

# USINAGEM DA LIGA DE ALUMÍNIO ASTM AA 7050 POR TORNEAMENTO

**Marcos Valério Ribeiro**

Departamento de Materiais e Tecnologia – UNESP – Guaratinguetá (SP)

[mvalerio@feg.unesp.br](mailto:mvalerio@feg.unesp.br)

**Elias Alves da Cunha**

Departamento de Materiais e Tecnologia – UNESP – Guaratinguetá (SP)

[eliasac@zipmail.com.br](mailto:eliasac@zipmail.com.br)

**Resumo:** *Este trabalho apresenta os resultados de ensaios de torneamento cilíndrico externo, em acabamento para a liga de alumínio ASTM 7050 - T7451. Nos ensaios foi medida a rugosidade a partir da variação da velocidade de corte (de 100 a 800 m/min), utilizando ferramentas de metal duro sem cobertura, com e sem o uso de fluido de corte. Após cada operação de usinagem foram colhidas amostras do cavaco formado, estas foram então analisadas junto ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) e microscópio óptico. Analisou-se as modificações microestruturais no cavaco (após preparação metalográfica), e para estas amostras foram realizadas também medidas de microdureza (Vickers) em diversas regiões. Nos testes foi possível verificar a baixa influência da velocidade de corte e do comprimento de usinagem no acabamento superficial das peças. Em relação à aplicação de fluido esta se mostrou eficaz, pois na condição à seco alterações dimensionais foram detectadas nas peças.*

**Palavras-chave:** *usinagem, alumínio, usinagem a seco, rugosidade.*

## 1. INTRODUÇÃO

As indústrias automobilísticas e aeronáuticas desenvolveram numerosas ligas de alumínio que apresentam valores de resistência a corrosão e à tração bem elevados, isto foi possível com a adição de certos elementos de liga e adequados tratamentos térmicos e também mecânicos. Frente às mudanças ocorridas nos últimos tempos no transporte aéreo de massa e com o desenvolvimento de novos produtos, exige-se uma disponibilidade maior de novos materiais aos quais se tenha qualidade de informações suficientes para seu processamento, Heinz et al.<sup>(1)</sup>.

Segundo Godefroid (1993), citado em Carvalho<sup>(2)</sup>, o alumínio, e suas ligas, sempre foram considerados materiais aeronáuticos por excelência, sua baixa massa específica aliada a propriedades mecânicas intermediárias lhes confere elevada resistência mecânica específica. Esta tendência de utilização do alumínio, na construção aeronáutica, foi progressiva até a década de 80, quando se registraram índices da ordem de 78%, em peso, de ligas de alumínio na constituição estrutural de aviões.

Pesquisas realizadas por uma indústria do setor automobilístico, revelam que o alumínio oferece cerca de 60% de redução de peso, comparado com aço e ferro fundido na fabricação de veículos. Isso na prática significa que o uso desses materiais contribui significativamente na economia de combustíveis e redução da emissão de poluentes no meio ambiente global, A.A.<sup>(3)</sup>.

A liga de alumínio ASTM 7050, baseada nos elementos; Al, Zn, Mg e Cu foi desenvolvida pela ALCOA em 1970. O zinco e magnésio aumentam a formação de precipitados que levam ao

endurecimento por precipitação e o cobre melhora a resistência à corrosão. Além disso, a liga contém zinco, que forma dispersóides  $Al_3Zn$  que, no caso, retardam a recristalização. O ferro e o silício são tidos como impurezas, formando fases intermetálicas com o alumínio e outros elementos ligantes. Ainda, fases remanescentes interdendríticas contendo elementos ligantes, por exemplo,  $Al_2CuMg$  e  $MgSi$ , podem ser encontradas na forma de partículas constituintes, segundo Mazzolani<sup>(4)</sup>.

Atualmente, segundo Narutaki et al.<sup>(5)</sup>, têm sido muito exaltadas as vantagens da usinagem a seco, quais sejam: custo menor, meio ambiente fabril mais saudável, melhor segurança do trabalhador, proteção contra efeitos químicos, isenção de sistema de bombeamento, isenção de sistema de coleta e filtração, não necessidade de armazenamento, etc. Porém os processos de usinagem a seco envolvem temperaturas localizadas elevadas e muito atrito na interface cavaco-ferramenta.

Os objetivos práticos que advém da aplicação de fluidos de corte durante a usinagem são o aumento na vida da ferramenta, melhoria no acabamento superficial, redução nas forças de corte e na potência consumida, assim como redução nas distorções térmicas da peça, particularmente as peças que tenham diâmetro pequeno, altos coeficientes de dilatação ou são vazadas internamente. A eficiência de um fluido de corte depende da velocidade, da vazão e direção de aplicação, de acordo com Sreejith e Ngoi<sup>(6)</sup>.

O principal objetivo deste trabalho é estudar a influência do uso de fluido de corte na usinagem por torneamento de uma liga de uso aeronáutico à base de alumínio por meio da análise da rugosidade produzida para diversas velocidades de corte, e dos cavacos formados seja pelo estudo da sua morfologia seja pelas suas medidas de microdureza.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados ensaios de torneamento cilíndrico externo, com parâmetros de usinagem típicos de acabamento (baixos valores de avanço e profundidade de corte). O material utilizado para a realização dos ensaios foi uma liga de Alumínio ASTM 7050 - T7451 de uso aeronáutico obtido junto à Empresa Brasileira de Aeronáutica (EMBRAER).

