



20º POSMEC

SIMPÓSIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Análise da Temperatura de Usinagem no Corte Ortogonal de Alumínio

Autores:

*José Aécio Gomes de Sousa
Marcelo do Nascimento Sousa*

Orientador:

Álisson Rocha Machado

Resumo: *Nas operações de usinagem, a retirada de material através da penetração da ferramenta de corte na peça resulta em um grande consumo de energia. A maior parte desta energia é transformada em calor devido a fatores como o atrito, a deformação plástica da peça usinada e o cisalhamento ocorrido. Este calor, em alguns materiais e com determinados condições de corte, pode ser tão alto a ponto de comprometer a resistência e, conseqüentemente, o desempenho da ferramenta. Existem hoje diversos métodos para a medição de temperatura, porém poucos traduzem fielmente os valores e comportamento da temperatura na usinagem. Um aprofundamento dos conhecimentos das temperaturas de usinagem poderá trazer diversos benefícios, como por exemplo, a redução dos mecanismos de desgaste, resultando em um aumento da vida útil da ferramenta. Nesta linha de pesquisa, este trabalho mede a temperatura da região de cisalhamento primário, utilizando um termopar fino (diâmetro 0,5 mm) do tipo T, inserido na peça, dentro da região que será cisalhada e transformada em cavaco durante o corte ortogonal no processo de aplainamento com ferramentas de aço-rápido. A evolução da temperatura é registrada continuamente, até o momento em que há a destruição do termopar por esmagamento dentro desta zona de cisalhamento. Foi avaliado a influência da velocidade de corte, condições de corte (a seco e jorro) e profundidade de corte sobre o comportamento da temperatura de usinagem.*

Palavras-chave: Temperatura de usinagem, Geração de calor, Região de cisalhamento primário, Aplainamento.

1. INTRODUÇÃO

Uma das linhas de pesquisas desenvolvidas no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) é o estudo da formação do cavaco, incluindo a análise do comportamento da temperatura durante o processo de usinagem. Parâmetros de usinagem, como a velocidade de corte, o avanço e a profundidade de corte, além da presença de fluido de corte, entre outros fatores, podem influenciar no comportamento da temperatura de usinagem.

A temperatura desenvolvida nas operações de usinagem sempre foi um fator preocupante para as ferramentas de corte (MACHADO et al., 2009). Além de acelerar os mecanismos de desgaste termicamente ativados, o aumento da temperatura reduz o limite de escoamento das ferramentas, o que torna esta o fator controlador da taxa de remoção, principalmente de materiais duros e de alto ponto de fusão, como ferros fundidos, aços ligas, ligas de níquel e ligas de titânio (COSTA, 2004). Entretanto, segundo Nourari (2003), temperaturas elevadas podem também ser atingidas quando se usinam o alumínio, principalmente em ligas mais resistentes, como as ligas fundidas da classe 3XXX de Al-Si-Cu-Mg da linha automotiva e as ligas trabalháveis da classe 7XXX, de Al-Zn da linha aeronáutica. Segundo Casto et al. (1994), a medida da temperatura é o fator mais importante na investigação do uso de ferramentas permitindo, dessa forma, controlar os fatores que influenciam na vida e no desgaste das mesmas. A temperatura também influencia no controle dimensional e no acabamento superficial da peça (SUAREZ et al., 2008; SUAREZ et al., 2009). O aumento da temperatura também colabora para reduzir as forças e a potência de usinagem.

Em cada um dos processos de corte as temperaturas máximas situam-se em regiões específicas, bem próximas à aresta de corte, onde as tensões atuantes (normais e cisalhantes) são extremamente elevadas (TRENT e WRIGTH, 2000). Durante o corte dos metais existem três regiões de geração de calor, definidas como zona de cisalhamento primário, zona de cisalhamento secundário e zona de interface entre a peça e a superfície de folga da ferramenta (MACHADO et al., 2009). A Figura 1 mostra as regiões de geração de calor durante a usinagem.

