

## **VIDA ÚTIL DE FERRAMENTA DE METAL DURO SUBMETIDA A DIFERENTES PROCESSOS DE REFRIGERAÇÃO**

**Almiro Martins da Silva Neto, [almiro.senai@sistemafieg.org.br](mailto:almiro.senai@sistemafieg.org.br)**

Faculdade Anhanguera de Anápolis, Rua Goiás, Qd. 08, Lt. 09, Centro, Ouro Verde de Goiás

**Diego Freire Vieira, [diego.senai@sistemafieg.org.br](mailto:diego.senai@sistemafieg.org.br)**

Universidade Estadual de Goiás, Rua Mangueira, Qd. 11, Lt. 20, Residencial Portal do Cerrado, Anápolis, Goiás

**Márcio José Dias, [marciojosedias78@gmail.com](mailto:marciojosedias78@gmail.com)**

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA, Rua A, Qd. 06, Lt. 12, Maracananzinho, Anápolis, Goiás

**Edson Ferreira da Cruz, [edsonfc.senai@sistemafieg.org.br](mailto:edsonfc.senai@sistemafieg.org.br)**

Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Mange, Rua Ângelo Teles, 321, Santa Maria de Nazaré, Anápolis, Goiás

**Hélio de Souza Queiroz, [helio.queiroz@unievangelica.edu.br](mailto:helio.queiroz@unievangelica.edu.br)**

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA, - Av. Universitária Km. 3,5 - Cidade Universitária - Anápolis - Goiás

**RESUMO:** Observa-se que na indústria metalomecânica utilizam-se fluidos de corte líquidos nos processos de usinagem. Conforme legislação, por esses fluidos serem prejudiciais ao meio ambiente e à saúde dos operadores, devem ter uma destinação correta. Discute-se, assim, a eliminação dos fluidos de corte nos processos de usinagem e a adoção de outras tecnologias como corte a seco (*dry cutting*) e Mínima Quantidade de Lubrificação, sendo que delas o corte a seco é a solução ambientalmente ideal. Este trabalho analisa a influência da refrigeração do corte na vida de uma ferramenta de metal duro no torneamento do aço ABNT 1045. Foram realizados testes em torno a Comando Numérico Computadorizado com diferentes tecnologias de refrigeração do corte: imersão, corte a seco e refrigeração a ar comprimido resfriado por tubo de vórtice. Foi observado o tempo de corte necessário para a ocorrência da falha catastrófica do inserto. Os dados foram comparados e se observou influência do método de refrigeração em relação à vida da ferramenta de corte. O processo por imersão permitiu maior vida para o inserto e o processo de resfriamento por ar comprimido por tubo de vórtice permitiu ganho de vida em relação ao corte a seco.

**PALAVRAS-CHAVE:** fluidos de corte, vida de ferramenta de corte, tubo de vórtice

**ABSTRACT:** *It is observed that in the metalworking industry are used cutting fluid in machining processes. As law for such fluids being harmful to the environment and health of operators must have a proper disposal. It is argued, therefore, the elimination of cutting fluids in machining processes and the adoption of other technologies such as dry cutting and Minimum Quantity Lubrication, and cutting them dry is the environmentally optimal solution. This paper analyzes the influence of cooling in the life of a cutting tool in turning carbon steel ABNT 1045 tests were conducted around the Computerized Numerical Control with different cooling technologies cut.: gushing out, dry cutting and cutting cooled by cold air vortex tube. Cutting time required was observed for the occurrence of catastrophic failure of the insert. Data were compared and the influence of cooling method noted in relation to the life of the cutting tool. The process enabled by immersion longer life for the insert and the cooling process compressed air in the vortex tube allowed life gain with respect to the dry cutting.*

**KEYWORDS:** *cutting fluids, cutting tool life, vortex tube*

### **INTRODUÇÃO**

Na atualidade observa-se uma preocupação comum com relação às questões que envolvem a preservação do meio ambiente e a qualidade de vida de colaboradores (SILVA et al., 2011; CONAMA, 2005). Na indústria metalomecânica esses fatos estimulam há algum tempo pesquisas sobre alternativas que possam substituir ou eliminar a utilização dos fluidos de corte, visto que eles causam danos ambientais e à saúde dos colaboradores envolvidos nos variados processos de usinagem dos materiais (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006; ZEILMANN, 2011).

