



## ELIMINAÇÃO E MINIMIZAÇÃO DO FLUIDO DE CORTE NO PROCESSO DE TORNEAMENTO COM INSERTOS DE METAL DURO REVESTIDOS COM TiN

**Rolf Bertrand Schroeter<sup>1</sup>, Walmir Markus<sup>2</sup>**

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Eng. Mecânica, Laboratório de Mecânica de Precisão, (1) [rolf@emc.ufsc.br](mailto:rolf@emc.ufsc.br), (2) [markus@lmp.ufsc.br](mailto:markus@lmp.ufsc.br) - Florianópolis, SC, Brasil.

**Cleiton Rodrigues Teixeira**

Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Departamento de Materiais e Construção, [dmcrt@super.furg.br](mailto:dmcrt@super.furg.br) - Rio Grande, RS, Brasil.

**Resumo.** Neste trabalho é analisado o comportamento do desgaste de flanco ( $VB_{máx.}$ ) na ferramenta, das forças de usinagem (força de corte, força de avanço e força passiva) e da rugosidade  $R_a$  e  $R_t$  no processo de torneamento cilíndrico longitudinal do aço SAE 1040 com insertos de metal duro revestidos com TiN. Neste estudo foram empregadas seis condições de fluido de corte: usinagem a seco, emulsão com jato e usinagem com a mínima quantidade de fluido de corte (MQFC), com óleo vegetal, óleo mineral, bissulfeto de molibdênio e emulsão 6%. Através deste estudo, pôde-se gerar informações tecnológicas que possibilitam uma comparação entre a usinagem com a minimização de fluido de corte e as atuais condições de produção na indústria.

**Palavras-chave:** Torneamento, Metal Duro, Minimização de Fluido de Corte, Usinagem a seco

### 1. INTRODUÇÃO

A cada ano cresce em todo mundo a consciência ambiental. O aumento dos problemas de descartes, pressionado por uma legislação mais severa (ISO 14.000), faz com que cada vez mais empresas se aprofundem nas questões de compatibilidade ambiental de sua produção. Tal preocupação era praticamente inexistente há alguns anos, pois as indústrias tinham como principal objetivo a fabricação de produtos com vistas à satisfação de aspectos tecnológicos e econômicos (Teixeira, 1997).

Os fluidos de corte, que tem por finalidade aumentar a vida da ferramenta, reduzir a força e potência de corte, entre outras funções (König & Klocke, 1997; Stemmer, 1995), devem adequar-se às novas exigências da legislação ambiental devido a problemas gerados a partir do descarte dos mesmos e seus possíveis riscos à saúde e ao meio ambiente.

O desenvolvimento deste trabalho tem por objetivo realizar estudos específicos para investigar as conseqüências tecnológicas que a minimização e eliminação do fluido de corte causam. Para isto foram desenvolvidos estudos no processo de torneamento cilíndrico longitudinal com insertos de metal duro revestidos com TiN no aço SAE 1040, com o

objetivo de adaptar este processo às novas exigências ecológicas. É analisado o comportamento do desgaste de flanco ( $VB_{máx.}$ ) na ferramenta e a forma como este evolui até a perda do revestimento da ferramenta, bem como o comportamento das componentes da força de usinagem (força de corte, força de avanço e força passiva). Neste estudo são empregadas seis condições de fluidos de corte: usinagem a seco, com mínima quantidade (óleo vegetal, óleo mineral, bissulfeto de molibdênio e emulsão) e emulsão com quantidade abundante.

## **2. CONDIÇÕES DE ENSAIO E METODOLOGIA EMPREGADA**

### **2.1. Características de processo e da ferramenta**

Através da reprodução simulada de uma operação de torneamento, buscaram-se informações sobre a influência dos fluidos de corte neste processo, bem como as limitações impostas pela redução e eliminação do mesmo. Foram empregadas seis condições de fluido de corte: usinagem a seco, emulsão com jato e usinagem com a mínima quantidade de fluido de corte (MQFC), com óleo vegetal, óleo mineral, bissulfeto de molibdênio e emulsão 6%. Para cada condição foram realizadas três repetições, de modo a permitir uma posterior análise estatística dos resultados.

Como ferramentas de corte foram utilizados insertos de metal duro revestidos com TiN, com especificação CG 4025 SNMG 120408-PM, com um suporte de ferramentas modelo PSBNR 2525 M12. Os parâmetros de usinagem utilizados foram constantes durante todo o ensaio e foram determinados em função do tempo ótimo recomendado pelo fabricante, considerando o custo/benefício da ferramenta, e também em função de conveniências técnicas e econômicas.

