

## UM BREVE ESTUDO SOBRE A TEMPERATURA DE CORTE NA FURAÇÃO DA LIGA AL7075

Guilherme Lopes Brandão, [gui.lopes.brandao@gmail.com](mailto:gui.lopes.brandao@gmail.com)<sup>1</sup>

Carlos Henrique Lauro, [carloslauro@ufs.br](mailto:carloslauro@ufs.br)<sup>1</sup>

Lincoln Cardoso Brandão, [lincoln@ufs.br](mailto:lincoln@ufs.br)<sup>1</sup>

Robson Bruno Dutra Pereira, [robsondutra@ufs.br](mailto:robsondutra@ufs.br)<sup>1</sup>

João Paulo Davim, [pdavim@ua.pt](mailto:pdavim@ua.pt)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Inovação em Manufatura Sustentável – Universidade Federal de São João del-Rei – Praça Frei Orlando, 170 – Centro – São João del-Rei – MG – CEP 36307-352

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade de Aveiro – Campus Santiago – 3810-193 – Aveiro – Portugal

**Resumo.** A definição dos parâmetros de corte é uma das mais árduas tarefas do processo de furação, pois podem influenciar no tempo de vida da ferramenta, qualidade da superfície usinagem, custo e várias outras respostas que podem ser analisadas. A temperatura de corte é uma dessas respostas que deve ser considerada na definição dos parâmetros de corte, pois, embora não afete a produtividade do processo, impacta na qualidade da superfície usinada, por exemplo. Assim, observar o comportamento da temperatura sem impactar na produtividade é uma lacuna no processo de furação. Para contribuir com a questão, este trabalho desenvolveu um modelo, usando o método de elementos finitos (FEM), para a furação da liga de alumínio 7075. Comparou-se a temperatura na zona de cisalhamento entre condições de furação variando os parâmetros, mas mantendo a taxa de remoção de material. Os resultados apontam que não há uma diferença elevada na temperatura de corte quanto mantida a taxa de remoção de material.

**Palavras-chave:** Furação, Liga Al-7075, Método de Elementos Finitos, Temperatura.

**Abstract.** The cutting parameters setting is one of the most arduous tasks in the drilling process, as it can influence tool life, machining surface quality, cost and several other responses that can be analyzed. The cutting temperature is one of these responses that must be considered when defining the cutting parameters, because, although it does not affect the productivity of the process, it impacts the quality of the machined surface, for example. Thus, observing the temperature behavior without impacting productivity is a gap in the drilling process. To contribute to the issue, this work developed a model, using the finite element method (FEM), for the drilling of aluminum alloy 7075. The temperature in the shear zone was compared between drilling conditions varying the parameters, however, the material removal rate was kept. The numerical experiments indicated that there is not a high difference in the cutting temperature when the material removal rate is maintained.

**Keywords:** Drilling, Al 7075 alloy, Finite Element Method, Temperature

### 1. INTRODUÇÃO

Dentro da indústria manufatureira, o principal processo de usinagem é a furação. No meio industrial, o processo de furação tem quase mesma utilização que o torneamento e o fresamento juntos, 30% contra 20% e 16%, respectivamente (MOTORCU, KUŞ e DURGUN, 2014). Na indústria aeronáutica, pode-se destacar o grande interesse na furação de ligas de alumínio devido a relação peso resistência mecânica.

Na literatura, é possível encontrar diversos estudos para melhoria da produtividade no processo de furação. Aamir *et al.* (2020) analisaram a usinabilidade na furação de diferentes ligas de alumínio utilizando um cabeçote para múltiplas ferramentas. Este dispositivo foi montado em uma fresadora CNC e permite realizar três furos simultaneamente com o ajuste facilmente alterado, se necessário. Entretanto, métodos que possibilitem a redução do tempo de corte são mais objetivados por apresentarem menores necessidades de adaptação e recursos de máquina. Há um constante desenvolvimento do material e/ou coberturas de ferramentas para possibilitar o aumento da velocidade de corte e de avanço.

Na furação profunda da SAE 4144M, Polli e Cardoso (2018) observaram que a menor velocidade de corte e maior avanço resultaram no melhor formato do cavaco e baixa temperatura na peça. Assim, a alta taxa de alimentação pode levar a resultados benéficos na perfuração profunda na liga de titânio. Pacheco *et al.* (2019) estudaram a furação com alto

avanço na liga de alumínio 2011. Os autores perceberam que em alguns casos houve uma melhoria nas respostas de rugosidade, indicando que o processo pode ser interessante industrialmente por reduzir o tempo do processo. Entretanto, os autores ressaltam a dificuldades na realização dos experimentos devido à máquina. Biermann e Iovkov (2015) observaram a viabilidade do alto avanço na furação profunda de ligas de alumínio, em que a entrada de calor na peça diminuiu significativamente quando os valores de avanço aumentaram.