Miranda (2003) diz que os fluidos de corte são nocivos sob o ponto de vista ambiental e humano, uma vez que podem poluir solo, ar e água e oferecer risco à saúde dos envolvidos com os processos de fabricação mecânica. Segundo o autor, trabalhadores que não estavam expostos aos fluidos de corte em uma indústria

norte-americana em meados do século XX tinham uma chance menor que 50% de adquirir câncer com relação aos colaboradores que estavam expostos aos fluidos de corte.

Além desses fatores, também se deve mencionar a questão financeira, uma vez que em indústrias alemãs, em média, 16% dos custos de fabricação referem-se ao uso do fluido de corte, o qual se divide principalmente entre custos de equipamentos, de pessoal, de fluido e de descarte (MIRANDA, 2003).

Dessa forma, meio a esses fatos, a comunidade internacional vem promovendo nos últimos anos a não utilização de fluidos de corte como ocorre na técnica de imersão (COSTA; SILVA; MACHADO, 2008). Para isso, novas tecnologias surgem como alternativas eficientes à resolução desse problema. Entre elas encontram-se a usinagem a seco (*dry cutting*) e a usinagem com Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL), sendo que a primeira se caracteriza pela

ausência da utilização de fluidos de corte (OLIVEIRA; ALVES, 2007), (VICENTIN, 2009) e a segunda se caracteriza como a pulverização de uma quantidade mínima de óleo (menos de  $60 \text{ ml.h}^{-1}$ ) em um fluxo de ar comprimido (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006).

No entanto, o ideal é a usinagem a seco, considerada por alguns autores como a “usinagem ecológica” (COSTA; SILVA; MACHADO, 2008, p. 92). É isso é relevante, uma vez que além de não utilizar-se nenhum tipo de fluido de corte, diminuem-se os custos de usinagem e aumenta-se a produtividade (OLIVEIRA; ALVES, 2007).

Neste sentido, o presente trabalho visa investigar a vida útil de insertos de metal duro quando submetido a variados processos de refrigeração de corte, inclusive o corte refrigerado a ar comprimido resfriado por tubo de vórtice, no torneamento cilíndrico externo do aço ABNT 1045.

## METODOLOGIA

Os testes de usinagem necessários ao desenvolvimento do projeto foram realizados na Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Mange, em Anápolis, Goiás. Foram realizados ensaios acerca da duração das ferramentas de corte, conforme a norma ISO 3685. Os demais testes foram realizados no laboratório de Materiais da Faculdade Anhanguera de Anápolis, onde se desenvolveram ensaios de micrografia e dureza das amostras ensaiadas.

### Material ensaiado

Para o desenvolvimento da pesquisa, optou-se por utilizar o aço ABNT 1045 ( $232 \pm 4,24 \text{ HB}$  na superfície), uma vez que o mesmo possui uma usinabilidade inferior a aços da mesma classe e com menor teor de carbono (AMORIM, 2002).

Esse aço não sofreu nenhum tratamento térmico prévio e, conforme prescreve a norma ISO 3685/1993, foram realizados ensaios de dureza Rockwell B (HRB) (fig. 1) na seção de cinco amostras de cada corpo de prova. Os dados obtidos são mostrados na tabela 1, já convertidos para valores em escala de dureza Brinell (HB). Cada ponto de medição distanciou-se um valor de 4,24 mm do anterior.



**Figura 1.** Seção transversal esquemática com pontos de onde foi medida a dureza das amostras

**Tabela 1.** Valores médios obtidos nos ensaios de Dureza

DUREZA HB							
Superfície		1/2 Raio		Núcleo		MÉDIA	Desvio Padrão
1	2	3	4	5	6		
235	229	223	235	217	207	224,33	11,00

Foi realizada análise metalográfica qualitativa (fig. 2) com o intuito de evidenciar a microestrutura do aço utilizado, conforme a norma ISO 3685/1993.



