ferramentas cerâmicas de usinagem que permitiram substituir completamente as ferramentas de metal duro anteriormente utilizadas. Estas ferramentas cerâmicas permitiram importantes ganhos de produtividade da ordem de 70% durante o processo de fabricação de cilindros para laminação de produtos planos de aço (tiras a frio e a quente), em especial durante a usinagem de acabamento das mesas de trabalho. Os resultados permitiram reduzir o número de máquinas- ferramenta utilizadas nas operações de calibração de cilindros; a precisão de forma nos canais resultou melhorada, com menores variações na rugosidade superficial, do que possíveis com metal duro. Como conclusão, as ferramentas de cerâmica oferecem oportunidades de redução de tempos de torneamento de aços e ferros fundidos endurecidos, sempre que sejam conhecidas e compreendidas suas características de resistência, tenacidade e desgaste para adequar devidamente os parâmetros de corte; e que sejam utilizados tornos com altas estabilidade e rigidez.

Palavras- chave: Ferramenta; Torneamento; Cerâmica; Cilindros de laminação.

REDRESSING GROOVES AND BARRELS OF ROLLING MILL ROLLS BY TURNING WITH CERAMIC CUTTING TOOLS

Abstract

This paper demonstrates the gains in productivity obtained in the turning of the roll grooves for the bar and wire rod rolling mill at Aços Villares's Luiz Dumont Villares Plant, Pindamonhangaba (SP), Brazil, through the substitution of the carbide tools by ceramic tools. The ceramic tools permitted as well, to obtain productivity gains in the finishing turning operations during the manufacture of rolls for hot and cold strip rolling, particularly during the finishing of the roll barrel. The results show grooving productivity increases in the range of 70%, and has permitted a decrease on the number of the required machine tools. The use of ceramic tools reduced the machining times on hard turning operations, provided its characteristics of mechanical resistance, toughness and wear are well understood to permit the duly adjustment of the machining parameters. The lathes must be rigid and stable for this application. Through the utilization of ceramics, the groove's sizes are more precise and the surface roughness is more consistent.

Key words: Cutting tools; Turning; Ceramics; Rolls for rolling mills.

¹ Contribuição técnica apresentada no 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² Engenheiro Mecânico, Gestão do Conhecimento, Aços Villares SA

³ Engenheiro Mecânico, Processos de Usinagem de Cilindros Fundidos e Forjados, Aços Villares SA

⁴ Livre Docente, Departamento de Materiais e Tecnologia, UNESP- Guaratinguetá

1 INTRODUÇÃO

Denominam-se cerâmicas avançadas àquelas produzidas a partir de uma mistura homogênea de materiais inorgânicos não metálicos (1) e de aditivos, finamente pulverizados; e processados de modo a proporcionar estreito controle granulométrico e baixo teor de residuais e contaminantes. A mistura é posteriormente prensada (a frio ou a quente) e sinterizada. A sinterização faz com que nas faces em contato das partículas seja iniciado um processo de difusão em estado sólido, que provoca uma união progressiva das mesmas dando lugar ao crescimento dos grãos e à diminuição ou desaparecimento dos vazios intergranulares. Os aditivos na mistura visam facilitar o processo de sinterização pela formação de uma segunda fase (geralmente líquida nas temperaturas de processamento) facilitadora dos fenômenos de difusão e transporte de massa, com influência sobre o crescimento do tamanho de grão e sobre o fechamento dos vazios intergranulares aumentando a densidade do material. Alguns aditivos são também utilizados para aumentar a resistência à fratura, pela presença de uma segunda fase que dificulta a propagação de trincas. O ciclo térmico durante e após a sinterização permite estabilizar determinadas estruturas cristalinas nas fases cerâmicas, melhorando as propriedades mecânicas.

Quanto às propriedades mecânicas, as cerâmicas avançadas apresentam elevada dureza a quente (ou seja, conservam a resistência mecânica e a estabilidade em elevadas temperaturas), mas ao mesmo tempo apresentam um comportamento tipicamente frágil (elevado módulo de elasticidade e baixa tenacidade à fratura) (Figura 1).

