

# EFEITO DA LUBRIFICAÇÃO MÍNIMA (*MQL - MINIMAL QUANTITY OF LUBRICANT*) NA MAQUINAGEM DE UMA LIGA DE ALUMÍNIO

A. Esteves Correia<sup>1</sup>, J. Paulo Davim<sup>2</sup>

[aesteves@demgi.estv.ipv.pt](mailto:aesteves@demgi.estv.ipv.pt), [pdavim@mec.ua.pt](mailto:pdavim@mec.ua.pt)

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Escola Superior de Tecnologia, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Portugal

## RESUMO

*Neste trabalho é apresentado um estudo comparativo da técnica MQL e da lubrificação abundante na maquinagem de uma liga de alumínio 7050 (ASM). Foi utilizada a fresagem convencional e a fresagem a alta velocidade, recorrendo a uma turbina pneumática de alta rotação, na obtenção de provetes para avaliação do acabamento superficial.*

*Face aos resultados obtidos a utilização de MQL deve ser encarada como uma solução viável na maquinagem de materiais metálicos tendo em consideração o acabamento superficial obtido nas peças maquinadas e as vantagens ecológicas da técnica.*

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização da técnica das quantidades mínimas de fluido de corte (*MQL-Minimal Quantity of Lubricant*) tem-se revelado uma alternativa muito vantajosa, relativamente à lubrificação abundante no corte por arranque de avara. Esta técnica consiste na utilização de uma pequena quantidade de óleo lubrificante que é pulverizado sobre a peça. Desta forma, a quantidade de óleo de corte utilizada é significativamente menor.

O princípio básico de funcionamento do sistema MQL consiste no arrastamento de uma pequena quantidade de lubrificante por uma corrente de ar comprimido que é dirigido sobre a zona de corte. Esse arrastamento provoca a atomização do lubrificante, fazendo com que a sua distribuição na zona de corte seja uniforme.

A utilização deste método apresenta também alguns inconvenientes. As aparas produzidas durante o corte, são projectadas em todas as direcções dentro do espaço de trabalho da máquina, em vez de arrastadas,

como acontece com a lubrificação abundante. Quando se trata de grandes séries de peças, a acumulação de aparas pode constituir um problema. As máquinas-ferramenta deverão ser construídas de maneira a permitir o escoamento fácil das aparas para a zona inferior do espaço de trabalho e possuir sistemas de extracção eficazes para evitar a sua acumulação.

Com a aplicação desta técnica, passam a existir gotículas em suspensão, resultantes da pulverização da mistura no espaço de trabalho da máquina. Este facto obriga à existência de uma vedação estanque e à instalação de um sistema de extracção. Caso contrário, o operador corre o risco de inalar gotículas dispersas no ar, que podem causar doenças respiratórias graves.

Apesar de se alegar que na lubrificação abundante há o contacto directo do operador com as superfícies húmidas da peça, havendo o risco de dermatoses, esse risco não é inexistente no caso da lubrificação mínima. Devido à quantidade de lubrificante aplicada, haverá

sempre alguns resíduos sobre a peça no final da maquinação. Daí que, o contacto do operador com a peça continue a ter riscos associados. Este problema só se resolve com a utilização de meios de protecção adequados (utilização de luvas, por exemplo).

Diversos estudos realizados [1-3], têm demonstrado as vantagens da utilização desta técnica de lubrificação. A tendência evolutiva dos processos de lubrificação permite olhar para esta técnica como uma solução de compromisso entre a lubrificação abundante e a maquinação a seco [1].

Rahman *et al*, 2002 [2], realizaram testes usando provetes de aço de dureza 35 HRC com uma fresa de 20 mm de diâmetro, com pastilhas de carbonetos sinterizados (P20). Entre outras conclusões, verificaram que as forças de corte foram menores com a técnica *MQL* e a rugosidade média obtida foi semelhante à da lubrificação abundante e melhor do que a da maquinação a seco. Não foram encontradas diferenças consideráveis relativamente à forma da apanha na técnica *MQL* e com lubrificação abundante.