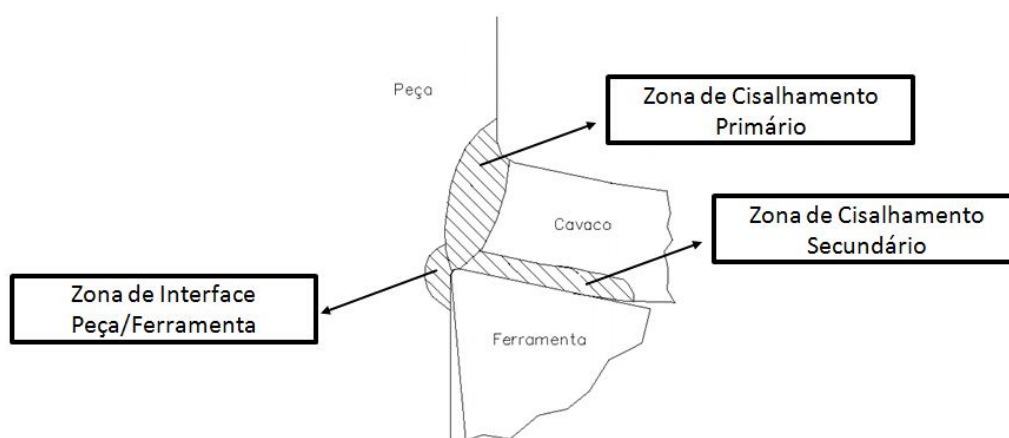


Figura 1 – Zona de geração de calor em usinagem. Adaptado de (MACHADO et al., 2009).

Segundo Machado et al. (2009), a zona de cisalhamento secundário é a principal fonte de calor responsável pelas altas temperaturas da ferramenta de corte, principalmente quando da usinagem de materiais duros e de alto ponto de fusão (aços, titânio, ligas de níquel, por exemplo). A temperatura na zona de fluxo depende da quantidade de trabalho realizado para cisalhar o material e da quantidade de material que passa pela mesma.

O calor gerado na zona de cisalhamento primário é, em sua maior parte, dissipado pelo cavaco e uma pequena parte é transmitida por condução para a peça, parte esta que não deve ser desprezada visto que pode causar erros de dimensionamento da peça. A zona de interface entre a peça e a superfície de folga da ferramenta pode se tornar uma importante fonte de calor para a ferramenta quando se usina com pequenos ângulos de folga ou com ferramentas com desgastes consideráveis (TRENT, 1984).

Diversos métodos de medições (RIBEIRO et. all., 2002; MELO et. all., 2003) e modelagem da temperatura vêm sendo desenvolvidos (LIMA et. all., 2000; CARVALHO et.all., 2006), porém, poucos traduzem fielmente os valores e comportamento da temperatura na usinagem. O maior conhecimento da temperatura atingida durante o cisalhamento dos materiais pode impulsionar pesquisas de novos materiais resistentes a altas temperaturas.

O objetivo deste trabalho é investigar o comportamento da temperatura de usinagem na zona de cisalhamento primário durante o corte ortogonal de aplainamento de alumínio. Os testes consideram a variação da velocidade de corte.

2. MÉTODO EXPERIMENTAL

Durante os experimentos utilizou-se como material o alumínio puro comercial com dureza média de 111 HB. Os testes foram feitos no corte ortogonal, utilizando uma plaina limadora STRIGON GH 560/M mostrada na Figura 2, que apresenta também o detalhe da ferramenta e do termopar soldado na peça.



Figura 2 – (a) Máquina-Ferramenta Plaina STRIGON GH 560/M e (b) Detalhe do termopar.

A Figura 3 mostra as dimensões da peça utilizadas nos experimentos e a posição de inserção do termopar para medir a temperatura de corte.

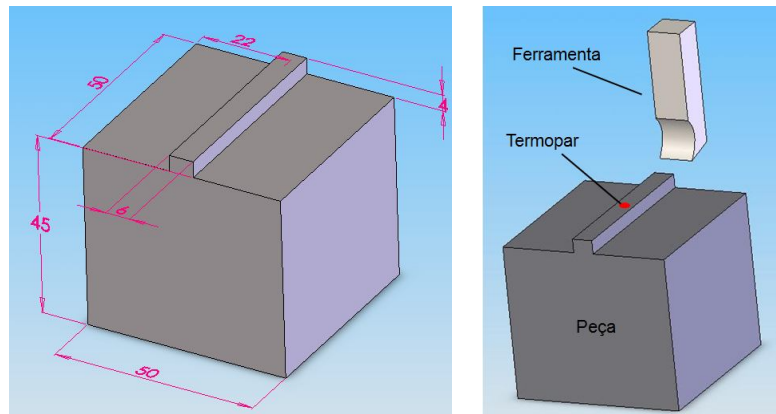


Figura 3 – (a) Ilustração das dimensões do corpo de prova e (b) Indicação da posição de inserção do termopar para medição da temperatura

Para leitura da temperatura foi utilizado um termopar tipo ‘T’. Para fixação do termopar na peça, foi feito um furo de 3 mm de diâmetro e 1,5 mm de profundidade (Figura 4).

