



## INFLUÊNCIA DOS FLUIDOS DE CORTE NA VIDA DA FERRAMENTA E NA INTEGRIDADE DA SUPERFÍCIE USINADA NA FURAÇÃO

**Wisley F. Sales\***  
**Jorge S. P. Fernandes**  
**Rafael A. Gonçalves**  
**Álison R. Machado**

Universidade Federal de Uberlândia  
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia  
Departamento de Engenharia Mecânica  
CEP 38408-100 - Uberlândia, MG, Brasil  
Fax: 034-239-4282

E-mail: wfalco@mecanica.ufu.br ; alissonm@mecanica.ufu.br

\* Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC – MG.

**Resumo.** *Este trabalho compara o comportamento dos fluidos de corte mais utilizados atualmente na indústria quanto às variações promovidas na vida da ferramenta, na microdureza e no acabamento superficial da peça no processo de furação de aço ABNT 8640 com brocas de aço rápido (10 mm de diâmetro). Foram testados os fluidos emulsionável e sintético (2 tipos) nas concentrações de 5 e 10%, e o óleo mineral integral. A condição a seco para efeito de comparação foi, também, testada. Variou-se a velocidade de corte de 10 a 40 m/min com avanço fixo de 0,13 mm/rev. Em velocidades de corte extremas o fluido integral foi o que apresentou melhores resultados enquanto que na faixa intermediária, os fluidos sintéticos mostraram ser mais eficazes.*

**Palavras-chave:** Fluido de corte, Furação, Microdureza, Rugosidade superficial, Vida da ferramenta.

### 1. INTRODUÇÃO

Na grande maioria dos processos industriais que envolvem usinagem são exigidas alta taxa de produção, economia de materiais de ferramenta, e peças com padrões de qualidade cada vez mais rígidos. Isso gera uma necessidade de se aumentar cada vez mais as velocidades de corte utilizadas, mantendo-se a vida das ferramentas em níveis aceitáveis comercialmente. Uma das alternativas encontradas para atender essas exigências é a utilização de fluidos de corte, que devem ser cada vez mais eficientes de modo que possam acompanhar a evolução dos materiais de ferramenta, das máquinas operatrizes e também dos novos e cada vez mais resistentes materiais a serem usinados.

Como a variedade de fluidos oferecidos hoje no mercado é bastante grande, e cada um tem aplicações diversas, torna-se necessário o estudo das propriedades de refrigeração e lubrificação e suas influências em parâmetros como o acabamento superficial e microestrutura da peça e vida da ferramenta. Esses parâmetros são de grande importância porque estão relacionados diretamente com a qualidade e o custo da peça a ser produzida. E estão sob influência direta dos parâmetros de processo, tais como velocidade de corte, avanço e fluido de corte (Sales, 1999).

No processo de furação a utilização de fluido é fortemente recomendável, já que, além das já citadas propriedades refrigerantes e/ou lubrificantes, o fluido pode contribuir para retirar o cavaco de dentro do furo, liberando a área próxima à zona de corte para a formação de mais cavaco (Machado e Da Silva, 1999). Esta ação se torna mais eficaz quando o fluido é aplicado sob alta pressão e vazão.

A Figura 1 mostra o desenho das superfícies da broca e as regiões que sofrem desgastes mais severos.

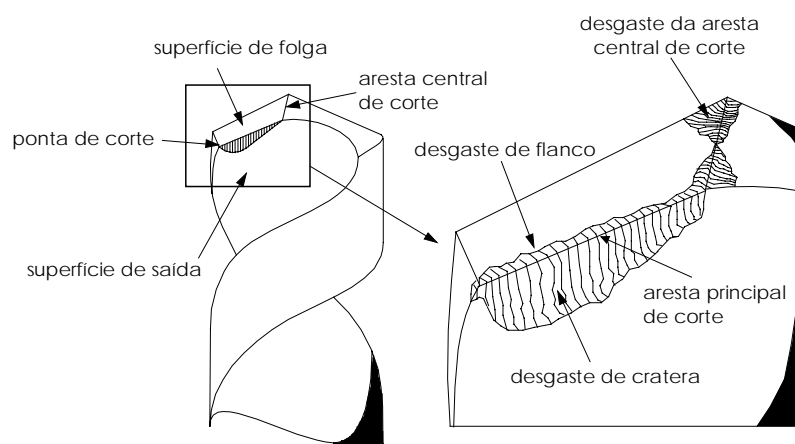


Figura 1 - Características da broca desgastada (Söderberg e Vingsbo, 1981).