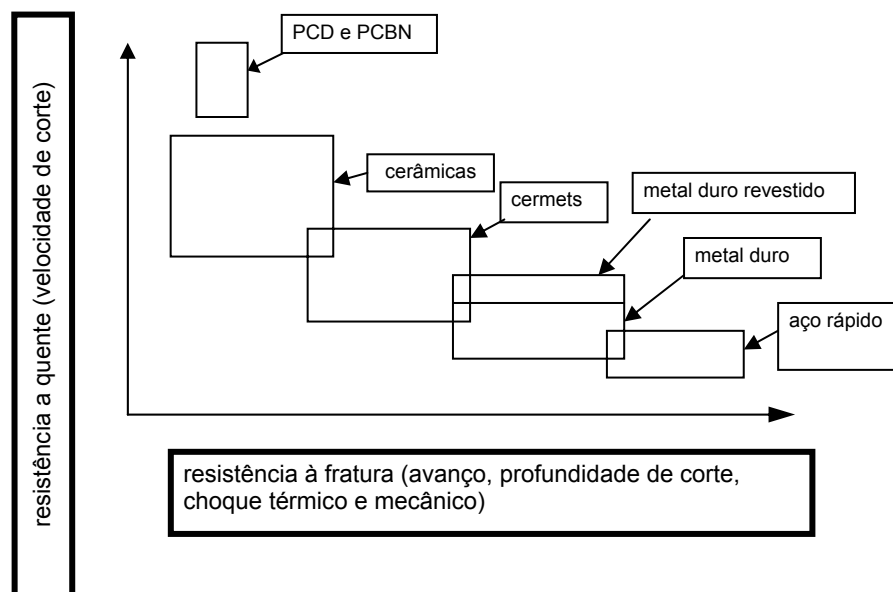


Figura 1. Propriedades comparadas qualitativamente, da cerâmica e outros materiais de corte: propriedades de resistência a quente (influência sobre a velocidade de corte) e tenacidade à fratura (influência sobre o avanço). (2), adaptado.

Há duas famílias de cerâmicas mais utilizadas atualmente em usinagem: as cerâmicas com matriz de óxido de alumínio (geralmente prensadas a quente e com mistura de carbeto ou nitreto de titânio, chamadas comercialmente de cerâmicas

mistas ou pretas) e aquelas com matriz de nitreto de silício (uma de cujas variantes é o SiAlON). As cerâmicas com óxido de alumínio apresentam maior estabilidade química a quente, mas apresentam menor tenacidade à fratura. Estas cerâmicas são preferidas para realizar acabamento em cilindros de ferro fundido ligado (com mesa coquilhada de elevada dureza superficial). As cerâmicas com nitreto de silício apresentam maior dureza a quente, maior resistência ao choque térmico (podem eventualmente ser utilizadas com fluido refrigerante) e maior resistência à fratura, porém são menos estáveis quimicamente em elevadas temperaturas (a maior ou menor reatividade depende também da composição química e formação de cavaco do material em usinagem). As cerâmicas de nitreto de silício ou de SiAlON são preferidas no desbaste de cilindros de laminação a partir do estado bruto de fundição (sob certas condições de homogeneidade superficial), devido à sua maior tenacidade. As ferramentas de óxido de alumínio são preferidas no entanto, nas maiores velocidades de corte típicas das operações de acabamento nos cilindros de ferro e aço (mesmo com a formação de cavacos relativamente mais longos deste último, com maior transmissão de calor à ferramenta). Neste trabalho abordaremos apenas a utilização de insertos de óxido de alumínio (adicionados de carbetto de titânio como meio de restringir a propagação de trincas) (3), utilizadas na calibração de canais ou na remoção de pequenos sobremetais das mesas dos cilindros.

Os cilindros de laminação para produtos planos a quente são fabricados com ferro fundido pelo processo de dupla fusão (isto é, utiliza-se um ferro fundido ligado na mesa de trabalho e um ferro fundido de baixa liga no núcleo e pescoços). A introdução das ferramentas de torneamento em cerâmica foi realizada na Aços Villares a partir de 1994, quando foram instalados os primeiros tornos horizontais a Comando Numérico na usina de Pindamonhangaba. A utilização inicial das cerâmicas foi a de desbaste e acabamento durante o processo de usinagem dos cilindros de laminação de ferro fundido produzidos para clientes. Com o passar do tempo, a utilização das cerâmicas foi estendida ao torneamento de calibração para os cilindros dos laminadores de desbaste e laminação de tarugos, e do trem contínuo de laminação de barras e fio máquina. Em etapa posterior, o uso de cerâmicas também foi adotado no acabamento das mesas de cilindros de aço (de trabalho e de encosto) em estado temperado e revenido.