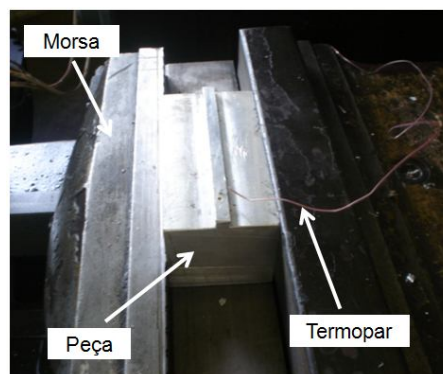


Figura 4 – Montagem do termopar na peça.

Foi utilizada uma soldagem por descarga elétrica para fixar o termopar na peça. A Figura 5 mostra a sequência de soldagem do termopar na peça de alumínio.

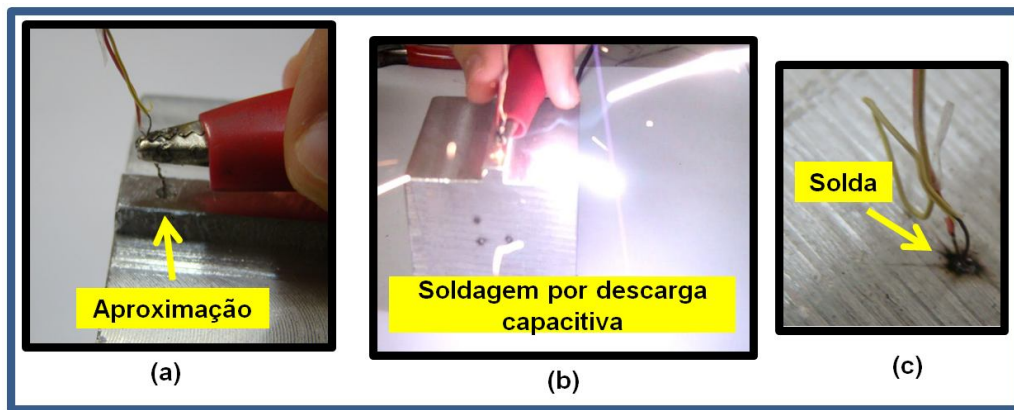


Figura 5 – Sequência de soldagem: (a) – Aproximação do termopar na peça, (b) – Procedimento de soldagem por descarga capacitiva e (c) – Resultado da solda do termopar na peça.

Com o termopar devidamente fixado, este foi conectado por meio de cabos elétricos ao multímetro. Durante o processo de aplainamento a ferramenta entra em contato com a peça e cisalha o material juntamente com o termopar (o termopar é destruído). A Figura 6 mostra a destruição do termopar durante o processo de aplainamento.

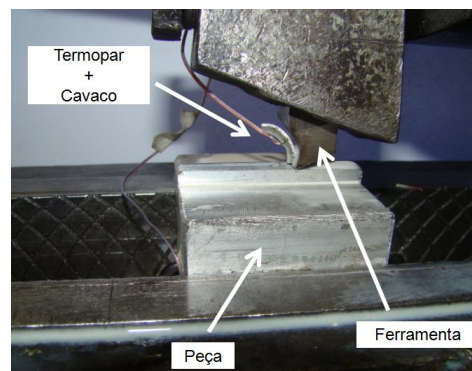


Figura 6 – Medição da temperatura durante o processo de aplainamento.

Após o processo de aplainamento, o termopar é destruído da peça junto com o cavaco. A Figura 7 mostra o cavaco junto o termopar após a usinagem.

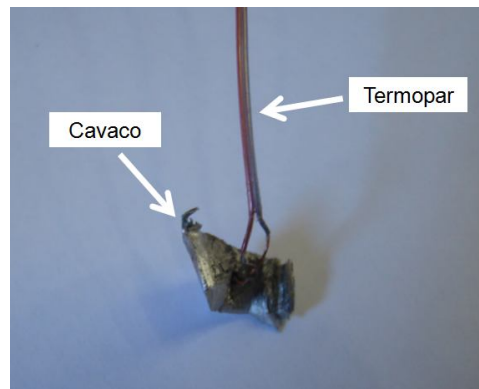


Figura 7 – Amostra do cavaco junto com o termopar.