Braga *et al*, 2002, [3], realizaram testes de furação numa liga Alumínio/Silício (7%) usando brocas de carbonetos sinterizados, K10 não revestidas. Os furos obtidos com *MQL* apresentavam uma rugosidade média aritmética (*Ra*) semelhante aos obtidos com lubrificação abundante. O desgaste do flanco da ferramenta foi semelhante nos dois casos, o que prova a viabilidade da técnica *MQL*.

A utilização desta técnica permite também uma melhor visualização e acompanhamento do processo de maquinação, devendo ser encarada como um contributo para a redução das emissões poluentes das indústrias transformadoras.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O material ensaiado foi uma liga de alumínio 7050 (ASM). De acordo com a sua composição e propriedades, trata-se de uma liga Alumínio-Zinco sujeita a tratamento térmico de estabilização. A sua composição química e propriedades mecânicas e físicas são as que constam da tabela 1.

**Tabela 1** Composição química e propriedades físicas e mecânicas do material maquinado – liga de alumínio 7050 (ASM)

Composição Química [%]	Propriedades físicas e mecânicas
Al: - 87,3-90,3 Si - Máx. 0,12 Fe - Máx. 0,15 Cu - 2-2,6 Mg - 1,9-2,6 Cr - Máx 0,04 Zn - 5,7-6,7 Ti - Máx. 0,06 Zr - 0,08-0,15	Dureza Brinell: HB 163-169 Densidade: 2,83 Tensão de rotura: 530-588 N/mm <sup>2</sup> Tensão limite de elasticidade: 480-520 N/mm <sup>2</sup> Extensão após rotura: 4-10%

Os ensaios foram realizados com um centro de maquinação vertical Cincinnati<sup>®</sup>, modelo Arrow 750, com uma potência de 11 kW e uma rotação máxima de 10.000 rpm, (figura 1), instalado nas oficinas do DEMGI da Escola Superior de Tecnologia de Viseu.

Esta máquina está equipada com um controlador Siemens<sup>®</sup> Acramatic 2100E e possui um tempo de processamento de bloco de 7,8 ms e um tempo para atingir a rotação máxima de 1,8 s.

Foi também utilizada uma turbina pneu-

mática de alta rotação, ilustrada na figura 2.

Esta turbina tem uma rotação de 40.000 rpm e permite a montagem de ferramentas com diâmetro máximo de 6 mm. A potência disponível é de 1,04 kW e a pressão de alimentação de 6,2 bar. A sua montagem é feita directamente na árvore da máquina.

Para a aplicação da técnica de lubrificação mínima, *MQL*, foi construído o dispositivo esquematizado na figura 3.