Para os ensaios foram utilizadas pastilhas intercambiáveis de metal duro sem cobertura de geometria VCGX 110204 – AL da Sandvik (H10), classe ISO N15 de formato rômbo de  $35^\circ$  (esta para uso em todos os testes). Parâmetros recomendados pelo fabricante: profundidade de usinagem (ap: 0,5 a 3,0 mm), utilizado 1,5 mm; avanço (f: 0,1 a 0,3 mm/volta), utilizado 0,2 mm/volta; e velocidade de corte ( $V_c$ : 250 a 2500 m/min). Suporte da ferramenta de corte SVJBR 2020 K11.

A máquina-ferramenta utilizada foi um Torno CNC, marca Romi, modelo Centur 30D, comando MACH 9, rotação máxima 4000 RPM, potência de 10 CV. As medidas de rugosidade foram executadas por um rugosímetro portátil SurfTest SJ-201 da Mitutoyo (com apalpador mecânico tipo estilete e raio de ponta de 5  $\mu$ m).

As medições para se verificar possíveis variações dimensionais no processo de usinagem foram realizadas com o auxílio de uma mesa de medição de *conicidade*. O esquema de medição, teve início através do zeramento do relógio comparador em uma das extremidades do corpo de prova.

Após este procedimento a mesa onde estava apoiado o corpo de prova foi deslocada, até que a escala localizada na parte inferior da mesa indicasse a posição onde se deveria tomar a medida com o relógio comparador. As medidas foram colhidas a cada 14 mm ao longo do corpo de prova usinado, totalizando 210 mm de comprimento de medição. O desenho esquemático do sistema de medição pode ser visto na (Figura 1), conforme Cunha<sup>(7)</sup>.

A preparação metalográfica para a investigação microestrutural do cavaco de alumínio, foi realizada de acordo com as seguintes etapas: seccionamento do cavaco, embutimento com resina fenólica, lixamento usando lixas de carbetto de silício (SiC) de n° 220 até 4000 e polimento com sílica coloidal sobre o pano OP-NAP, respectivamente. O ataque químico utilizado para a revelação

dos aspectos morfológicos microestruturais foi o reagente  $H_3PO_4$  85% P.A. em 90 ml de água, na temperatura de 50 °C, por 5min, de acordo com Yang<sup>(8)</sup>.

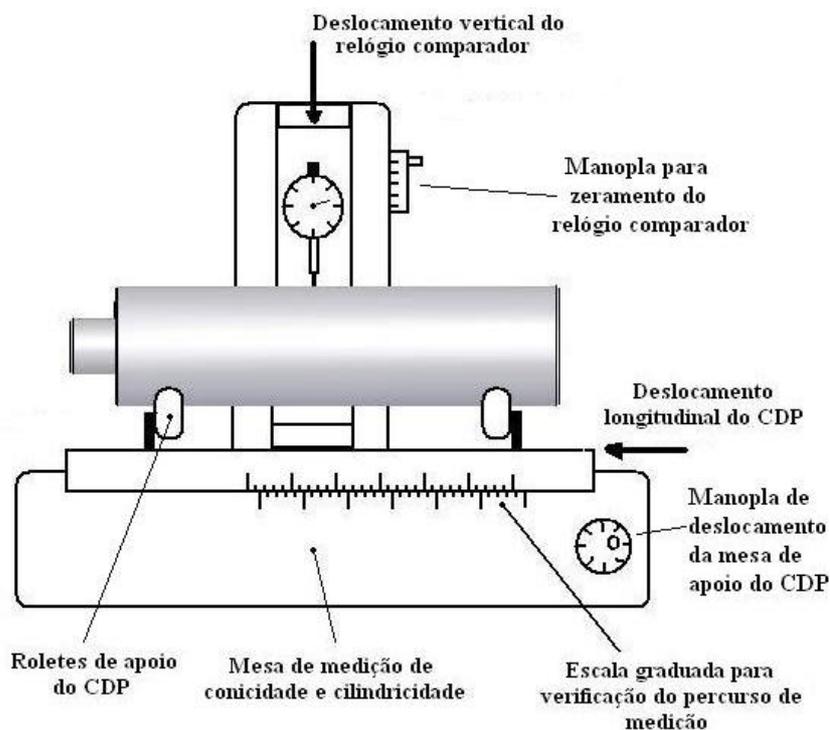


Figura 1 - Esquema de medição das variações dimensionais do corpo de prova após o teste.

As micrografias foram realizadas por meio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) LEO modelo 1450-VP com filamento de tungstênio do laboratório de microscopia eletrônica (LME) da EEL-USP.

Nos ensaios foi utilizado um fluido de corte de alto desempenho, desenvolvido para atender as operações de usinagem para metais ferrosos e ligas de alumínio. Este fluido consiste de uma microemulsão de concentração 5 a 10% em água, conforme necessidade operacional; no caso foi utilizada uma concentração de 10%. Contém em sua composição uma mistura de óleos minerais, ésteres, amidas bóricas, tensoativos, biocidas e antiespumantes. Este produto é fabricado pela QUAKER CHEMICAL e seu nome comercial é “QUAKERAL 370”.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios foram realizados com e sem a presença de fluido de corte, para que se pudesse avaliar as principais diferenças entre os dois sistemas. Pode-se observar nos gráficos (Figura 2) como o material se comporta quanto à rugosidade média “Ra” e quanto à rugosidade máxima “Ry” para as velocidades ensaiadas na presença de fluido de corte (*Cutt-Of* 2,5 x 5,0).