**Figura 2.** Micrografia de amostra do aço ABNT 1045. Ampliação de 1600x. Ataque: Nital 10%

Na estrutura evidenciada na (fig. 2), pode-se observar que o ataque químico com Nital (solução de etanol e ácido nítrico a 10%) evidenciou grãos brancos com contornos pretos. Esses grãos são formados pelo constituinte ferrita, que é uma solução sólida de carbono no ferro alfa, originados pelo resfriamento do ferro gama. Também observa-se grãos escuros formados por lamelas de ferrita e cementita (carboneto de ferro), sendo a cementita um constituinte duro, visto que é composto por 6,68% de carbono (COLPAERT, 1974).

### Corpos de prova utilizados

Foram utilizados três corpos de prova para realização dos ensaios de usinagem em cada processo de refrigeração, conforme modelo apresentado na figura 3. Como se adquiriu barras de aço com diâmetro de duas polegadas (50,8 mm), ajustou-se esse diâmetro nominal à relação comprimento/diâmetro recomendada pela norma ISO 3685/1993.

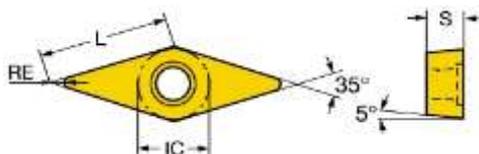


**Figura 3.** Corpo de prova após teste de usinagem

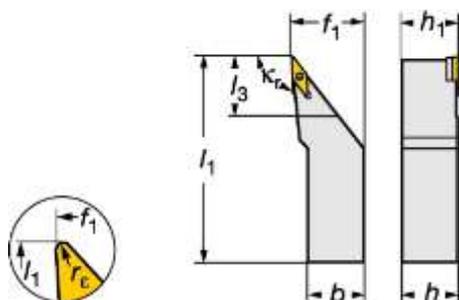
### Ferramenta de corte

Em todos os ensaios de usinagem utilizaram-se ferramentas de corte Sandvik Coromant, tipo VBMT

160408 – PM 4225 (código ISO) ou VBMT 332-PM 4225 (código ANSI) (fig. 4) com o suporte SVJBL 2020K 16 (fig. 5). O Quadro 1 mostra os dados de corte relativos à ferramenta.



**Figura 4.** Características da ferramenta de corte utilizada. Fonte: Sandvik Coromant



**Figura 5.** Suporte para o inserto. Fonte: Sandvik Coromant

**Quadro 1.** Dados de corte relativos à ferramenta

DADOS DE CORTE	
Raio da ponta (mm)	0,8
Avanço f (mm/volta)	0,09 - 0,27
Profundidade de corte ap (mm)	0,45 - 2,7
Velocidade de corte (m/min)	360 - 465

Fonte: Sandvik Coromant.

### Parâmetros de corte

Os parâmetros de corte usados para realização dos ensaios são mostrados na tabela 2. Foram selecionados conforme indicação do fabricante em relação às melhores condições de usinagem e produtividade. Esses dados foram inseridos no desenvolvimento do programa CNC, nos blocos relativos aos parâmetros de corte.

**Tabela 2.** Parâmetros de corte utilizados nos ensaios

PARÂMETROS DE CORTE	
Avanço f (mm/volta)	0,18
Profundidade de corte ap (mm)	1
Velocidade de corte (m/min)	405

Convém salientar que, em função da limitação de rotação do eixo árvore do torno CNC utilizado e de vibrações prejudiciais ao processo de usinagem segura ao corpo de prova, limitou-se a rotação nominal do eixo árvore ao valor de 2500 rpm.

### Fluido de corte

O óleo solúvel utilizado no ensaio com imersão é produzido pelo fabricante Quimatic Tapmatic e tem o característico semissintético e especificação ME-I. As demais variações dos ensaios não utilizaram fluido de corte (corte a seco), ou então empregaram o resfriamento prévio do mesmo (corte refrigerado a ar comprimido resfriado por tubo de vórtice).

A norma ISO 3685/1993 solicita que as condições do fluido de corte sejam analisadas. Segundo esse documento, deve-se medir a temperatura do fluido de corte líquido, no caso emulsão, e a sua vazão. Para a medição da temperatura, empregou-se um termômetro de mercúrio e obteve-se o valor de 25,9 °C.