Outros tornos já existentes na Aços Villares à época da implantação das ferramentas de cerâmica, operados a copiador eletrônico e de projeto mecânico robusto próprio para usinagem de cilindros de laminação, foram progressivamente atualizados recebendo CNC. Esta renovação dos equipamentos permitiu ampliar o uso das cerâmicas devido ao melhor controle dos parâmetros de processo e às melhorias mecânicas introduzidas nas máquinas (cadeias cinemáticas mais rígidas e redução das folgas aos valores originais dos equipamentos).

A operação de torneamento de ferros fundidos e aços endurecidos é também chamada de torneamento duro. As ferramentas de cerâmica permitem aumentar a remoção horária de material endurecido em comparação à que seria possível com ferramentas de metal duro; e ao mesmo tempo possibilitam diminuir os sobremetais necessários para a operação posterior de retífica. Em certos casos, esta última operação pode ser substituída totalmente pelo torneamento de acabamento com cerâmica, o que geralmente não seria possível utilizando o metal duro devido à sua maior taxa de desgaste.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A composição química das mesas de trabalho dos cilindros de laminação de ferro fundido é escolhida de forma a promover, mediante a rápida solidificação nos moldes metálicos em que os cilindros são fundidos (coquilhas), microestrutura típica (camada coquilhada) de elevada dureza devida à matriz martensítica e à alta fração volumétrica de carbeto eutéticos e dispersos (Figura 2). Os cavacos de usinagem são curtos e quebradiços.

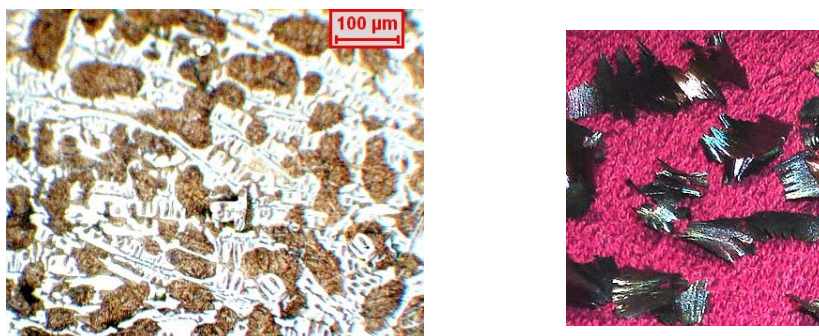


Figura 2. Microestrutura de mesa de cilindro com coquilhamento definido, e cavacos obtidos na usinagem de acabamento.

Os cilindros de laminação para produtos planos a frio (e também para os cilindros de encosto) são fabricados a partir de um único lingote em aço forjado. As propriedades mecânicas adequadas na mesa são obtidas por meio de tratamento térmico de têmpera, em certos casos sucedida de desestabilização a temperaturas sub- zero, e revenimento; o que promove uma microestrutura formada por martensita revenida com carbeto dispersos que apresenta elevadas dureza e tenacidade (Figura 3). Os cavacos de usinagem são quebradiços, mas em geral mais longos que os cavacos de ferro fundido.



Figura 3. Microestrutura de mesa de cilindro de trabalho para tiras a frio, e cavacos obtidos na usinagem de acabamento.

Pode ser verificado na Tabela 1, que a dureza dos cilindros para laminação de planos a frio está próxima à dureza de um aço SAE 1095 temperado (sem revenimento); e que a dureza de um cilindro para laminação de produtos não planos é similar à de um aço SAE 1050 temperado (sem revenimento).