Os resultados apresentados, tanto para rugosidade média “Ra” como para rugosidade máxima “Ry”, demonstram a baixa influência causada pela variação da velocidade de corte e do comprimento de corte, no que tange a rugosidade das peças usinadas. Observam-se pequenas variações da curva no decorrer dos ensaios; porém a amplitude dessas oscilações é explicada através do fenômeno de vibração do sistema máquina-ferramenta-dispositivo de fixação-peça que, dependendo da velocidade de corte, pode ser mais forte ou mais fraca, de acordo com a rigidez do sistema.

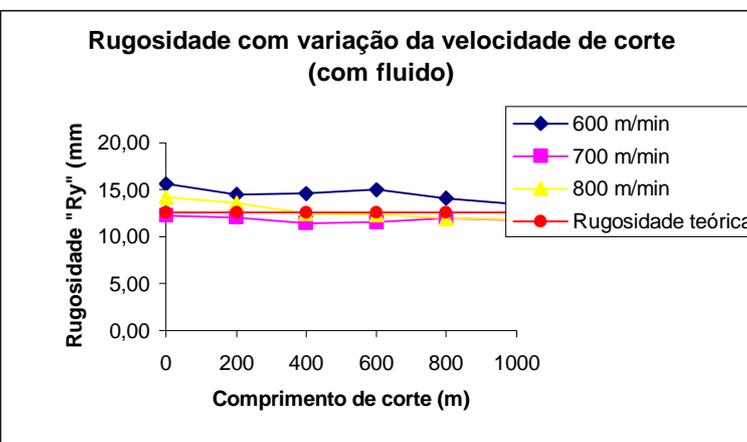
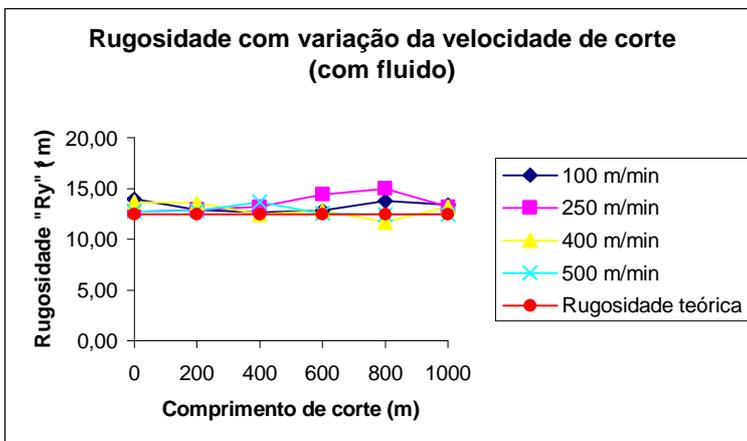
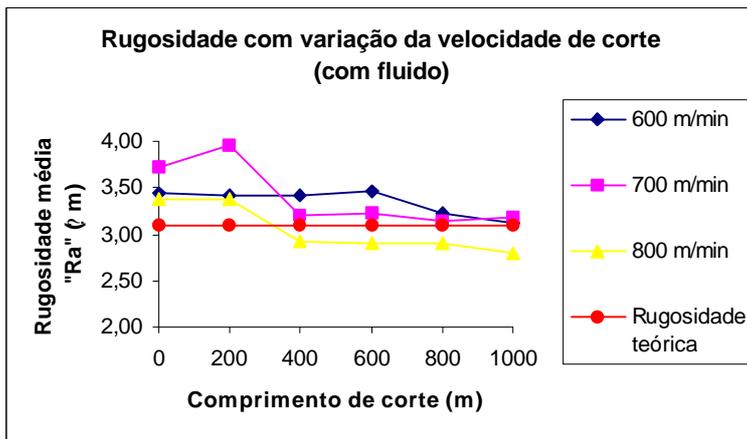
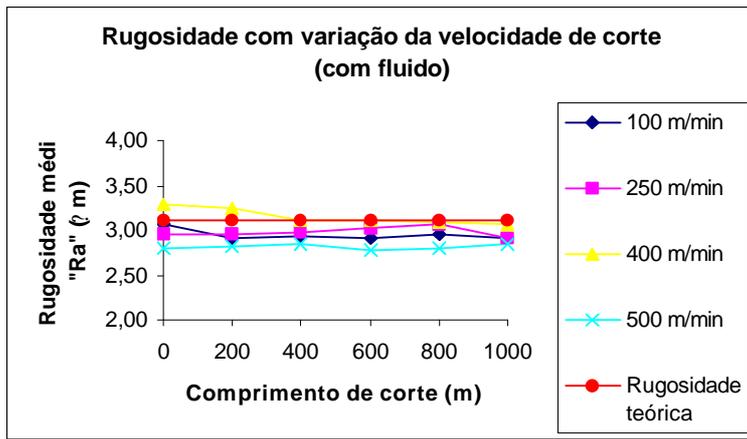


Figura 2 - Variação das rugosidades “Ra” e “Ry” com a velocidade de corte (com fluido).