Para a medição da vazão, como indica a norma, utilizou-se um béquer graduado em 0,002 m<sup>3</sup> e um cronômetro digital. Obteve-se um tempo médio de 21,5±0,54 segundos. Dessa forma, a vazão média obtida foi de 9,3.10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (5,58 l.min<sup>-1</sup>).

### Equipamentos utilizados

Utilizou-se para execução dos ensaios um torno CNC marca Nardini, modelo LOGI Gold 195 VS). Possui como características distância entre pontas de 1500 mm, rotação máxima de 3500 rpm, potência instalada de 12 kW, placa e contra ponta eletropneumáticas, torre traseira, comando com lógica GE FANUC Series Oi Mate-TC e fabricação datada em agosto de 2009.

Para a construção dos corpos de prova, utilizou-se um torno mecânico universal Nardini MS-205x1000 com as seguintes características: distância entre pontas de 1000 mm, rotação máxima de 2500 rpm, potência instalada de 3 kW e distância admissível sobre o barramento de 410 mm.

Para realização da análise metalográfica, utilizou-se uma polítrix lixadeira metalográfica marca Precision, modelo PL02 E, um microscópio marca Bel Photonics e um durômetro escala Rockwell marca Precision e modelo MRS (EXP).

Para o resfriamento do ar comprimido utilizado em um dos testes de usinagem (BOSWELL, 2009), empregou-se o tubo de vórtice EXAIR modelo 3440 (fig. 6). Tem como características pressão de operação de 690 kPa e vazão normal 40 SCFM (Standard Cubic Feet per Minute) para a máxima refrigeração da fonte fria (EXAIR, 2012; QUEIROZ, 2009; NELLIS, 2002).



**Figura 6.** Tubo de vórtice utilizado no processo de resfriamento a ar comprimido

Como fonte de ar comprimido, tanto para o torno CNC quanto para o tubo de vórtice empregou-se um compressor de ar alternativo marca Schulz e

reservatório de capacidade de  $0,4 \text{ m}^3$ . Para avaliar a temperatura de saída do fluxo de ar resfriado, utilizou-se um multímetro digital, modelo Minipa MA-149, acoplado ao sensor de temperatura termopar tipo K e resolução de  $1^\circ\text{C}$ .

### Procedimento de coleta dos dados

Adotou-se um procedimento de aquisição de dados de forma que o mesmo foi seguido para a realização dos testes em cada variação do sistema de refrigeração do corte da ferramenta (refrigeração por emulsão, corte a seco e corte a seco com refrigeração por ar comprimido resfriado), conforme o esquema da figura 7.

Após a usinagem do corpo de prova (1) no torno CNC, anotou-se o tempo do ciclo de usinagem, informação que é disponibilizada pelo painel do Comando Numérico do torno (2). Essa informação foi anotada (3) juntamente com a identificação do corpo de prova. É importante considerar que o critério de fim de vida da ferramenta de corte adotado foi a o ponto onde ocorre a falha catastrófica (quebra) da ferramenta, situação onde se percebe aumento da vibração, ruído e emissão de cavacos incandescentes.

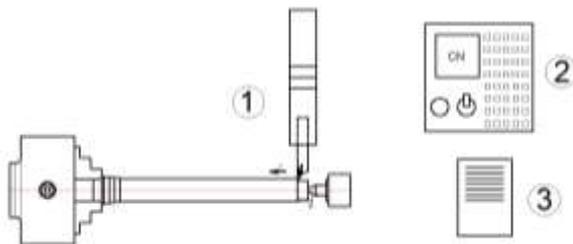


Figura 7. Esquema do ensaio realizado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5 destacando o tempo de usinagem em função de cada processo de refrigeração de corte adotado na usinagem dos corpos de prova.

### Resultados dos ensaios em função do sistema de refrigeração por imersão

A partir da realização dos ensaios de usinagem utilizando-se o sistema de refrigeração por imersão, encontraram-se os dados que constam na tabela 3.