- ♦ Velocidade de corte  $v_c = 290$  m/min;
- ♦ Profundidade de corte  $a_p = 1,0$  mm;
- ♦ Avanço  $f = 0,4$  mm.

### **2.2. Fluidos de Corte Empregados**

Os tipos de fluidos de corte utilizados nos experimentos foram selecionados em função dos seguintes aspectos:

- ♦ Tipos de fluidos mais utilizados atualmente pela indústria;
- ♦ Fluidos que podem ser utilizados na forma de MQFC;
- ♦ Fluidos que atendem as características do processo e tipo de material;
- ♦ Testar fluidos novos neste processo, a fim de poder compará-los com outros processos onde estes já foram utilizados;
- ♦ Buscar condições ideais de usinagem, sob o ponto de vista ecológico.

Segundo Klocke & Gerschwiler (1996), quantidade mínima de fluido de corte (MQFC) refere-se a vazões de até 50 ml/h, com aplicação em forma de névoa.

Os fluidos de corte empregados nos ensaios possuem as seguintes características:

- ♦ MQFC 1 - Solução com 20% de pasta Molikote (98%  $MoS_2$  em pó e 2% Óleo Mineral), 40% de óleo MA10 (Maxlub Bardahl) e 40% de querosene. Aplicado com uma inclinação de  $45^\circ$  entre a peça e a ferramenta, com uma vazão de 50 ml/h;
- ♦ MQFC 2 - Solução com 6% de MAXLUB RECUT 2, fornecido pela empresa Bardahl, aplicado com uma inclinação de  $45^\circ$  entre a peça e a ferramenta, com uma vazão de 50 ml/h;

- ♦ MQFC 3 - Óleo de origem mineral com especificação MAXLUB B5G725 fornecido pela empresa Bardahl, aplicado com uma pressão de 3 bar com uma inclinação de 45° entre a superfície da peça e a ferramenta através de um bico com vazão de 50 ml/h;
- ♦ MQFC 4 - Óleo de origem vegetal com especificação IT-MICRO 4300 fornecido pela empresa I. Terstegen da Alemanha, aplicado por dois bicos injetores com uma pressão de 3 bar com uma inclinação de 45° entre a superfície da peça e a ferramenta, com vazão de 25 ml/h cada bico, totalizando 50 ml/h;
- ♦ Emulsão - Solução com 6% de MAXLUB RECUT 2, fornecido pela empresa Bardahl, aplicado com uma inclinação de 45° entre a peça e a ferramenta e com uma vazão de aproximadamente 195 l/h;
- ♦ Seco - Sem introdução de fluido de corte.

### **2.3. Material utilizado**

O material usinado foi o aço SAE 1040 em barra redonda laminada, sem tratamento térmico, com diâmetro bruto de 4 polegadas. Os testes consistiram na realização de ensaios de torneamento cilíndrico longitudinal, utilizando corpos de prova com um comprimento de usinagem de 325 mm, diâmetro inicial de 100 mm e diâmetro final de 46 mm.

### **2.4. Equipamentos utilizados**

Os experimentos foram realizados em um torno universal, marca Romi, modelo I-45. Para a medição das forças foi empregada uma plataforma piezométrica para torneamento KISTLER INSTRUMENTE 9263 A, com amplificador de sinais KISTLER INSTRUMENTE AG 5006, placa de aquisição de sinais AD/DA (conversor de sinais analógicos para digitais). Também foram empregados um sistema de aquisição de imagem digital (câmera p&b <sup>1</sup>/<sub>2</sub> CCD, placa de aquisição e programa dedicado), sistema de aplicação de fluidos de corte em forma de névoa I. TERSTEGN MMKS T150, sistema de fluido com vazão de 195 l/h e um rugosímetro portátil Mitutoyo modelo SJ-201.

### **2.5. Planejamento Experimental**

Com o objetivo de sistematizar os intervalos de aquisição de dados e garantir a repetibilidade das medições, elaborou-se um plano de trabalho para os experimentos. Os intervalos de aquisição de dados foram divididos em 6 pontos para a medição do desgaste de flanco, das componentes da força de usinagem ( $F_c$ ,  $F_p$ ,  $F_f$ ) e da rugosidade, conforme "Tabela 1". Foi efetuado também uma avaliação do gume de corte da ferramenta através da câmera CCD, para garantir que não houvessem trincas, fissuras ou qualquer outro tipo de defeito que pudesse alterar as informações geradas durante os ensaios.