Fig 1 - Centro de maquinagem Cincinnati®, Arrow 750 utilizado nos ensaios

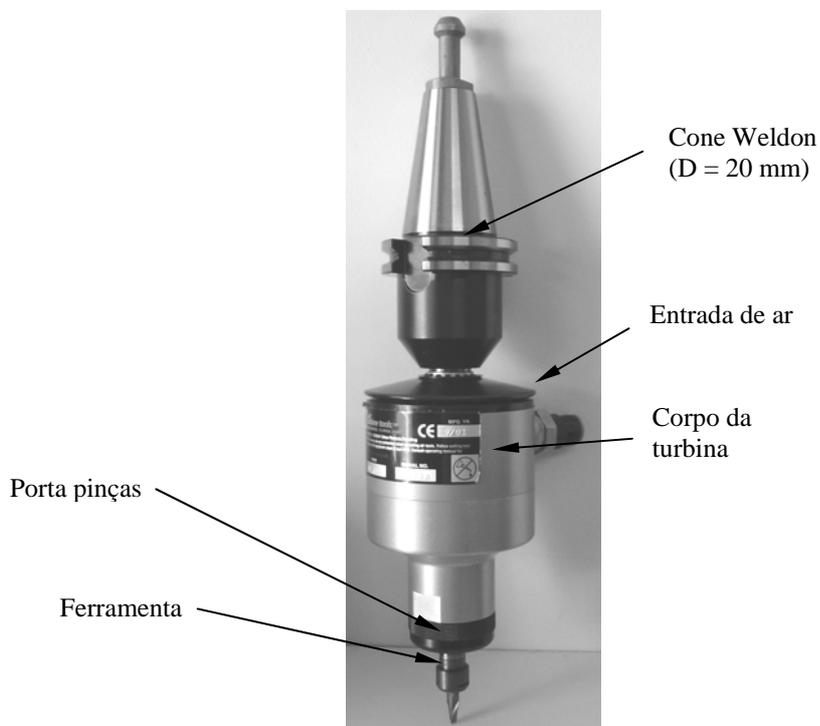


Fig 2 - Turbina pneumática, marca Air Turbine Tools®, modelo 230XJS

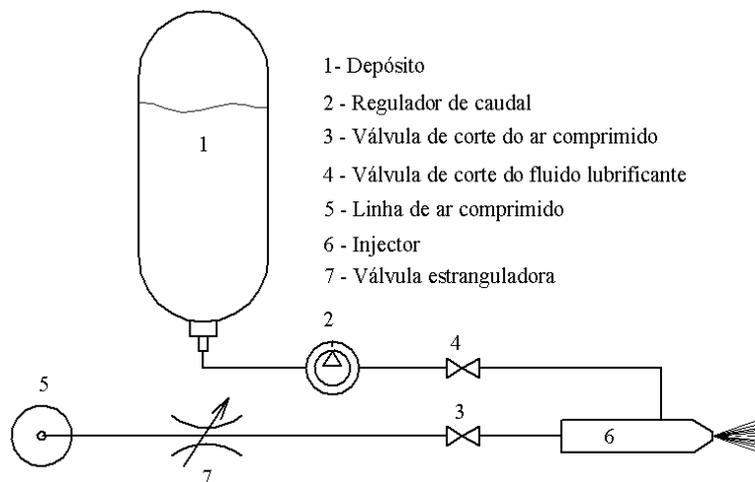


Fig 3 - Esquema do dispositivo de lubrificação mínima desenvolvido

O funcionamento do dispositivo inicia-se com a abertura das válvulas do ar comprimido (3) e do fluido lubrificante (4). Este escoar por gravidade e é arrastado pela corrente de ar que atravessa o injetor (6). Obtém-se assim um jacto constituído por uma névoa de partículas atomizadas, que são direccionadas para a zona de corte. Nos ensaios realizados foi usado um caudal de lubrificante de 30 ml/h. O lubrificante é composto por uma emulsão a 5% de óleo de corte da marca *Castrol*<sup>®</sup>, com a referência *Syntilo R Plus*. Com o regulador de caudal utilizado (2), é possível variar o caudal de lubrificante de 0 a 300 ml/h.

Na figura 4 pode observar-se em detalhe o dispositivo construído.

Para facilitar a orientação do jacto da mistura, aproveitaram-se as ponteiras do sistema de lubrificação da máquina, às quais se prenderam os tubos por meio de abraçadeiras.

Na figura 5 pode observar-se a a geometria das fresas utilizadas e recomendadas pelo fabricante para a maquinagem de alumínio. Trata-se de uma fresa de topo raso, 2 navalhas, diâmetro  $D_c = 6$  mm.

Foram utilizados provetes prismáticos com quatro faces, como se ilustra na figura 6.