O crescimento desses desgastes pode atingir proporções elevadas ao ponto de causar enrubescimento ou mesmo uma falha catastrófica da broca. Nesta situação o fluido de corte pode desempenhar um papel importante, retardando o crescimento do desgaste, além de proporcionar alteração no acabamento superficial da parede do furo (Sales, 1999).

Neste trabalho utilizou-se vários fluidos de corte (emulsionável, sintético e integral) e a condição a seco, na furação do aço ABNT 8640 com brocas de aço-rápido, verificando a influência desses fluidos na vida da broca e na integridade superficial da parede dos furos (microdureza e rugosidade superficial).

## 2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os furos foram realizados em corpos de prova de aço ABNT NB 8640 com  $HV_{média} = 290$  kgf/mm<sup>2</sup> em uma máquina operatriz ROMI Interact IV, equipada com comando numérico computadorizado (CNC) MACH 4. Utilizou-se brocas de aço rápido com 8% de Co. Foram utilizadas brocas novas, com afiação normal feita pelo fabricante, na seguinte geometria:  $\chi_r=59^{\circ}$ ,  $\epsilon_r=121^{\circ}$ ,  $\chi'_r=0^{\circ}$ .

O desgaste da broca foi medido por meio de um microscópio ferramenteiro equipado com relógio comparador Mitutoyo, com resolução de 5  $\mu$ m.

A barra de aço de seção retangular foi preparada no fresamento nas dimensões de 100 mm de lado, 500 mm de comprimento e espessura de 22 mm. Todas as faces da barra foram

desbastadas na fresadora. Um programa compatível com a máquina foi realizado com flexibilidade para fazer de um a cinco furos seguidos com interrupção para medição do desgaste. Após a execução de um número especificado de furos, o programa era interrompido e a broca era retirada para medição do desgaste. Caso não tivesse atingido o critério de final de vida, novos furos eram executados.

Foi adotado como critério de fim de vida o desgaste de flanco médio,  $VB_B = 0,3$  mm, ou o desgaste de flanco máximo,  $VB_{Bmáx} = 0,4$  mm, o que primeiro ocorresse.

A velocidade de corte,  $v_c$ , foi variada em 10, 20, 30 e 40 m/min . Fixou-se o avanço,  $f$ , em 0,13 mm/rev . O diâmetro da broca,  $D$ , permaneceu fixo em 10 mm . Foram realizados furos cegos de profundidade  $L = 18$  mm mantendo a relação  $L/D$  fixa 1,8.

Foram utilizados os seguintes fluidos: mineral integral que contém na sua formulação aditivos extrema pressão (EP) que conferem ao fluido boas propriedades lubrificantes mas capacidade refrigerante reduzida; emulsionável com aditivos à base de sódio que o conferem redução na tensão superficial de vapor promovendo a nucleação e o destacamento das bolhas de vapor e permitindo ao fluido acessar as regiões submetidas a elevadas temperaturas na peça, com eficácia; sintético 1, formulado à base de poliglicol (com alto coeficiente de troca de calor) e aditivos (com baixo coeficiente de troca de calor), resultando numa solução de elevada capacidade refrigerante e o sintético 2, com formulação similar ao sintético 1, com menor quantidade de poliglicol, mas com aditivos à base de sódio (como o emulsionável). A condição a seco foi utilizada para efeitos comparativos. Os fluidos à base de água foram utilizados nas concentrações de 5 e de 10%.

Os fluidos de corte foram aplicados lateralmente na broca por um sistema forçado com vazão ajustada por meio de uma válvula reguladora em 4,5 l/min . O fluido atua de maneira a refrigerar o corpo da broca durante a sua entrada e saída no furo e a permitir o seu acesso aos canais de escoamento do cavaco, conforme mostra a Figura 2. Sales et alli (1998) mediu a capacidade refrigerante destes fluidos, utilizando uma metodologia própria e encontrou em ordem crescente: seco, integral, emulsionável, sintético 2 e sintético 1.