As ferramentas utilizadas na usinagem foram bits de aço rápido. A montagem da ferramenta no suporte possibilitou a seguinte geometria: $\gamma_o = 35^\circ$; $\alpha_o = 13^\circ$; $\chi_r = 90^\circ$, $\chi'_r = 0^\circ$ e $\lambda = 0^\circ$.

Durante os testes de aplainamento, o número de golpes foi variado de 12, 18 e 25 golpes/minutos. Uma placa de aquisição de sinais Agilent 34970A foi utilizado para medição da temperatura de usinagem. Este equipamento foi conectado ao computador com software adequado para leitura de sinal de temperatura. Antes de iniciar os experimentos, foram realizados testes para verificar sua calibração.

3. RESULTADOS E DISCURSSÕES

Apresentam-se agora os resultados obtidos no aplainamento do alumínio. A Figura 8 mostra o estudo do comportamento da temperatura em função do tempo para a velocidade de aplainamento de 12 golpes por minutos. Para este caso, a profundidade de corte utilizada neste experimento foi 1,5 mm. Nota-se que quando a ferramenta entra em contato com a peça, a temperatura se eleva bruscamente (ponto 'C'). Após o corte do material, a região de corte resfria até a temperatura ambiente (trecho CD).

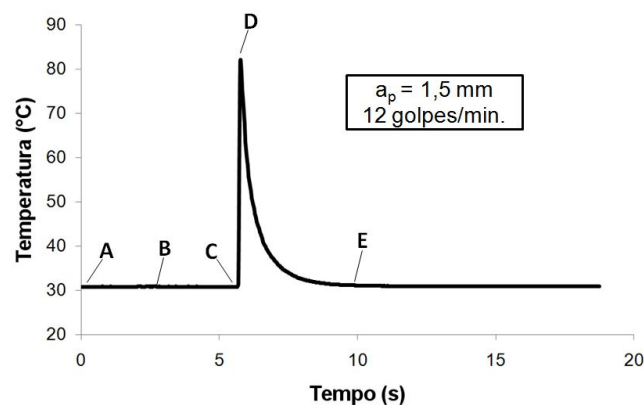


Figura 8 – Comportamento da temperatura em função do tempo para a velocidade de 12 golpes/minuto.

Os trechos representados na Figura 8 podem ser assim explicados:

Trecho AB – A ferramenta não entrou em contato com a peça;

Trecho BC – A ferramenta entra em contato com a peça, porém não atinge a região próxima ao termopar;

Trecho CD – A temperatura se eleva bruscamente devido o contato da ferramenta com a peça na região próxima ao termopar;

Trecho DE – O cavaco resfria naturalmente ao ar (o termopar é arrancado junto com o cavaco).

A Figura 9 mostra o estudo do comportamento da temperatura em função do tempo para a velocidade de aplainamento de 18 golpes por minutos. A profundidade de corte utilizada neste experimento foi 1,5 mm. Note que o comportamento desta curva é semelhante ao da Figura 8.

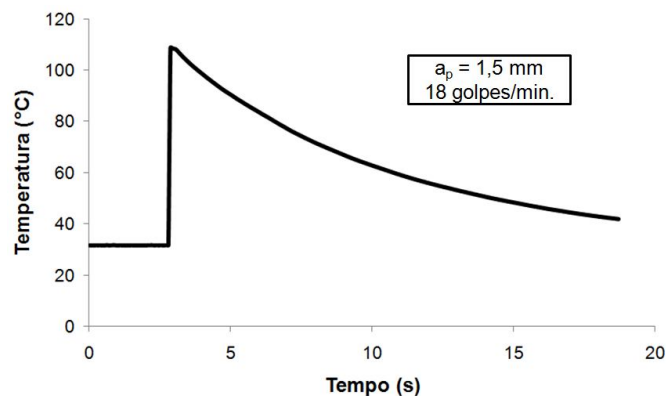


Figura 9 – Comportamento da temperatura em função do tempo para a velocidade de 18 golpes/minuto.

A Figura 10 mostra o estudo do comportamento da temperatura em função do tempo para a velocidade de aplainamento de 25 golpes por minutos. A profundidade de corte utilizada neste experimento também foi de 1,5 mm. Note que o comportamento desta curva é semelhante ao das Figuras 8 e 9.