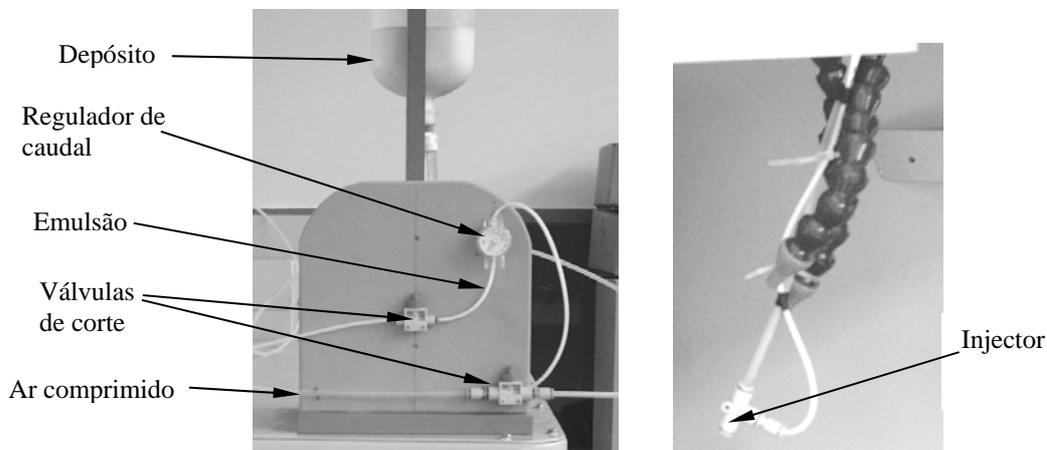


Fig 4 - Montagem do dispositivo de lubrificação mínima construído

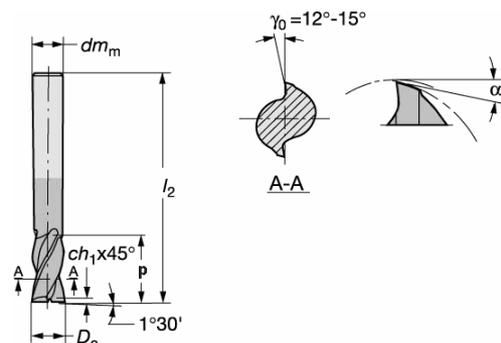


Fig 5 - Fresa utilizada (Ref.ª R216.32-06030 AC10A H10F, Sandvik<sup>®</sup>)

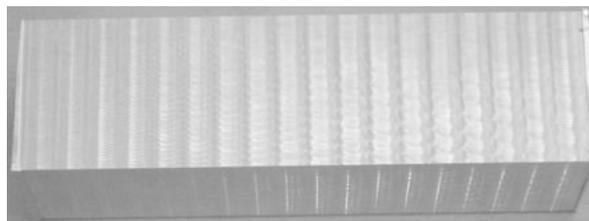


Fig 6 - Geometria dos provetes ensaiados

Em cada face do provete foram maquinadas pistas com avanços compreendidos entre 600 e 7600 mm/min. Em cada face foram analisadas 8 pistas, correspondendo a cada pista os seguintes

avanços: 600; 1200; 2000; 2800; 3600; 4400; 5200; 6000 mm/min. Na tabela 2 são apresentados os parâmetros de maquinagem em cada face dos provetes.

**Tabela 2** - Parâmetros de maquinagem usados nas diferentes faces dos provetes

Parâmetros de maquinagem	Provete 1; Vc = 750 m/min Fresagem a alta Velocidade (40.000 rpm)				Provete 2; Vc = 170 m/min Fresagem convencional (9.000 rpm)			
	Face 1	Face 2	Face 3	Face 4	Face 1	Face 2	Face 3	Face 4
Lubrificação mínima			X	X			X	X
Lubrificação abundante	X	X			X	X		
Em concordância		X		X		X		X
Em oposição	X		X		X		X	

Como pode ser observado na tabela 2, foi avaliado o efeito do método de fresagem (em concordância e em oposição) e das condições de lubrificação (lubrificação mínima e abundante), para as duas velocidades de corte consideradas. As velocidades de corte de 750 e 170 m/min correspondem à utilização da turbina de alta rotação (40.000 rpm) e da árvore da máquina (9.000 rpm), respectivamente, para a ferramenta seleccionada.