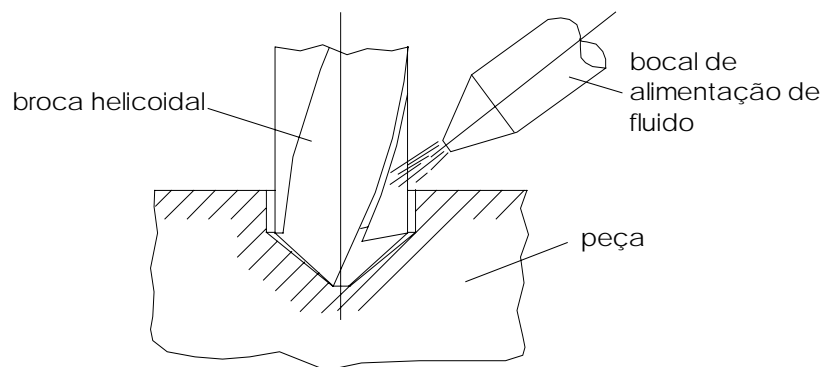


Figura 2 - Direção de aplicação do fluido contra a broca.

Para a obtenção dos parâmetros concernentes à peça (rugosidade superficial e microdureza) foram executados dois furos sob as mesmas condições de refrigeração e/ou lubrificação. A avaliação da topografia da superfície foi feita por meio dos parâmetros  $R_a$ . Foi utilizado um perfilômetro Taylor Hobson, Surtronic 3+. Ajustou-se no instrumento, um "cut off" de 0,8 mm, e um comprimento de amostragem de 12 mm. Em cada furo foram executadas 3 medidas e considerado o valor médio.

Com objetivo de medir a microdureza em uma região 10 mm abaixo da superfície, a chapa foi cortada via serra mecânica. Seguiram-se as operações de lixamento, até a lixa de SiC 1000 mesh e polimento em pasta de diamante de granulometria 3  $\mu$ m. Os valores de microdureza distando entre elas 70  $\mu$ m, foram avaliados até 400  $\mu$ m da superfície do furo para

o interior da chapa. Em cada distância radial foram efetuadas três medidas e tomado o valor médio. Foi utilizado o microdurômetro Wolpert modelo M Testor com carga de aplicação de 100 g durante 30 segundos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em usinagem, da energia mecânica fornecida ao sistema, cerca de 97 a 99% é convertida em calor. Desse calor gerado, cerca de 80% é transmitido para o cavaco por condução. Enquanto os 20% restantes são divididos entre a peça e a ferramenta (Trent, 1991). A área de contato cavaco-ferramenta normalmente é de alguns milímetros quadrados. Portanto, os cerca de 10% do calor que é direcionado à ferramenta se concentra em uma área limitada o que é suficiente para promover elevadas temperaturas localizadas que podem ultrapassar, em função das condições de usinagem, 1000 °C. Aliado a isto, tem-se pressões de contato que podem superar 1500 MPa (Säyanätjoki e Routio, 1992).

A Figura 3 mostra graficamente os resultados da vida das brocas com a velocidade de corte e com os diversos fluidos estudados. O aumento da velocidade de corte promove a elevação da temperatura da interface cavaco-ferramenta. Em baixas velocidades de corte, como as utilizadas neste trabalho, pode haver a formação da aresta postiça de corte, APC e acelerar o desgaste de flanco devido principalmente ao mecanismo de desgaste denominado "attrition". Enquanto, em altas velocidades os mecanismos termicamente ativados como a difusão e a deformação plástica da aresta principal de corte podem predominar (Trent, 1991). Observa-se na Fig. 3 que o aumento da velocidade de corte reduziu a vida das brocas, independentemente do fluido utilizado.