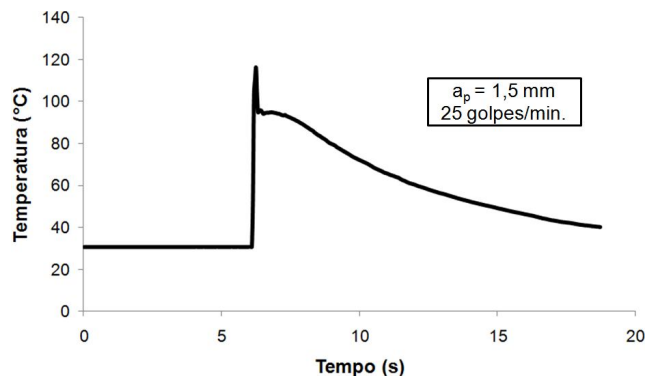


Figura 10 – Comportamento da temperatura em função do tempo para a velocidade de 25 golpes/minuto.

A Figura 11 mostra o estudo do comportamento da temperatura em função do tempo para a velocidade de aplainamento de 35 golpes por minutos. A profundidade de corte utilizada neste experimento também foi de 1,5 mm.

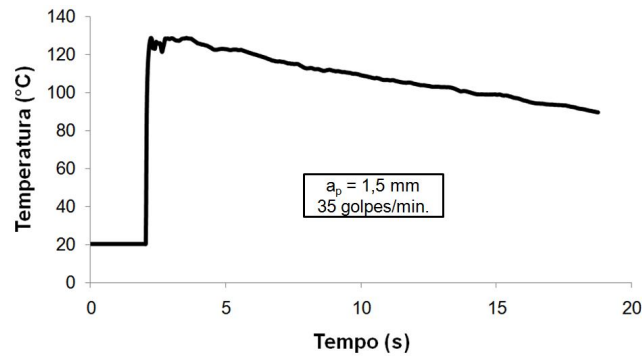


Figura 11 – Comportamento da temperatura em função do tempo para a velocidade de 35 golpes/minuto.

A Figura 12 mostra a influencia da temperatura versus tempo para a velocidade de aplainamento de 12 golpes por minutos e profundidade de corte 1,5 mm. Note que há uma redução significativa na temperatura quando se utiliza fluido de corte durante a usinagem. Segundo Machado et al. (2009), a redução da temperatura é devido o fluido de corte reduzir a área de contato na interface cavaco-ferramenta, diminuindo, dessa forma, a zona de aderência na superfície de saída do cavaco.

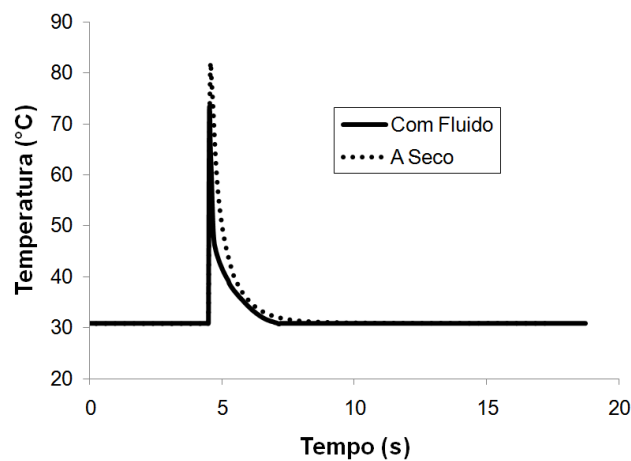


Figura 12 – Influência do fluido de corte na temperatura para velocidade de aplainamento de 35 golpes por minutos e profundidade de corte 1,5 mm.

A Figura 13 mostra a comparação das curvas da temperatura em função do tempo para as quatro diferentes velocidades de corte (12, 18, 25 e 35 golpes/min.) para a mesma profundidade de corte ($a_p = 1,5$ mm). Note que a velocidade de corte de 35 golpes/min foi a que atingiu a maior a temperatura. Neste caso, o aumento da velocidade de corte gerou um aumento na velocidade de escoamento do cavaco e, conseqüentemente, ocasionou um aumento significativa da temperatura sobre a superfície de saída da ferramenta (NOUARI et al, 2005).