Tabela 1. Comparação orientativa de durezas de cilindros de laminação de ferro e aço, com relação a alguns aços comuns ao carbono temperados (4)

Comparação indicativa de durezas entre diferentes sistemas de medidas e materiais					
Brinell	Rockwell	Shore C	Vickers	LD	Exemplos
HB	HRC	HSc	HV	LD	
(722)	64	88,5	800	846	Aço AISI 1095 diâm. 25 mm temperado em água, dureza superficial
(714)	63,5	87,1	787	842	Aço para cilindros de laminação de planos a frio, temperado e revenido
(644)	59,5	80	685	803	Ferro de coquilhamento definido para cilindros de laminação de produtos não planos Aço AISI 1050 diâm. 25 mm temperado em água, dureza superficial
(632)	58,8	78,8	672	798	Aço rápido para cilindros de laminação de produtos planos a quente
(609)	57,7	76,8	647	787	Ferro de coquilhamento indefinido 17% Cr para cilindros de laminação de produtos planos a quente
(550)	54,4	71,9	584	757	Ferro nodular para cilindros acabadores de laminação de produtos não planos
(477)	49,7	64,6	508	717	Ferro nodular para cilindros pré- acabadores de laminação de produtos não planos Aço AISI 1040 diâm. 25 mm temperado em água, dureza superficial
(466)	48,8	63,4	495	709	Aço para cilindros de encosto de laminação de planos, temperado e revenido
(453)	47,8	62,2	482	696	Ferro nodular para cilindro intermediário de laminação de produtos não planos
(431)	46	59,7	457	683	Aço AISI 1030 diâm. 25 mm temperado em água, dureza superficial
319	34	46,1	336	598	Ferro nodular para cilindro desbastador de laminação de produtos não planos
Obs: (Brinell) fora do alcance recomendado					

A classe de cerâmica utilizada na calibração de produtos não planos na Aços Villares é a de óxido de alumínio misturado a carbeto de titânio (da classe HC2 fabricada por NTK, ou similares) (5) (Figura 4) na geometria RCGX, que pelo seu assento em forma de diedro fornece boa centragem e rigidez de montagem. Os tamanhos utilizados são os de diâmetro inscrito 15,87 mm, 12,7 mm e 9,53 mm. Para os maiores canais, é utilizada a geometria RCMA T de diâmetro 31,75 mm (com fundo plano e furo central).



Figura 4. Insertos de geometria RCMA T (à esquerda) e RCGX (à direita, vistas inferior e superior)

As tolerâncias dimensionais e a rugosidade superficial normal para canais tipo losango, oval, quadrado, preparador e acabador são definidas por um sistema de normas interno compatível com as normas ASTM; e a faixa de rugosidade superficial adotada para canais acabadores é de 0,8 a 1,6 Ra. Todos os insertos descritos são utilizados com ângulo de saída de 0 °, chanfro de -15 ° e arredondamento da aresta de corte (honing) em função do tamanho do inserto.

3 RESULTADOS

A Tabela 2 mostra os parâmetros máximos de corte habitualmente programados nos tornos Romi UT 27 utilizados para usinagem de canais em cilindros de ferro fundido quando os mesmos são usinados a partir de mesas lisas.

Tabela 2. Exemplo de taxa de remoção de material em passes de desbaste e acabamento de canais em cilindros para laminação de produtos não planos. Comparação entre os parâmetros máximos de corte utilizando cerâmica e metal duro (6)

Operação de desbaste e acabamento de canais, parâmetros máximos		Cerâmica			Metal Duro					Taxa Remoção kg/h
Liga	Dureza LD	f	Vc	ap	f	Vc	ap	Tipo de canal	Diâmetro do inserto	Cerâmica
Nodulite AA	598	1	78	5	1	45,6	1	Losango	31,75 mm	184
Nodulite B	696	1	78	5	1	45,6	1	Oval	31,75 mm	184
Nodulite C	717	1,7	80	2	1,7	43	1,3	Pré- acabador	31,75 mm	128
CD 80	803	0,5	88	1	0,3	13	0,5	Acabador	15,87 mm	21
Obs: f= avanço em mm/rotação Vc= velocidade de corte em m/min ap= profundidade de usinagem em mm Cerâmica: marca HC2 (NTK) Metal Duro: classe K01 Nodulite AA, B, C= marcas da Aços Villares, ferro nodular, □ = 350 a 405 mm CD 80= marca da Aços Villares, ferro coquilhamento definido, □ = 350 mm LD= dureza LD										

A Tabela 3 contém os ganhos de produtividade obtidos com a introdução da cerâmica nos tornos copiadores inicialmente, e depois de adotado o CNC (Controle Numérico Computadorizado) nos tornos Romi UT 27 destinados à calibração.