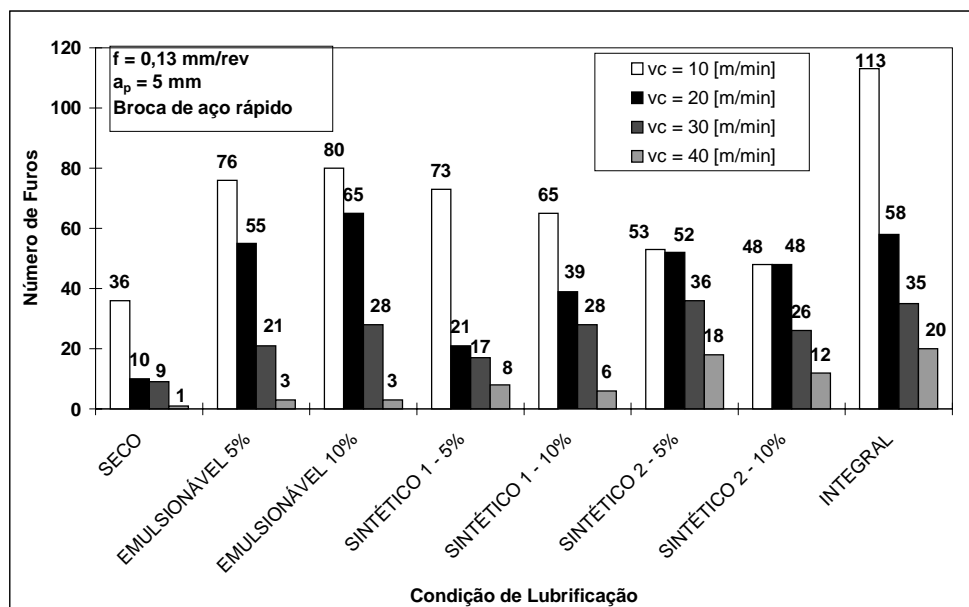


Figura 3 - Vida da broca em função da velocidade de corte e da condição de lubrificação.

O fluido integral, por possuir propriedades lubrificantes superiores, foi o fluido que apresentou maior vida da ferramenta em praticamente toda a faixa de velocidades testadas, enquanto a condição a seco foi a pior delas. Em uma faixa intermediária de desempenho, em  $v_c = 10$  m/min, estão em ordem decrescente o emulsionável, o sintético 1 e o sintético 2, respectivamente. Em  $v_c = 20$  m/min, há uma inversão no comportamento dos fluidos sintéticos, enquanto para as duas maiores velocidades de corte, o sintético 2, apresenta melhor desempenho, seguido pelo sintético 1 e pelo emulsionável.

Para o emulsionável o aumento da concentração melhorou a vida da broca. Segundo Sales (1999) este fluido apresenta na sua formulação elementos que reduzem a tensão superficial das bolhas, o que facilita romper o bolsão de vapor que possa surgir em elevadas temperaturas de corte e atua como uma barreira impedindo o acesso do fluido. Com isto o acesso do fluido até as proximidades da zona de geração do calor é garantido e o mantém com capacidade refrigerante eficaz mesmo em condições de elevadas velocidades. Sales (1999), encontrou que o aumento da concentração melhorou a capacidade de troca de calor deste fluido. Além disto, o aumento da concentração aumenta o poder lubrificante do fluido.

Para o fluido sintético 1, o aumento da concentração reduziu levemente a vida da broca em baixas ( $v_c = 10$  m/min) e em elevadas velocidades ( $v_c = 40$  m/min). Houve uma inversão de comportamento em velocidades intermediárias. Segundo Sales (1999), o aumento da concentração deste fluido promove uma redução na sua capacidade refrigerante.

Para o fluido sintético 2 o aumento da concentração reduziu levemente a vida da broca em todas as velocidades de corte. Segundo Sales (1999), o aumento da concentração deste fluido promove a melhora no seu poder refrigerante. Isto é devido ao elementos químicos presentes na sua formulação que também reduzem a tensão superficial das bolhas (similar ao emulsionável). Mas, o aumento da capacidade refrigerante pode ter comprometido a capacidade lubrificante, que no sistema em estudo foi fundamental, haja visto os bons resultados obtidos pelo fluido mineral integral.

A Figura 4 mostra a rugosidade do furo, medida por meio do parâmetro de topografia,  $R_a$ , em função da velocidade de corte, com os fluidos a 5%.