Para as velocidades de 700 e 800 m/min, porém, observou-se uma queda significativa da rugosidade até 400 m de comprimento de corte. Este fato provavelmente se deve a algum tipo de acomodação da aresta da ferramenta de corte durante a operação de usinagem (esta acomodação pode ser explicada como um desprendimento de uma pequena quantidade de material da aresta de corte da ferramenta no início da operação), visto que as ferramentas usadas para corte de alumínio têm uma aresta muito afiada e, portanto, bastante frágeis.

Outro fator de extrema relevância é a proximidade dos resultados com a rugosidade teórica, tanto para a rugosidade média “Ra”, como para a rugosidade máxima “Ry”, ressaltando com isso a eficácia dos cálculos teóricos neste caso.

Abaixo são apresentados os gráficos (Figuras 3 e 4), nos quais pode-se observar como se comportam tanto a rugosidade média “Ra”, como a máxima “Ry” para as velocidades ensaiadas, sem fluido de corte.

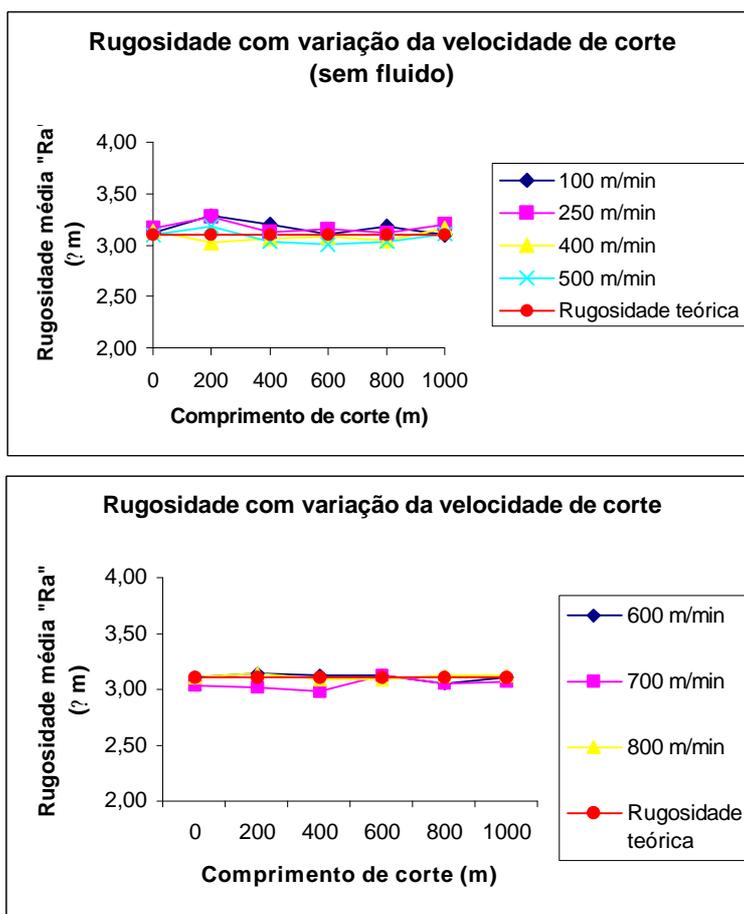


Figura 3 - Variação da rugosidade média “Ra” com a velocidade de corte (sem fluido).

Analisando os gráficos (Figuras 3 e 4), pode-se notar a melhora na dispersão dos resultados em relação aos ensaios com fluido de corte, que podem estar relacionados com a menor resistência imposta à ferramenta pelo material, devido ao aumento de temperatura por falta de fluido de corte. Porém notou-se que a variação da velocidade e do comprimento de corte pouco influenciaram nos valores de rugosidade e que novamente os valores de rugosidade permaneceram bem próximos aos valores obtidos através de cálculos. Em relação a ocorrência de valores de rugosidade menores que o teórico se deve principalmente ao fato de que o valor teórico somente leva em conta fatores geométricos, já no caso da usinagem do alumínio pode ocorrer um certo amassamento das cristas do material o que leva a se obter menores valores na medição da rugosidade.

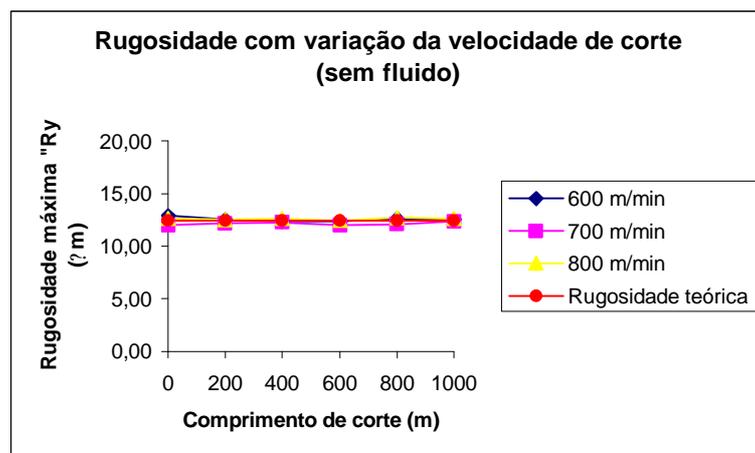
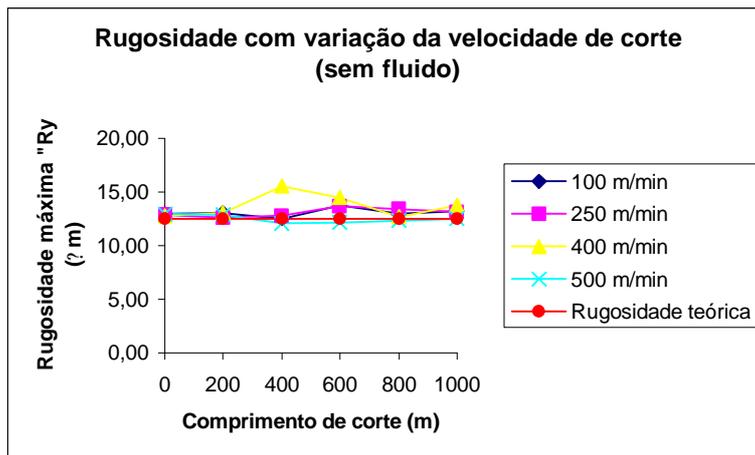