Tabela 1 - Planilha esquemática para execução do ensaio

Etapa	Descrição
1	Verificação da qualidade geométrica do inserto
2	1° Aquisição dos dados de desgaste (inserto novo)
3	1° Aquisição dos dados de força (início do 1° passe)
4	2° Aquisição dos dados de desgaste (após 2° passe)
5	2° Aquisição dos dados de rugosidade (após 2° passe)
6	2° Aquisição dos dados de força (início do 3° passe)
7	3° Aquisição dos dados de desgaste (após 6° passe)
8	3° Aquisição dos dados de desgaste (após 6° passe)
9	3° Aquisição dos dados de força (início do 7° passe)
...	...
n	Repete-se a aquisição do desgaste e rugosidade nos passes 13, 22 e 26 e a aquisição dos dados de força nos passes 14, 23 e 27 respectivamente.

### 3. MEDIÇÃO DO DESGASTE

Para quantificar o desgaste ocorrido na ferramenta, foi empregada a metodologia de medição proposta por Schroeter & Teixeira (2000), na qual se registram os defeitos ocorridos na face e no flanco principal da ferramenta através de uma câmera CCD em intervalos pré-determinados, conforme o planejamento do experimento. Estas imagens são arquivadas e posteriormente analisadas com auxílio de um *software* adequado para a medição dos respectivos desgastes.

Pode-se observar através das imagens registradas que o desgaste de flanco ( $VB_{máx.}$ ) foi bastante significativo em todas as ferramentas. A “Fig. 1” mostra e compara a evolução do desgaste de flanco ( $VB_{máx.}$ ) para os diferentes fluidos de corte.

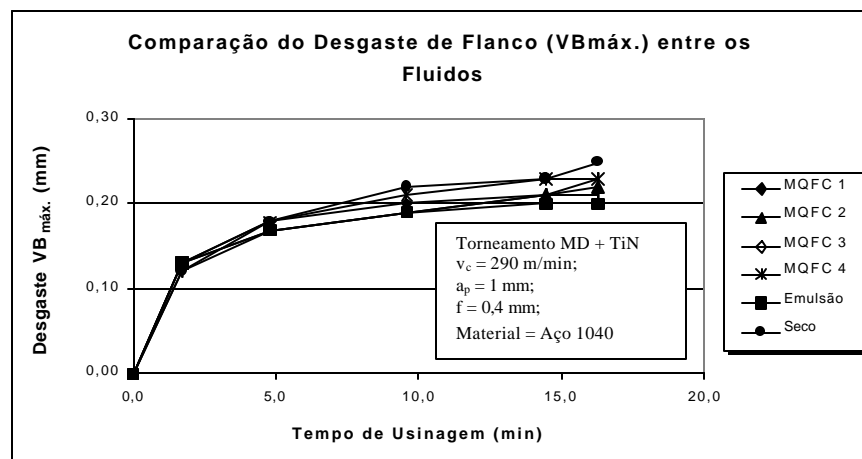


Figura 1 - Evolução do desgaste de flanco  $VB_{máx.}$  para diversos fluidos

### 4. MEDIÇÃO DA FORÇA

Os sinais de força foram adquiridos através de uma plataforma piezelétrica 9263 A KISTLER, sendo o sistema de aquisição ajustado para gravar 200 medições por segundo (0,2 kHz), durante 15 segundos. A medição foi realizada no início de cada passe. Para a comparação das forças de usinagem entre os fluidos em cada ponto de medição, adotou-se a média das três repetições, observando as componentes de força  $F_c$ ,  $F_f$  e  $F_p$ , individualmente.

Nas "Fig. 2, 3 e 4", pode-se verificar o comportamento da força passiva ( $F_p$ ), força de avanço ( $F_f$ ) e força de corte ( $F_c$ ), respectivamente, para os diferentes tipos de fluidos de corte aplicados.