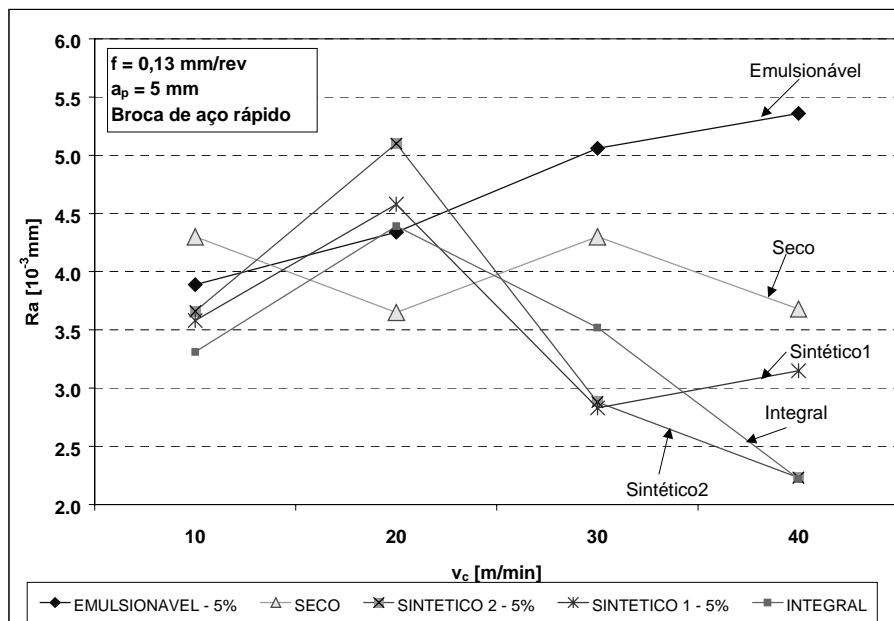


Figura 4 - Rugosidade,  $R_a$ , em função da velocidade de corte, fluidos a 5%.

O óleo integral apresentou melhores resultados em baixas e altas velocidades de corte.

A condição a seco apresenta uma rugosidade ruim em todas as velocidades, com exceção de 20 m/min. Em 20 e 30 m/min, foi superior apenas ao emulsionável 5%.

A Figura 5 mostra a rugosidade do furo, medida por meio do parâmetro de topografia,  $R_a$ , em função da velocidade de corte e com os fluidos a 10% que são resultados muito similares àqueles obtidos com a concentração 5%. Nesta situação os fluido sintéticos apresentaram bom comportamento. O fluido integral novamente apresentou comportamento ruim em 20 m/min, enquanto nas demais velocidades mostrou-se bastante eficaz.

As Figuras 4 e 5 mostram uma tendência de redução da rugosidade com o aumento da velocidade de corte que coincidem com os resultados encontrados por Field et alli, (1972) e El-Khabeery et alli, (1991). O fluido emulsionável foi exceção, aumentando a rugosidade com o aumento da velocidade de corte. Acima de 20 m/min este fluido foi o que apresentou piores resultados de acabamento superficial.

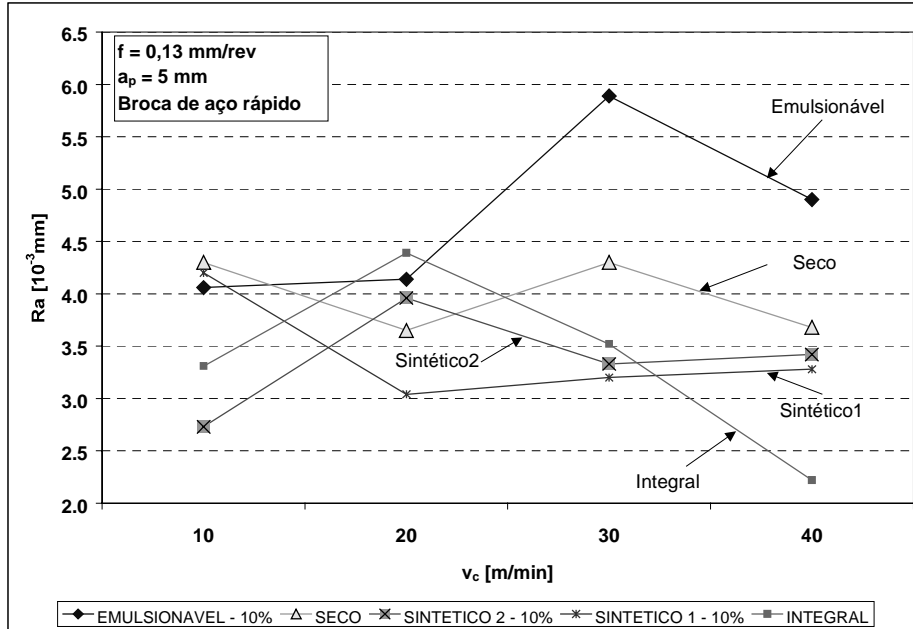


Figura 5 - Rugosidade,  $R_a$ , em função da velocidade de corte, fluidos a 10%.