Tabela 3. Tempo de corte obtido no método de refrigeração por emulsão

Corpo de prova	Ferramenta	Tempo médio de usinagem (s)
CP 01, 02, 03	T01, T02, T03	1029
CP 04, 05, 06	T01, T02, T03	790
Tempo total de corte		1819

Após esse ciclo de usinagem, pode-se observar que o inserto apresentou quebra da aresta de corte e um desgaste de flanco mais acentuado no sentido da aresta principal de corte (fig. 8).



Figura 8. Inserto T01 após ciclo de ensaio através de refrigeração de corte por imersão

### Resultados dos ensaios em função do sistema de corte a seco

A partir da realização dos ensaios de usinagem utilizando-se o sistema de corte a seco, encontraram-se os dados que constam na tabela 4.

Tabela 4. Tempo de corte obtido no método de corte a seco

Corpo de prova	Ferramenta	Tempo médio de usinagem (s)
CP 07, 08, 09	T04, T05, T06	1002
CP 10, 11, 12	T04, T05, T06	70
Tempo total de corte		1072

Após esse ciclo de usinagem, pode-se observar que o inserto apresentou quebra da aresta de corte e um desgaste de flanco mais acentuado no sentido da aresta principal de corte (fig. 9).



Figura 9. Inserto T04 após ciclo de ensaio através de refrigeração de corte a seco

Ainda, pode-se observar na figura 10 o aspecto final do corpo de prova após o desbaste. Nota-se uma região escurecida no último passe de desbaste, onde foi medida logo após o ciclo de usinagem uma temperatura superficial de  $190^\circ\text{C}$ .



Figura 10. Corpo de prova usinado através do sistema de corte a seco

### Resultados dos ensaios em função do sistema de corte refrigerado a ar comprimido resfriado por tubo de vórtice

A partir da realização dos ensaios de usinagem utilizando-se o sistema de corte refrigerado a ar comprimido resfriado por tubo de vórtice, encontraram-se os dados que constam na tabela 6.

**Tabela 5.** Tempo de corte obtido no método de corte refrigerado a ar comprimido resfriado por tubo de vórtice

Corpo de prova	Ferramenta	Tempo médio de usinagem (s)
CP 13, 14, 15	T07, T08, T09	1053
CP 16, 17, 18	T07, T08, T09	56
Tempo total de corte		1109

Após esse ciclo de usinagem, pode-se observar que o inserto apresentou quebra da aresta de corte e um desgaste de flanco mais acentuado no sentido da aresta principal de corte (fig. 11).



**Figura 11.** Inserto T07 após ciclo de ensaio através de refrigeração de corte a ar comprimido resfriado por tubo de vórtice

Ainda, pode-se observar na figura 12 o aspecto final do corpo de prova após o desbaste. Nota-se um aspecto de cor contínuo na superfície do material, onde foi medida logo após o ciclo de usinagem, uma temperatura superficial de 95°C.

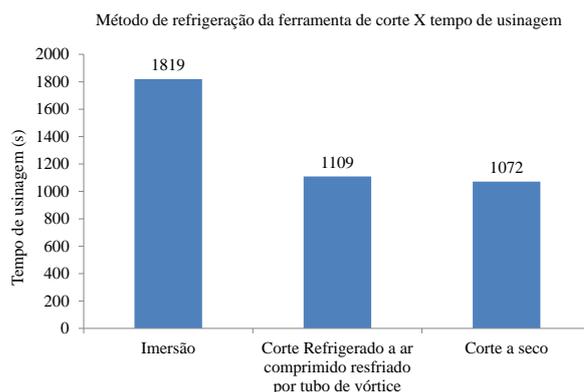


**Figura 12.** Corpo de prova usinado através do sistema de refrigeração de corte a ar comprimido resfriado por tubo de vórtice

### Discussão

Os resultados obtidos evidenciam o fato de que o processo de desbaste em torneamento, quando refrigerado por imersão de fluido de corte líquido, garante maior duração da vida de corte para o inserto de metal duro considerado em relação aos outros processos testados (fig. 13).

Pode-se observar, dessa forma, que o fluido de corte líquido opera no desbaste retirando calor da superfície e também lubrificando o corte de acordo com Ferraresi (1977), Reis (2003) e Sanchez (2011).