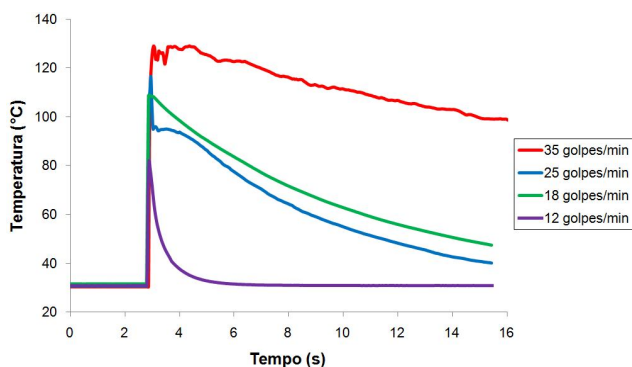


Figura 13 – Comparação entre as curvas de temperaturas para diferentes velocidades de corte.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho realizou um estudo do comportamento da temperatura na usinagem do alumínio puro. Foi avaliado a influencia da velocidade de corte. Um termopar tipo ‘T’ foi fixado na peça por soldagem de descargas elétricas. Durante o aplainamento, o termopar registrava a temperatura de corte através de um multímetro.

Os resultados mostraram que a maior temperatura foi alcançada quando se utilizou a maior velocidade de corte (35 golpes/min.). A curva da temperatura registrou uma elevação brusca quando a ferramenta cisalhou o material.

O fluido de corte foi eficaz na redução da temperatura, atuando de forma à reduzir a área de contato na interface cavaco-ferramenta e fazendo com que o cavaco escoasse com mais facilidade.

5. REFERÊNCIAS

Carvalho, S.R.; Silva, S.M.M.L.; Machado, A.R.; Guimarães, G., **”Temperature Determination at the Chip-Tool Interface Using an Inverse Thermal Model Considering the Tool and the Tool Holder”**, Journal of Materials Processing Technology, Vol 179, 2006, pp 97 – 104.

- Lima, F.R.S.; Machado, A.R.; Guimarães, G.; Guths, S., **“Numerical and Experimental Simulation for Heat Flux and Cutting Temperature Estimation Using Three-Dimensional Inverse Conduction Technique”**, Inverse Problems in Engineering, vol. 8, 2000, pp 553-577
- Nouari M., List G., Gehin D., Gomez B., Manaud J., **“Wear behaviour of cemented carbide tools em dry machining of aluminum alloy”**., França, 2005.
- Machado, A.R.; e Da Silva, M.B. ; Coelho, R. T; Abrão, A. M.- **“Teoria da Usinagem dos Materiais”** 1ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009.
- Marcondes, F.C., Diniz, A.E., Coppini, N.L., **“Tecnologia da Usinagem dos Metais”**, 4ªed., Editora Artliber, São Paulo, 2003.
- Melo, A.C.A.; Machado, A.R.; Silva, S.M.M.L.; Guimarães, G., **“Estudo da Variação da Temperatura de Corte no Fresamento Frontal”**, 2º COBEF, Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Uberlândia - MG, 18 a 21 de maio de 2003, Anais em CD – ROM, paper COF03-0813.
- Nouari M., List G., Gehin D., Gomez B., Manaud J., **“Wear behaviour of cemented carbide tools em dry machining of aluminum alloy”**., França, 2005.
- Ribeiro, L.O.; Da Silva, R.B.; Machado, A.R., **“Comportamento da Temperatura na Interface Cavaco-Ferramenta sob Diferentes Condições de Corte”**, 8º Colóquio de Usinagem, PUC-MG, Belo Horizonte, 31.05.2002, Anais em CD-ROM.
- Suarez, M.P.; Costa, E.S.; Machado, A.R., **“Influência dos Parâmetros de Corte no Acabamento de Canais em Alumínio Aeronautico 7075-T7”**, V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM, 25 a 28 de agosto de 2008, Salvador – BA. Anais em CD ROM – Artigo CON08-0317, 10 pags.
- Suarez, M.P.; Costa, E.S.; Machado, A.R.; Abrão, A.M., **“Precisão Dimensional em Canais Usinados na Liga de Alumínio 7075 – T7”**, V Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 14 a 17 de Abril de 2009, Belo Horizonte, MG, Anais em CD Rom, Artigo: 011072262, 7 pgs.
- Trent, E.M.; Wright, P. K., **“Metal Cutting”**, 2ª ed., Butterworth-Heinemann, Woburn, USA, 2000.