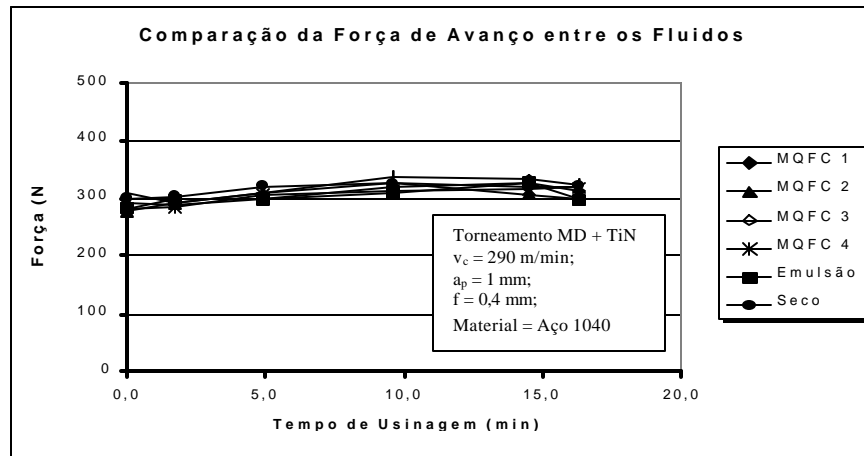


Figura 2 - Força de avanço para diferentes fluidos de corte

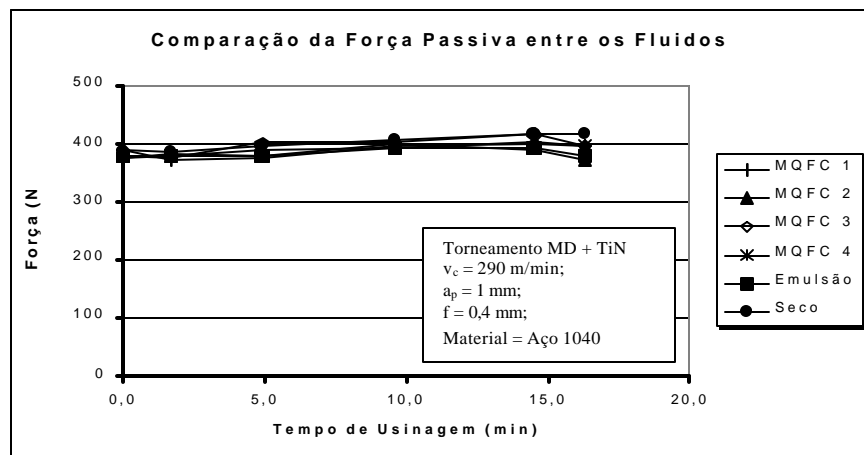


Figura 3 - Força passiva para diferentes fluidos de corte

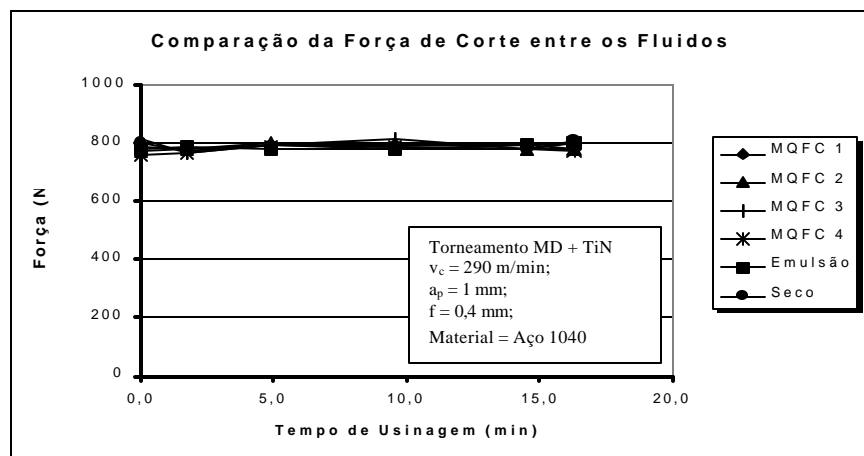


Figura 4 - Força de corte para diferentes fluidos de corte

## 5. QUALIDADE SUPERFICIAL

Sob o aspecto da rugosidade da superfície usinada, procurou-se também verificar a influência da variação dos fluidos de corte. Os parâmetros analisados foram  $R_a$  e  $R_t$  e adquiridos através de um rugosímetro portátil Mitutoyo modelo SJ-201. As medições foram feitas em pontos equidistantes da extremidade do corpo de prova. O *cut-off* utilizado foi de 2,5 mm, com apalpador de diamante de raio 0,5  $\mu\text{m}$ .

Através das "Fig. 5 e 6", pode-se visualizar o comportamento das rugosidades  $R_a$  e  $R_t$ , para diferentes tipos de fluidos de corte ensaiados.