**Figura 13.** Método de refrigeração da ferramenta x tempo de corte

Observa-se, ainda segundo a figura 13, que o corte a ar comprimido resfriado por tubo de vórtice apresentou vida 3,45 % maior, se comparado ao processo de corte a seco e 39,03% menor do que o processo de imersão. O processo de corte a seco apresentou vida 41,06% menor em relação ao processo de imersão.

É importante observar, que apesar de não se constituir em objetivo da pesquisa, a temperatura final na região do último passe da ferramenta de corte foi de 190°C para o método de corte a seco e 95°C para o método de corte a ar comprimido resfriado por tubo de vórtice. Esse fato foi observado, pois se notou ao final da usinagem uma coloração diferenciada na região do corpo de prova que recebeu o último passe da ferramenta.

A análise dos dados obtidos mostra que houve ganho em relação à vida do inserto com o método de corte a ar comprimido resfriado por tubo de vórtice quando comparado com o corte a seco. No entanto, essa tendência já foi observada em casos anteriores, conforme menciona Ferraresi (1977, p. 536). Naquela situação, observou-se um aumento de 40% na vida da ferramenta de corte quando o fluxo de ar foi resfriado a -8°C.

Ainda se observa que as diferenças de vida relacionadas ao método por imersão e os demais se devem, provavelmente, às diferentes ações dos fluidos líquidos e gasosos, uma vez que ambos possuem características de refrigeração diferentes. Os líquidos têm uma ação física ao reduzir o atrito e refrigerar principalmente por convecção as partes envolvidas e uma ação mecânica ao expulsar o cavaco da região de corte (FERRARESI, 1977).

Por sua vez, apesar de possuir a mesma ação mecânica que os fluidos, os gases também têm uma ação física refrigerante, mas esta não é tão efetiva quanto a que ocorre com os líquidos, uma vez que os gases possuem baixa capacidade calorífica (FERRARESI, 1977).

### CONCLUSÃO

Nas condições de realização do trabalho, pode-se concluir que:

1) A utilização de tubo de vórtice para refrigerar ferramentas de corte apresentou aumento de apenas 3,5% no tempo de usinagem, mas reduziu a temperatura superficial em 50% com relação a usinagem a seco.

2) O processo de usinagem de corte com refrigeração por emulsão apresentou um tempo de usinagem 64% superior ao refrigerado com ar comprimido resfriado.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, Heraldo José de. Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro. 2002. 114 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/3791>>. Acesso em: 22 out. 2011.

BOSWELL, Brian; CHANDRATILLEKE, Tilak T. Air-Cooling Used For Metal Cutting. American Journal of Applied Sciences, Perth Western, 2009. p. 251-262. Disponível em: <<http://thescipub.com/pdf/10.3844/ajassp.2009.251.262>>. Acesso em: 12 nov. 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução CONAMA nº 362, de 23 de junho de 2005, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=466>>. Acesso em 12 nov. 2011.

COSTA, Éder Silva; SILVA, Rosemar Batista da; MACHADO, Álisson Rocha. Comparação da qualidade de furos cegos e passantes em função da lubrificação e refrigeração. Máquinas e Metais, São Paulo, v. 45, n. 513, p.90-111, out. 2008.

COLPAERT, Hubertus. Micrografia: Constituintes dos aços carbono esfriados lentamente. In: COLPAERT, Hubertus. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1974. cap. 3, p. 156-165.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. Fluidos de corte: Usinagem sem fluido de corte e/ou com Mínima Quantidade de Fluido (MQF). In: DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. Tecnologia da Usinagem dos Materiais. 5. ed. São Paulo: Artliber, 2006. Cap. 10, p. 177-180.

EXAIR, Vortex tubes. Disponível em: <<http://www.exair.com>>. Acesso em: 18 set. 2012.

FERRARESI, Dino. Fluidos de corte. In: FERRARESI, Dino. Fundamentos da Usinagem dos Metais. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. Cap. 11, p. 512-565.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION FOR ORGANIZATION (ISO). ISO 3685: Tool-life testing with single-point turning tools. 2. ed. Genebra: ISO, 1993. 48 p.