Figura 4 - Variação da rugosidade máxima “Ry” com a velocidade de corte (sem fluido).

A medição do comprimento do cavaco foi feita com uma trena, considerando como comprimento a dimensão “l” representada no desenho esquemático da Figura 5. O gráfico representado pela Figura 6 relaciona comprimento do cavaco com velocidade de corte, tanto no processo a seco, quanto com fluido de corte.

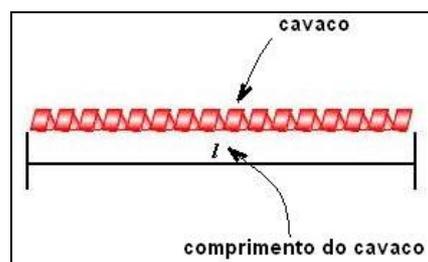


Figura 5 - Desenho esquemático do sistema de medição do comprimento do cavaco.

A análise do gráfico da Figura 6 apresenta resultados em que o comprimento do cavaco tem um declínio significativo em ambas as condições (a seco e com fluido de corte) até aproximadamente 400 m/min. Um outro dado interessante é que para a condição com fluido de corte o comprimento do cavaco é sempre maior que na condição a seco, até aproximadamente 500 m/min e que acima desta velocidade seus comprimentos se igualam. Estes dados demonstram um aumento da dinâmica (velocidade de saída do cavaco) do processo causada pelo aumento da velocidade de corte, o que ocasiona uma dificuldade extra na obtenção de boa lubrificação por parte do fluido de corte, dificultando o escoamento do cavaco, o que confirma as discussões anteriormente feitas. A

influência do raio de curvatura do cavaco, foi minimizada em função da manutenção da área da secção de corte (avanço e profundidade de usinagem constantes) e utilização do mesmo quebra-cavaco em todos os testes.

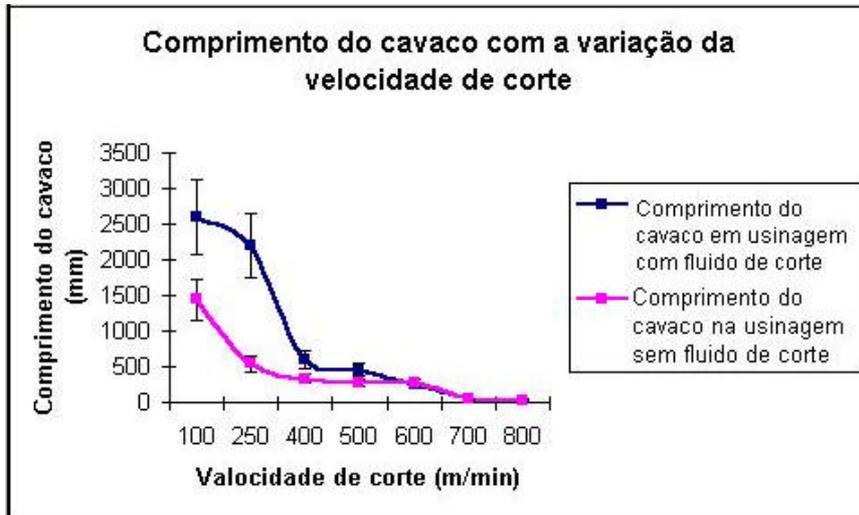


Figura 6 - Gráfico de variação do comprimento do cavaco com a velocidade de corte.

As medições do comprimento do cavaco após os processos de usinagem a seco e com fluido de corte foram realizadas com intuito de se identificar diferenças nos processos de deformação imposta ao cavaco em cada uma dessas operações. Para tanto, foram realizados também ensaios de microdureza Vickers nas regiões deformadas dos cavacos, a fim de se identificar o grau de deformação sofrido pelo mesmo em ambas as situações, o gráfico está mostrado na Figura 7, feito a partir de médias das medidas de microdureza para cada condição de velocidade de corte.