Segundo Heisel e Lutz (1998) às velocidades de corte inferiores a 50 m/min esse fluido não apresentam bons resultados de lubrificação. Segundo eles, estes fluidos contém aditivos que necessitam de uma temperatura mínima para tornarem-se ativos. Somente em elevadas velocidades de corte a temperatura ótima é atingida e a capacidade de lubrificação é ativada.

As Figuras 6 e 7 mostram a microdureza da parede do furo para o interior da superfície, nas velocidades de corte de 10 e 40 m/min, respectivamente.

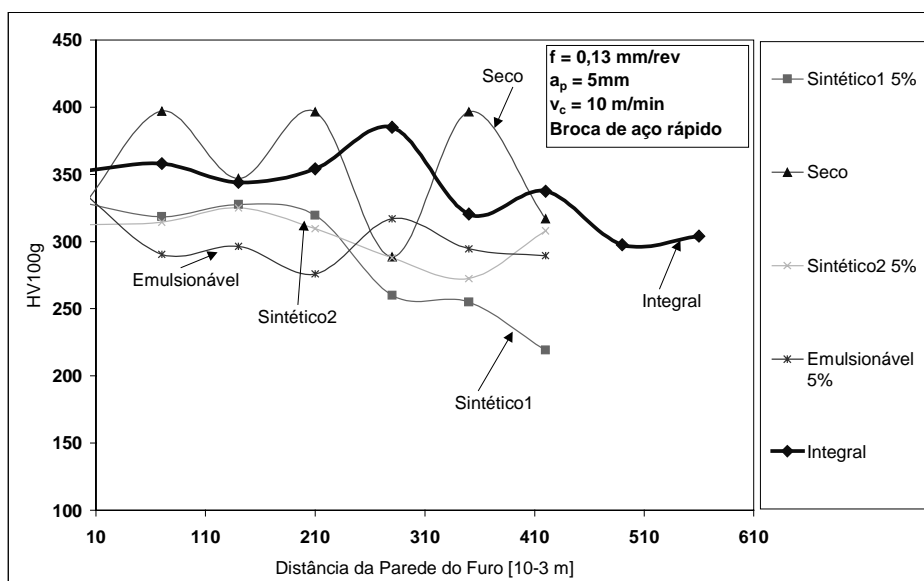


Figura 6 - Microdureza Vickers, carga de 100g e  $v_c=10$  m/min. Fluidos a 5% de concentração.