Como os processos de furação e rosqueamento podem ser caracterizados por dificuldades específicas, como a saída de cavaco e a dispersão de calor, por exemplo, as técnicas de instrumentação pode não ser indicadas para estudos de temperaturas nesses processos. Assim, o Método de Elementos Finitos (*Finite Elements Method* - FEM) pode ser utilizada como uma técnica que adequar a um melhor entendimento de fenômenos, como a temperatura, que ocorrem durante os processos de furação e rosqueamento.

Davoudinejad e Tosello (2017) desenvolveram uma modelo para estudar a furação na liga de alumínio 2024-T3 com brocas de duas e quatro arestas. Segundo os autores, o FEM pode permitir uma melhor observação das prioridades e melhor confiabilidade para avaliar a força de avanço e formação de cavacos. Quando compararam os resultados experimentais e numéricos, o desvio entre os resultados foi de aproximadamente 20%.

Na furação da liga de alumínio Al7075, Uzun (2016) empregou um modelo tridimensional para estudar a força de avanço, torque e as tensões na broca. Quando comparados os resultados experimentais e numéricos, o autor observou aproximação entre 80% e 90% para as forças de avanço e entre 83% e 93% nas geometrias do cavaco.

Carvalho *et al.* (2020) destacam entre as técnicas de usinagem inteligente modelos de inteligência artificial e o uso do FEM. Entretanto, embora o FEM seja uma técnica comumente aplicada para desenvolvimento de produtos, ainda há grandes lacunas que desmotiva a utilização na usinagem, muitas vezes devidos as complexidades dos processos de usinagem. Arrazola *et al.* (2013) enfatizam a necessidade de esforços contínuos para a modelagem dos processos de usinagem. A aproximação entre os ensaios numéricos e experimentais dependem da exatidão dos equipamentos utilizados no monitoramento (ASTAKHOV; OUTEIRO, 2008).

Este trabalho analisou a temperatura de corte durante a furação da liga de alumínio 7075. Observou-se a diferença de temperatura, mantendo a taxa de remoção de material, para a variado a da rotação ou da velocidade de corte quando variado o diâmetro da ferramenta. O objetivo foi observar o comportamento da temperatura de corte sem impactar na produtividade do processo.

## 2. METODOLOGIA

Para o desenvolver dos ensaios numéricos, o software Deform<sup>TM</sup> 3D Machining foi utilizado, ver Fig. 1. O material do corpo de prova foi considerado da liga de alumínio 7075. As ferramentas foram consideradas como de Carbetto de Tungstênio com revestimento de Nitreto de Titânio (TiN) de espessura de 5  $\mu\text{m}$ . A definição dos parâmetros de cortes, a variação do diâmetro da broca ( $D_{tool}$ ), velocidade de corte ( $v_c$ ) e avanço ( $f$ ) foi calculada de forma a manter a taxa de remoção de material (*Material Removal Rate* – *MRR*) fosse mantida. Também foi desejado observar a influência quando mantido a velocidade de corte e a rotação forem constantes para diâmetros diferentes. Na Tabela 1 são apresentadas as combinações dos parâmetros de corte para cada condição ensaiada.