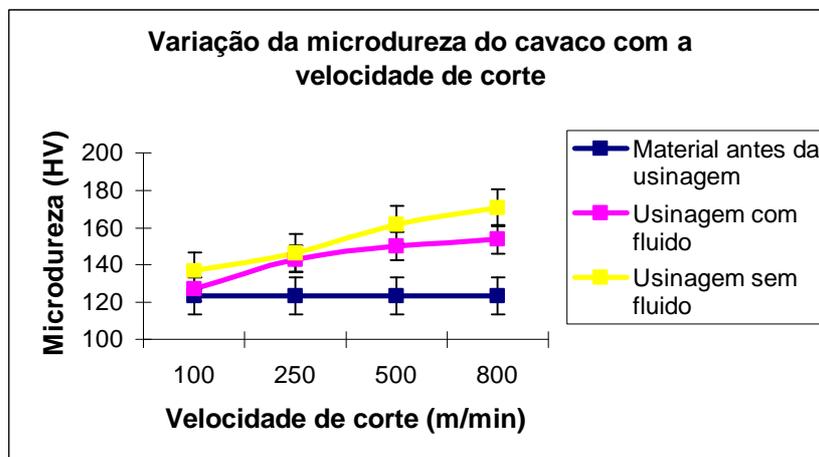
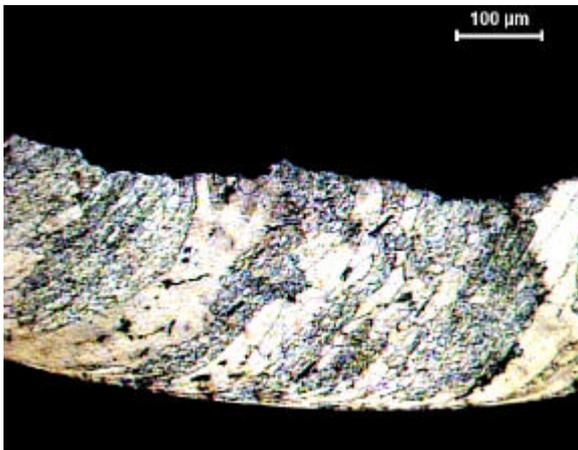


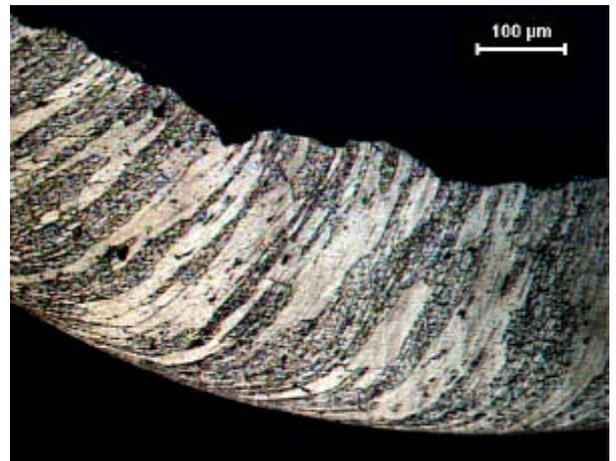
Figura 7 - Gráfico da variação da microdureza Vickers do cavaco em função da velocidade

No gráfico que relaciona microdureza com velocidade de corte (Figura 7) pode-se notar que, para os cavacos usinados sem fluido de corte, a taxa de deformação sofrida é sempre maior que na condição com fluido. Isto é resultado da maior severidade do processo na condição a seco, causando um maior encruamento do cavaco, levando à sua quebra prematura. Este fato explica em grande parte os menores comprimentos medidos para estes cavacos após a usinagem nesta condição. Outro dado que deve ser ressaltado é que a microdureza em ambas as condições, aumenta com o aumento da velocidade de corte. Isto, possivelmente se deve ao fato de haver um aumento na taxa de deformação imposta ao cavaco.

Nas Figuras 8, 9 e 10 pode-se observar a morfologia dos cavacos produzidos durante os testes, onde as zonas de cisalhamento foram formadas uma após a outra, dando origem a um cavaco contínuo, característico desse tipo de material. As imagens correspondem aos cavacos dos testes para 100, 500 e 800 m/min, com e sem a utilização de fluido de corte para comparações.

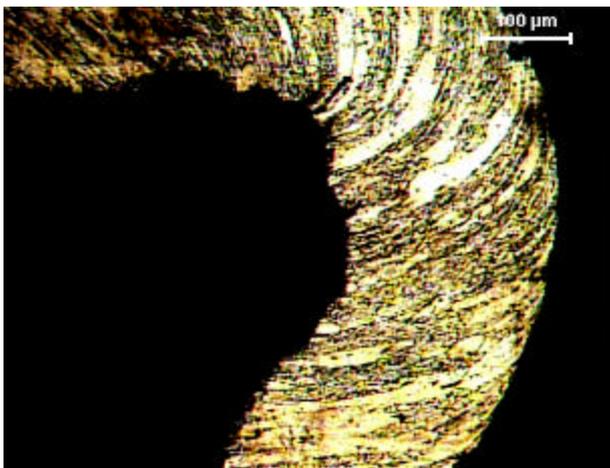


(a)

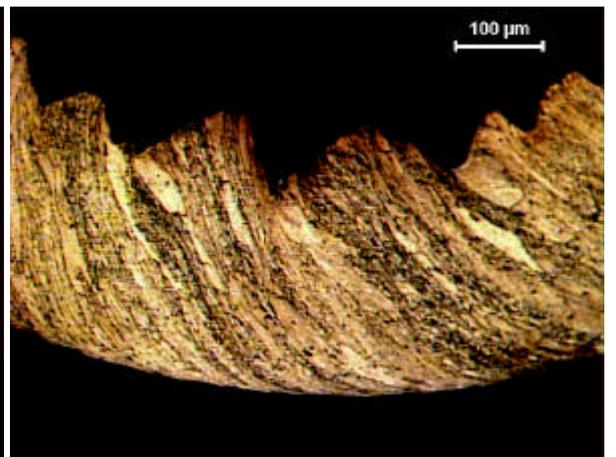


(b)

Figura 8 - Cavacos obtidos na usinagem a 100 m/min: (a) com fluido (b) sem fluido.