MIRANDA, Gilberto Walter Arenas. Uma contribuição ao Processo de Furação sem Fluido de Corte com Broca de Metal Duro Revestida com TiAlN. 2003. 175 p. Tese (Doutorado) - Departamento de Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003. Cap. 2. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000302007>>. Acesso em: 23 out. 2011.

NELLIS, Gregory F.; KLEIN, Sanford A. The Application Of Vortex Tubes to Refrigeration Cycles. 2002. 8f. Artigo (Mechanical Engineering)- University of Wisconsin-Madison, Madison, 2002. Disponível em: <<http://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1536&context=iracc>>. Acesso em: 01 dez. 2012.

OLIVEIRA, João Fernando Gomes de; ALVES, Salete Martins. Adequação ambiental dos processos usinagem utilizando Produção mais Limpa como estratégia de gestão ambiental. Produção, São Paulo, v. 17, n. 1, p.129-138, jan./abr. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/prod/v17n1/08.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2011.

QUEIROZ, Helio de Souza. Sistema alternativo para redução da evaporação e deriva em aplicações de calda de pulverização baseado na utilização de tubo de vórtice. 2009. Dissertação (MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA)- UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS, Anápolis Goiás, 2009.

QUIMATIC TAPMATIC. ME-I Óleo Solúvel Semissintético. Disponível em: <<http://www.quimatic.com.br/produto/me-1/>>. Acesso em: 02 dez. 2012.

REIS, Alexandre Marins. Influência do ângulo de posição secundário da ferramenta, raio de ponta e lubrificação na usinagem em presença de aresta postiça de corte. 2003. 88 f. dissertação (Engenharia Mecânica)- UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, Uberlândia MG, 2000. Disponível em: <[www.btd.ufu.br/tde\\_arquivos/1/TDE2005.../ReisDISPR.TDE.pdf](http://www.btd.ufu.br/tde_arquivos/1/TDE2005.../ReisDISPR.TDE.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2012.

SANCHEZ, Luiz Eduardo de Angelo; NALON, Luis Jacinto; PALMA, Geraldo Luiz. Avaliação do emprego de diferentes métodos de aplicação de fluido de corte no torneamento de um aço de difícil usinagem. In: 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2011, Caxias do Sul Disponível em:  
<<http://Alvarestech.com/temp/cobef2011/grima.ufsc.br/.../COF11-0267.pdf>>. Acesso em: 22 out 2012.

SANDVIK COROMANT. Produto: Informações sobre o produto. Disponível em:  
<[http://www.sandvik.coromant.com/ptpt/products/Pages/productdetails.aspx?c=VBMT\\_16\\_04\\_08-PM\\_4225#/?active=detail](http://www.sandvik.coromant.com/ptpt/products/Pages/productdetails.aspx?c=VBMT_16_04_08-PM_4225#/?active=detail)>. Acesso em: 02 dez. 2012.

SILVA, Leonardo Roberto da et al. Manufatura ecologicamente correta: análise do comportamento da mínima quantidade de lubrificante - MQL no processo de retificação cilíndrica externa de mergulho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 6º, 2011, Caxias do Sul. Disponível em:  
<<http://alvarestech.com/temp/cobef2011/grima.ufsc.br/cobef2011/media/trabalhos/COF11-0166.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2011.

VICENTIN, Gilmar Cavalcante. Porta-ferramenta para usinagem com refrigeração interna com mudança de fase do fluido. 2009. 15 f. Seminário (Engenharia Mecânica) - Unesp, Bauru, [2008]. Disponível em:  
<<http://www2.feb.unesp.br/pos/seminario/IIISeminario/anais/AC-GilmarCavalcanteVicentim.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2012.

ZEILMANN, Rodrigo P. et al. Processos de usinagem e responsabilidade ambiental através da redução da utilização de fluidos de corte. In: 6º congresso brasileiro de engenharia de fabricação, 2011, Caxias do Sul RS. 2011. p. 2-5. Disponível em:<<http://www.alvarestech.com/temp/cobef2011/grima.ufsc.br/cobef2011/media/trabalhos/COF11-0124.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2012.

## DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este artigo.