Tabela 3. Aumento de produtividade decorrente da substituição dos insertos de metal duro pelos de cerâmica, e posteriormente pela substituição dos copiadores eletrônicos por CNC (Comando Numérico Computadorizado). (6)

Tabela de produtividades comparadas: Número de jogos de cilindros calibrados por mês			
Material de corte	Metal Duro	Cerâmica	Cerâmica
Comando	Copiador		CNC
No. de máquinas	2	2	1
Jogos/mês	45	75	78
Jogos/mês-máquina	22,5	37,5	78
Aumento de produtividade sobre o estado anterior %		167	208

A Tabela 4 permite verificar os ganhos em taxa de remoção de material obtidas pela aplicação de cerâmicas em alguns exemplos de acabamento de mesas de cilindros.

Tabela 4. Taxas de remoção em passes paralelos, em cilindros de trabalho para laminação de produtos planos de aço a quente e a frio utilizando cerâmica e metal duro. (6)

Material do cilindro e dureza		Tipo de Cerâmica	Tipo de Metal Duro	f	V _c	a _p	Taxa de remoção (kg/h)	Taxa de remoção Cerâmica/Metal Duro %
CI 80	803 LD	HC2		3	80	3	339	
CI 80	803 LD		K01	7	20	3	198	171
VC10	842 LD	HC2		3	100	1	141	
VC10	842 LD		P01	5	36	1	85	167
Obs. CI 80 = marca da Aços Villares, ferro de coquilhamento indefinido para laminação de planos a quente, $\Phi = 350$ mm VC 10= marca da Aços Villares, aço forjado temperado e revenido para laminação de planos a frio, $\Phi = 470$ mm Para cerâmica, geometria SNG 12800 T, $X_r = 3^\circ$; para metal duro, aresta reta $X_r = 3^\circ$								

O desgaste das ferramentas de cerâmica usadas na calibração é caracterizado pelo surgimento de uma cratera inicial pouco pronunciada no segmento utilizado da aresta de corte, e posteriormente por entalhes na superfície de folga nas regiões em que a aresta de corte é mais solicitada (correspondendo ao seu centro e extremidades). Nestas áreas aparecem na seqüência lascamentos progressivos nas superfícies de saída e de folga. Estes lascamentos devem ser controlados através dos parâmetros de corte, porque a partir de um certo tamanho propagarão com tamanho progressivamente maior levando à fratura total do inserto durante o trabalho ou tornando impossível sua reafiação. (Figura5).

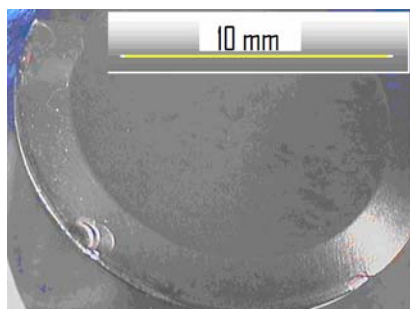


Figura 5. Aspecto típico de desgaste de inserto RCGX diâmetro 15,87 mm após um passe completo, com lascamentos nas regiões mais solicitadas da aresta de corte (laterais e fundo do canal)