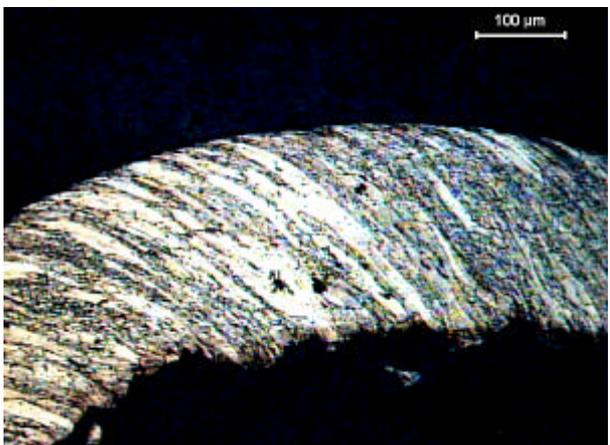


(a)

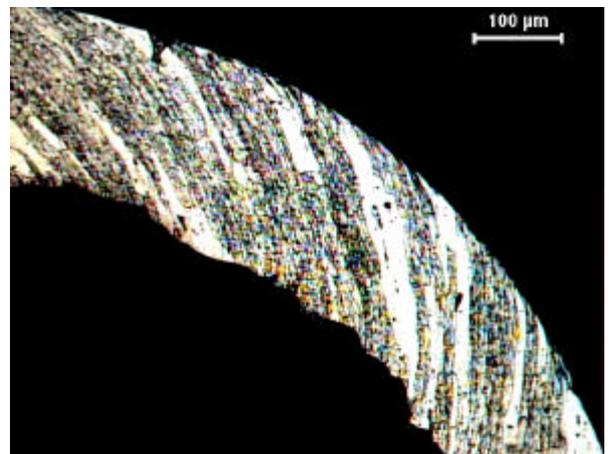


(b)

Figura 9 - Cavacos obtidos na usinagem a 500 m/min: (a) com fluido (b) sem fluido.



(a)



(b)

Figura 10 - Cavacos obtidos na usinagem a 800 m/min: (a) com fluido (b) sem fluido.

Quando observadas as micrografias dos cavacos (Figuras 8, 9 e 10), pode-se identificar, mesmo sem uma análise mais apurada, que os cavacos usinados com fluido de corte (a) têm seus grãos menos deformados (“maiores”), que os usinados sem fluido de corte (b), que se apresentam mais “compactados” entre si, fato este que se destaca principalmente quando comparadas as micrografias dos cavacos usinados com velocidade de 100 m/min, onde obteve-se maior diferença no comprimento medido dos cavacos.

Como foi exposto anteriormente, devido ao alto coeficiente de dilatação térmica, o alumínio pode apresentar dificuldades na obtenção de tolerâncias dimensionais pequenas, principalmente quando este passa por um processo de usinagem. Por isso, foram realizados ensaios com o objetivo de se estimar a real influência do fluido de corte na usinagem destas ligas e também quanto ao seu comportamento na ausência de fluido de corte (Figura 11).

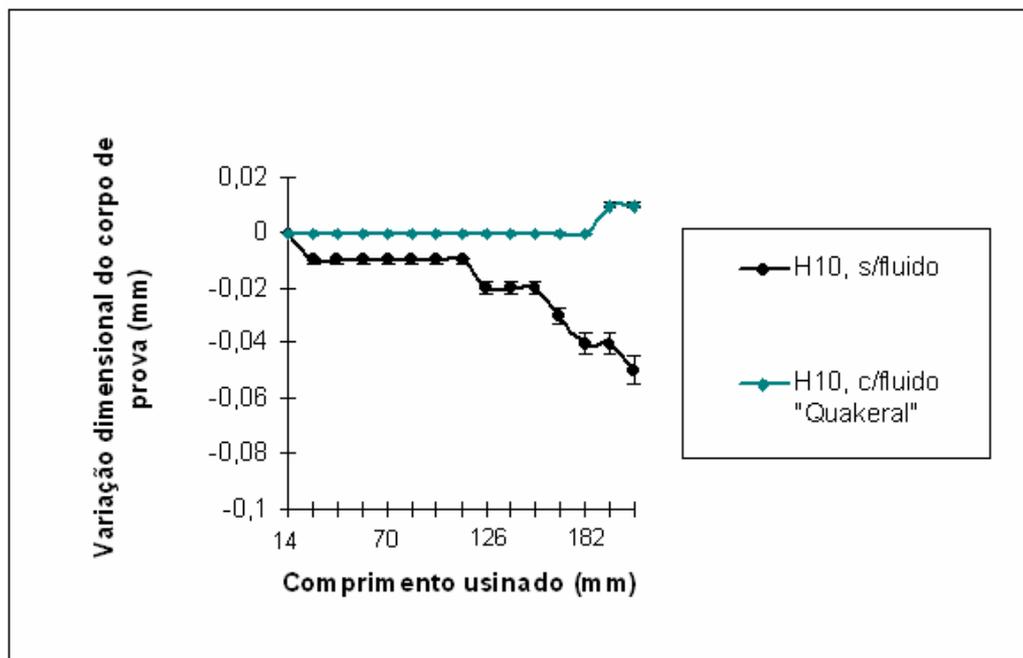


Figura 11 - Variação dimensional x comprimento usinado, corte com fluido e sem fluido.