A caracterização da rugosidade superficial foi efectuada com o rugosímetro de agulha HOMMELWERKE®-T 1000 (figura 7). A medição da rugosidade foi realizada de acordo com a norma DIN

4768. O parâmetro seleccionado foi a rugosidade média aritmética ( $R_a$ ). Os valores considerados na análise resultam da média de duas medições em cada pista.

### 3. RESULTADOS OBTIDOS E SUA DISCUSSÃO

Na figura 8 é analisada a *influência do método de fresagem* (concordância / oposição) no valor do acabamento superficial ( $R_a$ ), para os diferentes valores de avanço e para as velocidades de corte consideradas (fresagem a alta velocidade e fresagem convencional).



**Fig 7** - Rugosímetro HOMMELWERKE®-T 1000

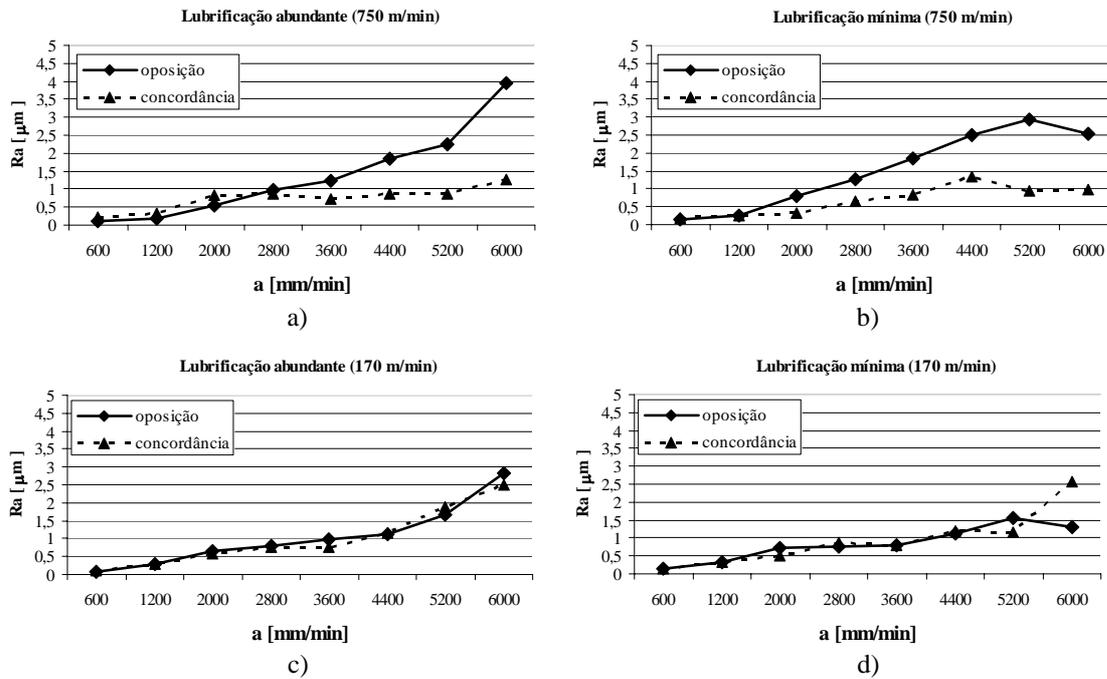


Fig 8 - Valores de  $Ra$  em função do avanço, para a fresagem em concordância e em oposição

Os resultados obtidos pretendem evidenciar o efeito da lubrificação (mínima (MQL) / abundante) e do método de fresagem (oposição / concordância) em fresagem a alta velocidade e em fresagem convencional.

Como pode ser observado na figura 8 a) e b), a fresagem em concordância é mais favorável para a alta velocidade. Para a velocidade de corte de 170 m/min (fresagem convencional) há uma grande semelhança dos valores de  $Ra$  em toda a gama de avanços utilizada como se pode observar na figura 8 c) e d). Esta verificação, reforça a vantagem de adoptar a fresagem em concordância, em especial para a fresagem a alta velocidade. A figura 9 ilustra os dois métodos de fresagem considerados.