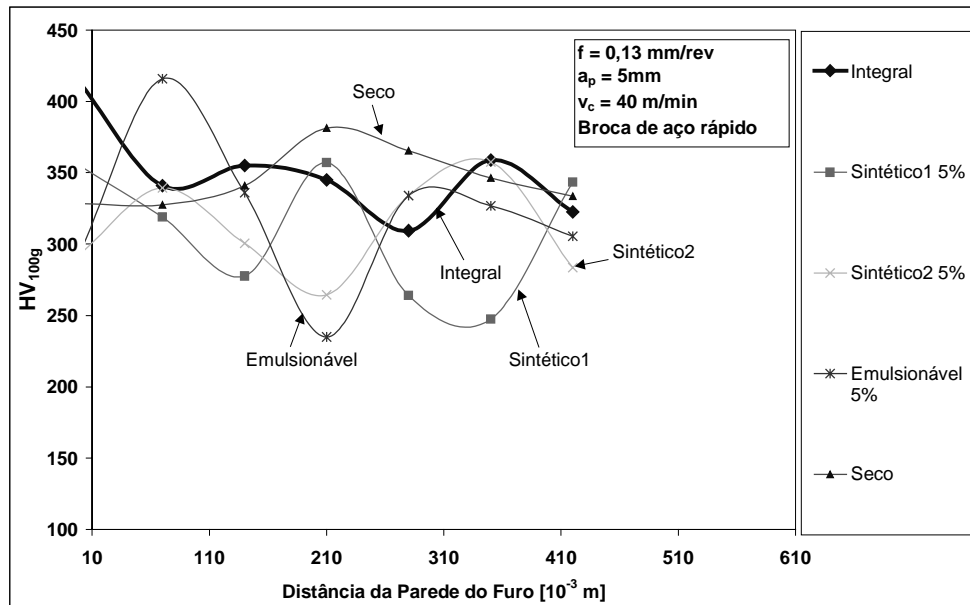


Figura 7 - Microdureza Vickers, carga de 100g e  $v_c=40$  m/min. Fluidos a 5% de concentração.

Os valores medidos de microdureza apresentam variações entre pontos adjacentes. Isto é devido à microestrutura granular do material. Grãos de ferrita apresentam baixa dureza, enquanto os de perlita são relativamente duros. A presença de carbonetos nos contornos de grãos promove o aumento da dureza nessas regiões e faz com que se tenha valores diferenciados da microdureza (Chiaverini, 1984).

Fez-se um ajuste linear dos gráficos das Figuras 6 e 7 e obteve-se a Figura 8 "a" e "b", respectivamente.

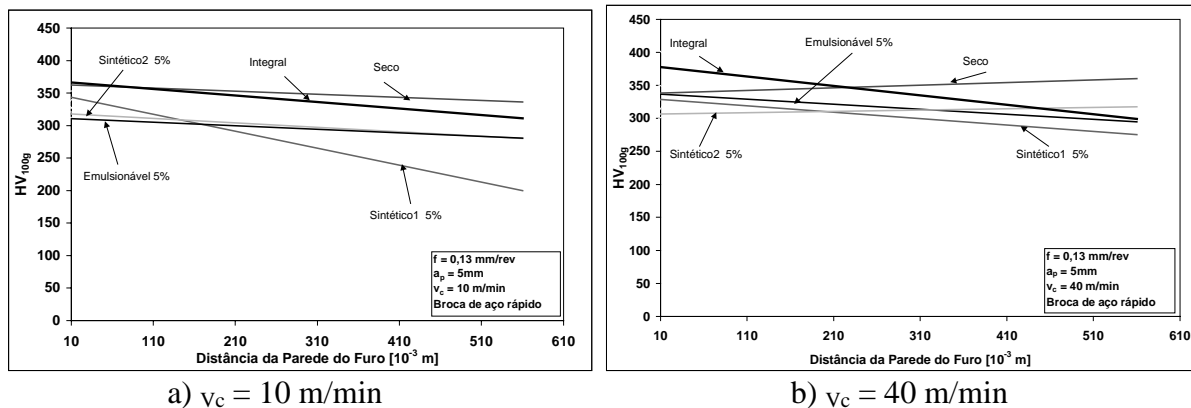


Figura 8 - Ajuste linear da microdureza. Fluidos a 5%.

Embora as Fig. 6 e 7 não permitirem distinguir o comportamento da grandeza sob a ação dos diversos fluidos, a Figura 4.8 "a" e "b" mostram uma tendência dos valores da microdureza reduzirem da superfície do furo para o interior da chapa. As condições a seco e com sintético 2, na parte "b" dessa figura, não mantiveram essa tendência e mostraram uma ligeira tendência de aumento. Essa tendência, entretanto pode ser considerada desprezível, pois a flutuação de valores de microdureza pode está sendo determinada por variação de características de microconstituintes (perlita, ferrita e carbonetos) e portanto ditando a tendência de variação linear.

El-Khabeery et alli (1991), furando aços de baixo carbono com brocas canhão de metal duro, em velocidades de corte entre 15 e 60 m/min encontraram aumento de dureza próximo à superfície do furo. Esta dureza decresce à medida que se desloca para o interior da peça.

Segundo eles o aumento da velocidade de corte eleva a temperatura nas zonas de cisalhamento e na interface cavaco-ferramenta, promovendo o aquecimento da superfície de saída da ferramenta e favorecendo as condições de aderência. Isto estende o fluxo de deformações plásticas à subsuperfície normalmente aumentando a dureza. Quanto maior a taxa de deformação, maior o nível de temperatura e da abrangência do fluxo plástico.