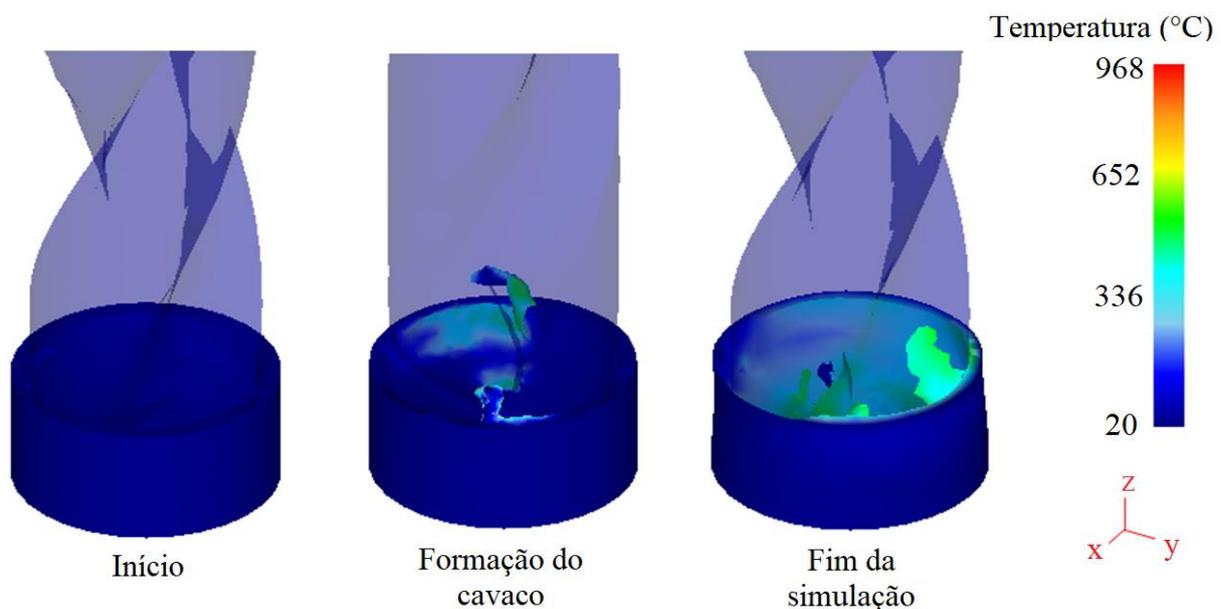


Figura 1. Geometria do corpo de prova para o estudo de furação

Tabela 1. Combinações dos parâmetros de corte empregados nos ensaios numéricos para a furação da Al7075

Ensaio	Diâmetro (mm)	Velocidade de corte (m/min)	Avanço (mm/rot)	Rotação (rpm)	Seção de corte (mm <sup>2</sup> )	Taxa de remoção de Material (mm <sup>3</sup> /min)
1	8	40	0,2000	1591,55	0,40	16000
2	8	60	0,1335	2387,32	0,27	16020
3	12	40	0,1335	1061,03	0,40	16020
4	12	60	0,0890	1591,55	0,27	16020

Foi considerado o corte a seco, empregando um coeficiente de convecção ( $h$ ) de 20 W/m<sup>2</sup>×K. Foi escolhido analisar o corte a seco devido a questões ambientais, além disso, na furação, o uso de um sistema de lubrificação que não seja o interno, fluido passando por dentro da ferramenta, pode gerar dificuldades a saída do cavaco, o que pode danificar a superfície usinada (PACHECO *et al.*, 2019). O coeficiente de atrito aplicado seguiu o modelo de Coulomb, assim foi considerado como 0,5. Para a construção do corpo de prova, foi aplicado o modelo com o pré-furo para garantir o contato de toda a resta de corte no processo, ver Fig. 2. O diâmetro do corpo de prova foi definido com 2 mm maior que o diâmetro da ferramenta e espessura para cortar de 2 mm.

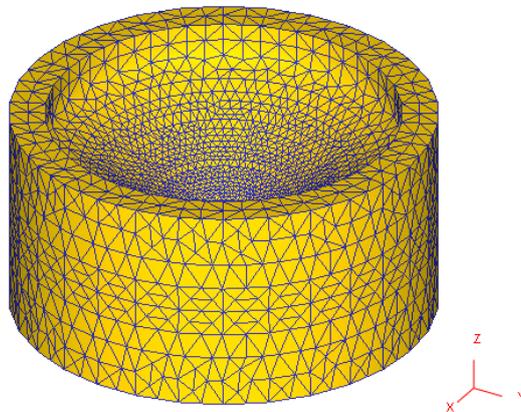


Figura 2. Geometria do corpo de prova para o estudo de furação

O tamanho da malha para o corpo de prova foi definido em função do menor valor de avanço utilizado, 0,089 mm. O tempo de simulação foi definido para corresponder a uma volta e meia da ferramenta. Para a comparação das temperaturas, os dados adquiridos foram tratados para a suavização das curvas e descartado o início da furação devido a inércia da operação, ver Fig. 3.