4 DISCUSSÃO

Foi obtido um aumento de produtividade de 67% pela substituição das ferramentas de metal duro por cerâmica na operação de calibração dos cilindros da laminação de barras e fio máquina. O aumento total de produtividade das máquinas de calibração inclui outras operações não afetadas pelo uso de cerâmica como regulagem do torno, medição, esperas de ponte rolante, manutenção e outros, resultando nas percentagens de aumento de produção inseridos na Tabela 3. Os inserts de cerâmica apresentam nas aplicações descritas um desgaste da aresta de corte menor que o do metal duro, motivo pelo qual também é obtida uma melhoria da qualidade superficial dos canais (em especial os preparadores e acabadores) e uma melhor aderência às tolerâncias de fabricação. Este resultado comprova o bom desempenho deste material de corte quando aplicado a ferros especiais endurecidos por coquilhamento. O aumento de produtividade diminuiu o ciclo de calibração acelerando o retorno dos cilindros à laminação com a conseqüente redução de estoque dos mesmos. Os turnos necessários de trabalho para calibração reduziram-se proporcionalmente. No Departamento de Usinagem de Cilindros (para clientes) da Aços Villares o volume de produção cresceu constantemente ao longo dos últimos anos, e o efeito do aumento de produtividade devido ao uso de cerâmicas foi o de requerer menor número de tornos para atender as necessidades da produção, do que seria necessário caso se utilizasse exclusivamente metal duro; isto tem significado menor volume de investimento em tornos e menor necessidade de área industrial. Deve ser notado na Tabela 2 que no caso da operação de acabamento no material CD80, o avanço utilizado com inserts de cerâmica em calibração pode ser maior que aquele utilizado com a ferramenta equivalente de metal duro (apesar deste último poder suportar maior avanço sem fraturar, na mesma operação de usinagem devido à sua maior tenacidade). A razão disto é que a calibração é uma operação de precisão, com estreitas tolerâncias envolvidas. Como o desgaste da aresta de corte do metal duro é maior que o apresentado pela cerâmica, as tolerâncias dimensionais do canal seriam excedidas se fosse utilizado o avanço máximo possível para o metal duro. Portanto nesta aplicação, a cerâmica permite utilização com avanços iguais ou maiores do que com metal duro já que o reduzido desgaste da aresta de corte oferece maiores chances de manutenção das tolerâncias. O metal duro apresenta vantagens na utilização de maiores avanços (exemplos da Tabela 4) apenas quando a peça irá ser posteriormente retificada, de modo que a maior tolerância de fabricação utilizada antes da operação de retífica permite acomodar o maior desgaste da ferramenta.

5 CONCLUSÃO

O uso de cerâmicas permite diminuir o tempo de calibração de cilindros para produtos não planos, de torneamento no acabamento das mesas em cilindros para produtos planos, e de retificação devido ao uso de maior velocidade de corte e à obtenção de melhor acabamento superficial e tolerâncias mais consistentes no torneamento prévio. No caso de necessidade de se remover maiores sobremetais nas mesas, poderá se proceder à remoção de uma parte do mesmo com ferramentas de cerâmica no torno (ou na própria retífica com um porta-ferramentas adequado), deixando assim o sobremetal estritamente necessário para a operação de retificação final, ganhando produtividade.

Os insertos de cerâmica diminuem os tempos de parada devido à sua maior capacidade de suportar um passe completo na mesa de um cilindro em calibração exigindo menor número de trocas de ferramentas e de acerto das mesmas.

Há cuidados a serem tomados na utilização de cerâmica: as máquinas devem possuir excelente rigidez; o manuseio dos insertos deve ser cuidadoso (qualquer entalhe na aresta de corte devido a batidas contra outros objetos duros, torna-se um concentrador de tensões que pode levar o inserto à fratura total durante a usinagem), e os porta-ferramentas e grampos devem estar muito bem ajustados para evitar pontos de concentração de tensões. A cerâmica é reafiável, de modo que caso o desgaste dos insertos durante a usinagem for controlado para evitar que sejam excedidos valores pre-definidos, poderá ser realizada afiação por retificação na sua superfície de folga e chanfros visando eliminação do desgaste permitindo assim várias reutilizações. A afiação deve evitar a geração de trincas que poderão evoluir para a fratura total do inserto em serviço.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos Diretores da Aços Villares, Srs. Miguel Â. de Carvalho e F. Javier Verástegui Castro, pela autorização para publicação deste trabalho; e aos colegas Srs. Renato R. Xavier, Osmar de O. Damas, André M. Moraes, Jefferson R. Marcelino dos Santos e Henrique R. Monteiro, pela colaboração prestada durante a coleta de dados.

REFÊRENCIAS

- 1 Kingery, W. D., Introduction to Ceramics 2nd edition, John Wiley & Sons, 1976
- 2 Mehrotra, P. K. , Applications of ceramic cutting tools, in Key Engineering Materials Vols. 138- 140, Trans Tech Publications, Switzerland ,1998
- 3 Shaw, M.C., Tool life, , in Ceramic cutting tools- Materials, development and performance,, Noyes Publications, 1994
- 4 Tabela orientativa para uso em Projetos Mecânicos (documento interno, Aços Villares), 1997
- 5 NTK Cutting Tools, Ceramic, Cermet & Silicon Nitride Inserts, Catálogo de Produtos, 2003
- 6 Relatório da Engenharia de Usinagem: Aumento de Produtividade na Usinagem de Cilindros, Ferramentas Cerâmicas e Tornos a CNC (documento interno, Aços Villares), 2003