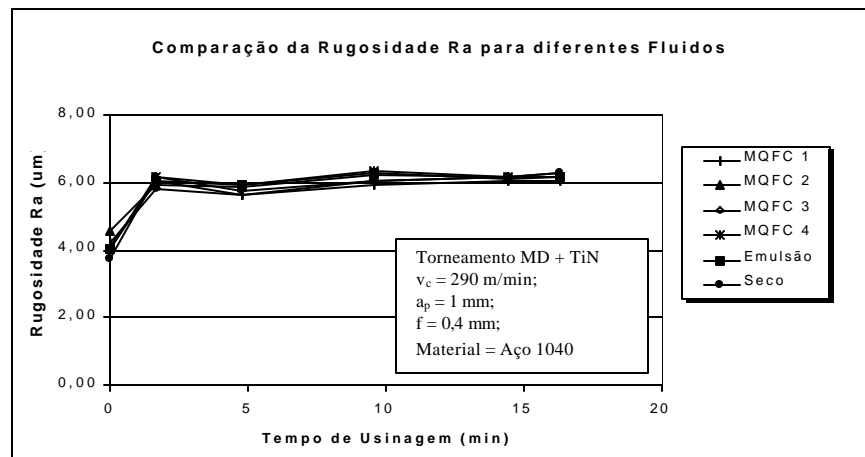


Figura 5 - Comportamento da Rugosidade  $R_a$  para diferentes fluidos de corte

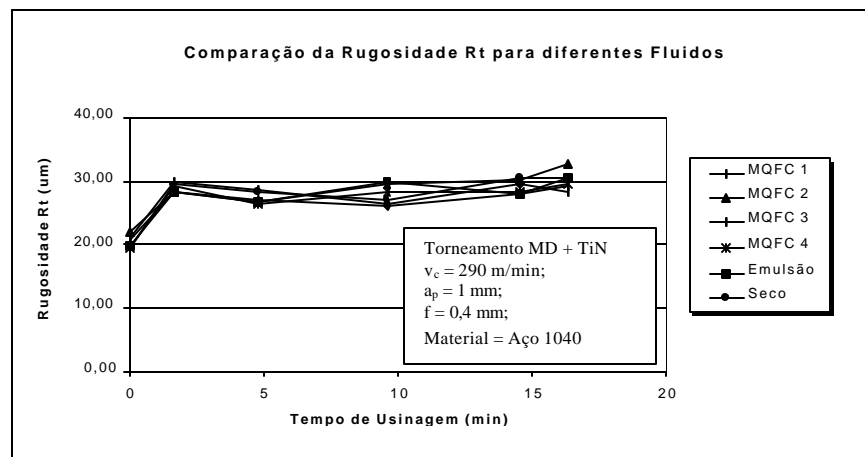


Figura 6 - Comportamento da Rugosidade  $R_t$  para os diferentes fluidos de corte

## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em fun o da realiza o de três repeti es para cada condi o de ensaio, pôde-se efetuar a análise de variância, considerando  $\alpha = 0,05$  (Montgomery, 1996), para verificar se as diferenças encontradas no desgaste de flanco ( $VB_{máx.}$ ), nas forças de usinagem ( $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_p$ ) e da rugosidade  $R_a$  e  $R_t$  em cada fluido são significativas. Realizada esta análise, conclui-se que não existe diferença significativa nos valores destes, variando-se os tipos de fluidos de corte.

Com um  $VB_{máx.} = 0,1$  mm, já se atinge a zona de substrato da ferramenta, e após aproximadamente 15 minutos de usinagem, todas as ferramentas perderam o revestimento na

zona de corte, o que é comprovado através das imagens coletadas através da câmera CCD. Segundo Dearnley (1985), as ferramentas revestidas somente podem ser comparadas em trabalho de corte enquanto existir o revestimento, pois após a perda deste, não se pode mais prever o comportamento do desgaste da ferramenta, pois este não ocorre de forma linear. Tal fato justificaria o não-seguimento dos experimentos até tempos maiores de usinagem.

Através da "Fig. 1", pôde-se observar que a evolução do desgaste é semelhante para ambos os casos. Verifica-se, a partir do terceiro ponto de medição de desgaste, um aparente aumento mais significativo para os casos da MQFC 1, MQFC 4 e principalmente para a usinagem a seco ao final de cada ensaio.

Nas "Fig. 2, 3 e 4", verifica-se que com o aumento do desgaste na ferramenta, os valores da força de avanço, força passiva e força de corte permanecem praticamente estáveis.

O comportamento da rugosidade  $R_a$  e  $R_t$ , mostrado nas "Fig. 5 e 6", mostra que com a variação dos fluidos de corte e com a evolução do desgaste da ferramenta, os valores dos mesmos após um significativo acréscimo no início do corte, permaneceram semelhantes e estáveis no decorrer da usinagem.