#### 4. CONCLUSÕES

- O aumento da velocidade de corte reduziu a vida das brocas para todas as condições de fluidos testados.
- O fluido integral apresentou maior vida da broca praticamente em todas as velocidades de corte testadas, com exceção de  $v_c = 20\text{m/min}$  onde o emulsionável 10% foi superior, enquanto a condição a seco apresentou os piores resultados.
- O fluido emulsionável, em velocidades de corte até 20 m/min apresentou vida intermediária entre a condição a seco e o fluido integral.
- O aumento da velocidade de corte melhorou o acabamento da superfície com exceção para o fluido emulsionável.
- A rugosidade dos furos foi melhor para o fluido integral, principalmente a baixas e elevadas velocidades de corte. O fluido sintético 2 a 5%, em velocidades de corte 30 e 40 m/min apresentou desempenho similar ao integral, enquanto o sintético 1 a 10% apresentou melhores resultados em  $v_c$  intermediárias (20 e 30 m/min).
- A microdureza da parede do furo para a matriz praticamente não foi afetada. Houve uma ligeira tendência de endurecimento próximo à superfície do furo. As flutuações dos valores medidos são elevadas o que não permitiu discernir claramente o efeito de cada fluido.

#### *Agradecimentos*

Os autores agradecem à Universidade Federal de Uberlândia, aos Departamentos de Engenharia Mecânica e de Ciências Físicas pelo suporte necessário à realização dos ensaios, às empresas Villares Metals e Twill pelo fornecimento das barras de aço e das brocas, respectivamente e ao CNPq pelo suporte financeiro.

#### REFERÊNCIAS

- Chiaverini, V., 1984, Aços e Ferros Fundidos, Associação Brasileira de Metais, ABM, 5<sup>a</sup> ed., São Paulo, Brasil, 518p.
- El-Khabeery, M.M.; Salch, S.M. and Ramadan, M.R., 1991, Some Observations of Surface Integrity of Deep Drilling Holes, *Wear*, 142, pp. 331-349.
- Field, M.; Kahles, J.F. and Cammet, J.T., 1972, A Review of Measuring Methods for Surface Integrity, *Annals of the CIRP*, Vol. 21/2, pp. 219-238.
- Heisel, H. e Lutz, M., 1998, Pesquisa de Fluidos de Refrigeração e de Lubrificação, Máquinas e Metais, Aranda Editora, ano XXXIV, N<sup>o</sup>. 388, pp.40-49.



Machado, A.R. e Da Silva, M.B., (1999), Usinagem dos Metais, Editora da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

Sales, W.F.; Barbosa, M.F. e Machado, A.R., 1998, Método Experimental para Medir a Capacidade de Refrigeração de Fluidos de Corte, V Congresso Brasileiro de Eng, Mecânica, pp. 332-339.

Sales, W.F. , 1999, Determinação das Características Refrigerantes e Lubrificantes dos Fluidos de Corte, Tese de Doutorado a ser defendida no dia 16 de abril de 1999, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

Söderberg, S. and Vingsbo, O., 1981, Performance and Failure of High Speed Steel Drills Related to Wear, Int. Conf. On Wear of Materials, San Francisco, USA, April, 1.

Trent, E.M., 1991, Metal Cutting, 3rd Edition, Butterworths-Heinemann Ltd, 273 pg., ISBN 0-7506-1068-9.

## **INFLUENCE OF THE CUTTING FLUIDS ON THE TOOL LIFE AND SURFACE INTEGRITY IN DRILLING OPERATION**

**Abstract.** This work compares the behavior of the most popular cutting fluids considering tool life, microhardness and surface roughness of the workpiece. When drilling AISI 8640 steel with HSS drills (10 mm diameter). A mineral soluble oil, two synthetic fluids (all used at 5% and 10% concentration) and a neat mineral oil were tested. Dry cut was also carried from 10 to 40 m/min with a constant feed rate of 0,13 mm/rev. At the lowest and highest cutting speeds the neat mineral oil has presented the best results while at intermediate cutting speed the synthetics showed better efficiency.

**Key words:** Cutting fluids, Drilling operation, Tool life, Surface roughness, Microhardness.