Na *fresagem em concordância*, quando a aresta de corte entra em contacto com a peça, a espessura da apara tem o seu valor máximo. Na *fresagem em oposição* (ou discordante), a espessura da apara é mínima no momento do contacto da ferramenta com a peça.

Na figura 10 é analisada a influência do método de lubrificação (MQL / abundante) no valor do acabamento superficial ( $Ra$ ), para os diferentes valores de avanço e para as velocidades de corte consideradas (fresagem a alta velocidade e fresagem convencional).

Como pode ser observado na figura 10, os valores de  $Ra$  são semelhantes para toda a gama de avanços e velocidades de corte en-

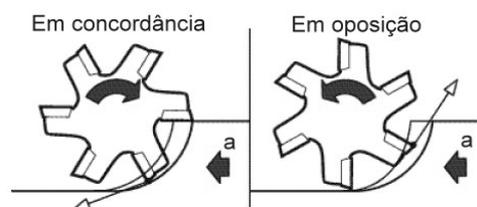


Fig 9 - Fresagem em concordância e em oposição

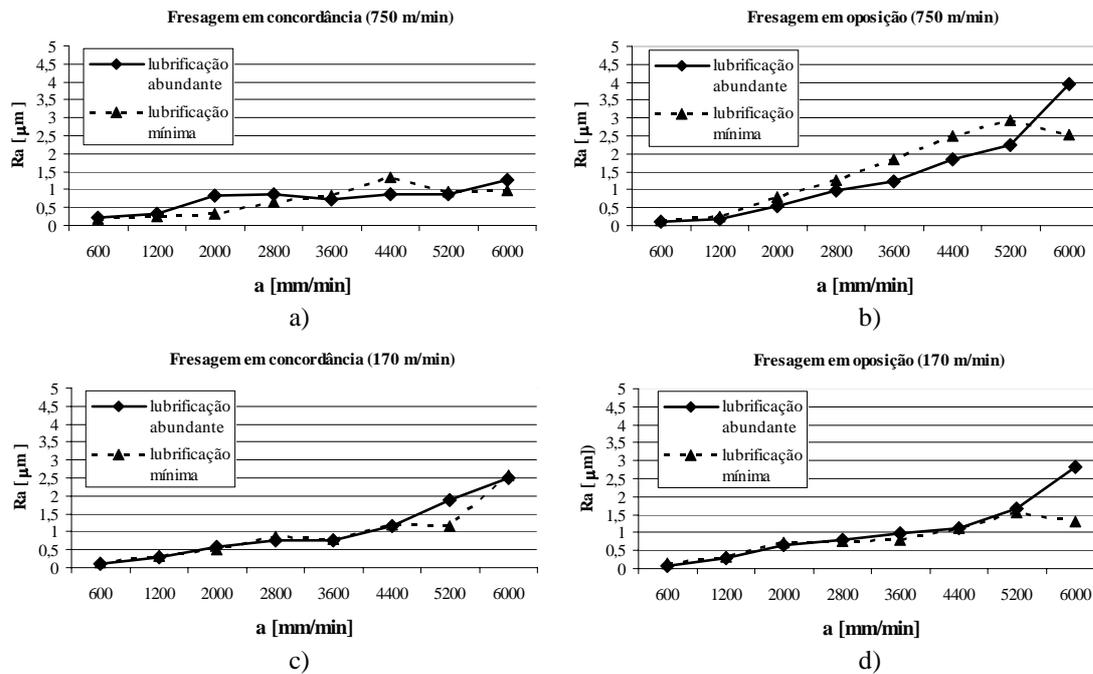


Fig 10 - Valores de  $R_a$  em função do avanço, com lubrificação mínima e abundante

saiadas. Pode concluir-se que a utilização de quantidade mínima de lubrificante (MQL) é uma alternativa viável, relativamente à lubrificação abundante, quer em fresagem convencional, quer em fresagem a alta velocidade.