## 7. CONCLUSÕES

Com o crescimento rápido dos custos de disposição dos fluidos de corte e a necessidade cada vez maior de técnicas de produção menos agressivas ao meio ambiente, e com o aumento dos problemas de descartes pressionado por uma legislação mais severa, obriga a que mais empresas se aprofundem nas questões de compatibilidade ambiental das suas produções. Isto tem levado a uma busca por alternativas aos processos de usinagem com fluidos de corte.

O processo de usinagem a seco é, sem dúvida, o melhor meio que combina vantagens ecológicas e econômicas na usinagem com geometria definida, mas a utilização da mínima quantidade de fluido de corte vem preencher uma lacuna como uma alternativa bastante interessante, por compatibilizar funções lubri-refrigerantes com consumo extremamente baixo de fluidos.

Utilizando-se a mínima quantidade de fluido de corte, verifica-se que os resultados são bastante promissores. A MQFC assume principalmente uma função refrigerante, onde retirando-se parte do calor gerado na região de corte, diminui-se conseqüentemente a temperatura da ferramenta. Tal fato exerce ação direta sobre a dureza da mesma e também justifica a pequena variação encontrada no desgaste de  $VB_{máx}$ . (Ferraresi, 1977).

A ausência de diferenças significativas tanto dos valores de forças, desgaste quanto de rugosidade verificada nos ensaios, pode indicar uma falta de efetividade do fluido alcançar a zona de corte.

Entretanto, a utilização de mínima quantidade de fluido de corte no processo de torneamento com insertos de MD revestidos com TiN mostra-se bastante eficiente. Estudos nesta área devem continuar sendo desenvolvidos, pois quando se utiliza a tecnologia da mínima quantidade de fluido de corte, a usinagem de fato não é totalmente a seco, mas muitos problemas envolvidos com a refrigeração convencional são eliminados.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem às empresas SANDVIK, I. Terstegen da Alemanha, Rubens Moreira/BARDAHL, GERDAU S/A e ao CNPq pelo apoio a este trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Klocke, F., Gerschwiler, K., 1996, Usinagem a Seco - Fundamentos, Limites e Perspectivas, Aachen, 21p.
- König, W., Klocke, F., 1997, Fertigungsverfahren 1, Drehen, Fräsen, Bohren, Ed. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 471p.
- Schroeter, R. B., Teixeira, C. R., 2000, Proposta de Metodologia para Medição do Desgaste em Ferramentas de Corte de Geometria Definida, Artigo a ser publicado CONEN 2000, Rio Grande do Norte, Brasil, 8p.
- Stemmer, C.E., 1995, Ferramentas de Corte I, Ed. da UFSC, Florianópolis, Brasil, 249p.
- Teixeira, C. R., 1997, Minimização de Fluido de Corte no Processo de Usinagem com Ferramenta de Geometria Definida, Exame de Qualificação para Doutorado, UFSC, Florianópolis, Brasil, 42p.
- Montgomery, D.C, 1996, Design and Analysis of Experiments, Jonun Wiley & Sons, 704p.
- Dearnley, P. A., 1985, Rake and Flank Wear Mechanisms of Coated and Uncoated Cemented Carbides, ASME, Journal of Engineering Materials and Technology, Vol 107, January, p. 68 - 82.
- Ferraresi, D., 1977, Fundamentos da Usinagem dos Metais, 5ª edição, Ed. Blücher, São Paulo, SP, 751p.

### ELIMINATING AND MINIMIZING THE CUTTING FLUID IN THE TURNING PROCESS WITH TiN COATED CARBIDE INSERTS

**Abstract.** *In this work the behavior of the tool flank wear is analyzed ( $VB_{máx.}$ ), and also the machining forces (cutting forces, feed forces and passive forces) and the surface quality ( $R_a$  and  $R_t$ ) are analyzed in the longitudinal cylindrical turning of SAE 1040 steel with TiN coated carbide insert. Six conditions of cutting fluids are used: dry machining, emulsion with jet and machining with the minimum quantity of cutting fluid (MQFC), with vegetable oil, mineral oil, molybdenum disulphide and emulsion 6%. Through this study, it could be generated technological information that facilitate a comparison among the machining with the minimization of cutting fluid and the current production conditions in the industry.*

**Keywords:** *Turning, Hard Metal, Minimizing of cutting fluid, Dry machining*