Observou-se nos testes que o uso de fluido de corte nas operações de usinagem do alumínio é de extrema importância, principalmente no que se diz respeito à variação dimensional da peça produzida, conforme o gráfico da Figura 11.

#### 4. CONCLUSÕES

Nos testes foi possível verificar a baixa influência da velocidade de corte e do comprimento de usinagem no acabamento superficial das peças usinadas para a liga ensaiada. Isto se deve principalmente à alta taxa de usabilidade do alumínio e ao baixo desgaste apresentado pelas ferramentas de corte durante o processo. Outro dado relevante é que a rugosidade obtida encontra-se muito próxima à rugosidade calculada (rugosidade teórica). Para os ensaios sem fluido de corte, a baixa dispersão dos resultados é um indício da influência da temperatura na resistência do material, o que torna o processo de usinagem mais fácil devido à diminuição da força de corte.

Pode-se dizer que a diferença do comprimento do cavaco na usinagem a seco e com fluido de corte tem uma relação direta com a deformação sofrida pelos mesmos durante o processo de usinagem e isto se confirma quando foram analisados os valores de microdureza apresentado pelos cavacos em ambas as condições. Um outro dado interessante é que após 500 m/min, os comprimentos dos cavacos se igualaram, revelando uma queda no desempenho do fluido de corte em manter a lubrificação e facilitar o escoamento de cavaco no processo de usinagem com fluido.

A presença do fluido de corte na usinagem da liga de alumínio em questão é de extrema importância para manter o processo em conformidade com a precisão dimensional requerida. A escolha correta do fluido de corte também é um fator de elevada importância, pois esta escolha, se realizada de maneira adequada, pode trazer benefícios em relação à preservação da ferramenta de corte e diminuição do desgaste prematuro da mesma.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da FAPESP, SANDVIK e EMBRAER.

## REFERÊNCIAS

1. Heinz, A., Haszler, A., Keidel, C., Moldenhauer, S., Benedictus, R. e Miller, W. S. Recent development in aluminum alloys for aerospace applications. **Materials Science & Engineering**, v.A, n. 280, p. 102-107, 2000.
2. Carvalho, A. L. M. **Comportamento mecânico das ligas de alumínio 7010-T74 e 7050-T7451 de aplicação aeronáutica**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP - Guaratinguetá/SP, 1999.
3. AA – Aluminum Association. Aluminum Offers Structural Strength At Decreased Weight. Disponível: site URL: [www.aluminum.org](http://www.aluminum.org), 2001.
4. Mazzolani, F. M. Aluminum Alloy Structures, London: E & FN, 2 ed., p.693, 1995.
5. Narutaki, N., Uamane, Y., Tashima, S., Kuroki, H. New advanced ceramic for dry machining, **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, Vol. 46, No. 1, pp. 43-46., 1997.
6. Sreejith, P. S., Ngoi, B. K. A., Dry Machining: Machining of the future, **Journal of Materials Processing Technology**, 101, p. 287-291, 2000.
7. Cunha, E.A. **Estudo da usinagem por torneamento da liga ASTM AA-7050 T7451**. 2004, 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Faculdade de Engenharia Química de Lorena – FAENQUIL Lorena/SP, 2004.
8. Yang, S.H.H., A new light optical metallographic technique for revealing grain structures of common 2000, 5000 and 7000 series aluminum alloys. **Mat. Characterization** 38:165-175 (1997).

# MACHINING OF ALUMINIUM ALLOY ASTM 7050 BY TURNING

**Marcos Valério Ribeiro**

Department of Materials and Technology – State University of São Paulo – UNESP – Guaratinguetá/SP – Brazil – e-mail: [mvalerio@feg.unesp.br](mailto:mvalerio@feg.unesp.br)

**Elias Alves da Cunha**

Department of Materials and Technology – State University of São Paulo – UNESP – Guaratinguetá/SP – Brazil – e-mail: [eliasac@zipmail.com.br](mailto:eliasac@zipmail.com.br)

***Abstract.** This work presents the tests results of external cylindrical turning, for the ASTM 7050 T7451 aluminum alloy finishing. In the tests the roughness from the variation of the cutting speed was measured (since 100 to 800 m/min), using uncoating cemented carbide tools, in wet and dry conditions. After each machining operation had been collected samples of the chip formed, these then had been analyzed together to the Scanning electron microscope (SEM) and light optical microscope (LOM). Was analyzed the microstructural modifications in the chip (after metallographic preparation), for these samples had been carried also through measured of microhardness (Vickers) in various regions. In the tests it was possible to verify the low influence of the cutting speed and the cutting length in the superficial finishing of the parts. In relation to the fluid application this if showed efficient, therefore in the condition to dry the dimensional alterations they had been detected in the parts.*

***Keywords:** machining, aluminium, dry machining, roughness.*