Com base nestes resultados foi maquinada uma peça padrão composta por diferentes geometrias, representada na figura 11.

A maquinagem desta peça com utilização

de lubrificação mínima e abundante, permitiu comprovar a viabilidade da utilização da opção MQL na fresagem de superfícies complexas.

#### 4. CONCLUSÕES

Tendo em conta a metodologia utilizada e os resultados obtidos nesta investigação, podem retirar-se as seguintes conclusões:

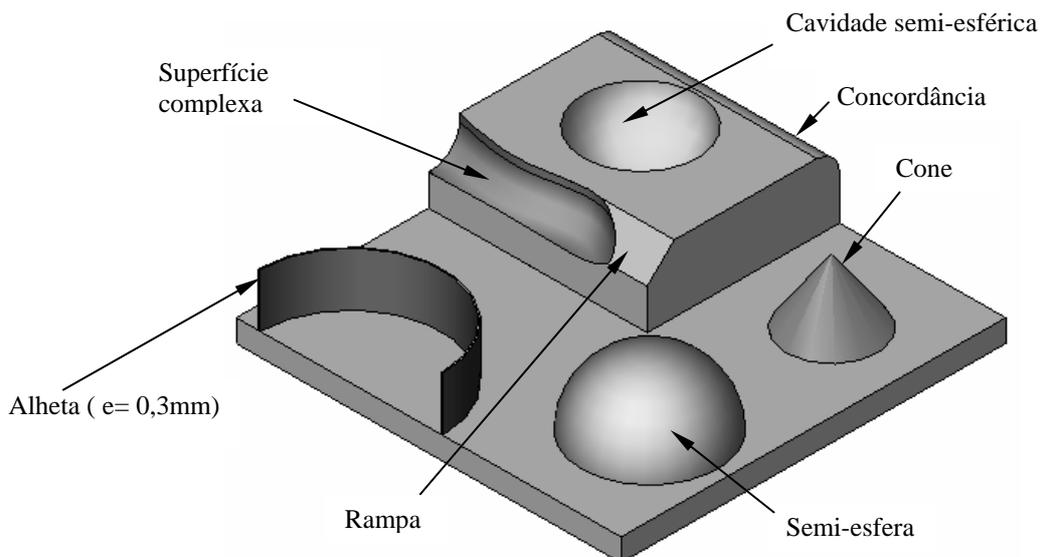


Fig 11 - Peça padrão

- A *fresagem em concordância* permite obter melhor acabamento das superfícies em fresagem a alta velocidade, relativamente à fresagem convencional.
- A utilização de *quantidade mínima de lubrificante (MQL)* revelou que esta técnica pode ser usada sem prejuízo da qualidade das superfícies maquinadas.
- A aplicação da técnica *MQL* nas máquinas existentes requer a instalação de um sistema de aspiração que inclua um filtro separador de gotas, de forma a garantir as condições de higiene e segurança do operador.
- Dadas as pequenas quantidades de lubrificante envolvidas, tornam-se evidentes as vantagens ecológicas obtidas, com a aplicação da técnica

*MQL*, relativamente a outras variáveis.

## REFERÊNCIAS

- [1] Kelly J.F., Cotterell M.G.; "Minimal lubrication machining of aluminium alloys"; *Journal of Materials Processing Technology*; 120; 327-334; 2002.
- [2] Rahman M., Kumar A S., Salam M. U.; "Experimental Evaluation on the effect of minimal quantities of lubricant in milling"; *International Journal of Machine Tools and Manufacture*; 42; 539-547; 2002.
- [3] Braga D., Anselmo D., Miranda G., Coppini N.; "Using a minimum quantity of lubricant (MQL) and a diamond coated tool in the drilling of aluminum-silicon alloy"; *Journal of Materials Processing Technology*; 122; 127-138; 2002.