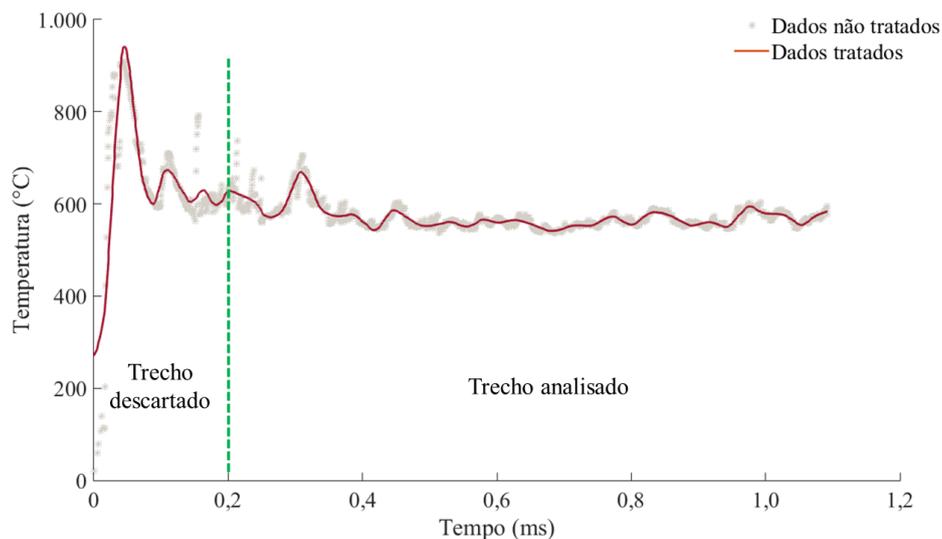


Figura 3. Exemplo do trecho analisado

#### 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Na Figura 4 são apresentados os valores obtidos nos ensaios numéricos da temperatura no corte da liga de alumínio 7075. Observou-se que com o aumento do diâmetro da broca, houve um aumento da temperatura, em média, de 7,67%. Quando comparado os furos com a broca de 8 mm, observou que a mudança dos parâmetros elevou a temperatura no corte em 5,62%. Já para a broca de 12 mm, observa-se que a mudança da condição de corte propiciou uma redução de 9,71% da temperatura de corte. Na Tabela 2 é apresentada a análise razão sinal-ruído para a furação da liga de alumínio 7075. Pela análise de Taguchi, observa-se que o diâmetro é o principal parâmetro, e a velocidade de corte e a seção de corte apresentam o mesmo impacto.

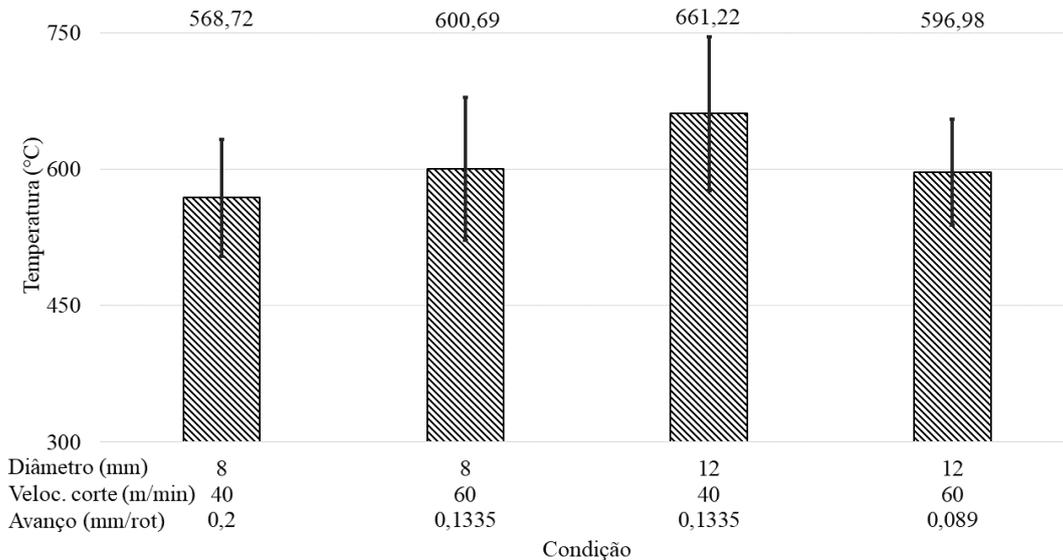


Figura 4. Valores das temperaturas de corte na furação da liga Al-7075

Tabela 2. Tabela para razão Sinal-ruído (Menor é melhor)

Nível	Diâmetro	Velocidade de corte	Seção de corte
1	-55,34	-55,75	-55,55
2	-55,96	55,55	-55,75
Delta	0,63	0,21	0,21
Rank	1	2,5	2,5

A variação do valor de temperatura cabe uma discussão sobre a escolha da combinação dos parâmetros. Embora o aumento da velocidade de corte tenha variação sobre a temperatura de corte, a variação pode não ser significativa para quando analisada a qualidade da superfície usinada. Analisando a vida da ferramenta, embora os valores de avanço sejam diferentes, a condição com velocidade de corte menor poderá fornecer um tempo de vida maior, podendo ser a ideal por aumentar a produtividade devido a redução de parada de trocas de ferramenta.

#### 5. CONCLUSÕES

Observando os resultados apresentados, pode-se observar uma aproximação dos valores de temperatura na furação da liga de alumínio 7075 quando mantida a mesma taxa de remoção. Essa informação é importante na seleção dos parâmetros, pois pode não apresentar diferença significativa na qualidade da superfície usinada, podendo ser selecionada a condição que forneça a maior vida de ferramenta.

#### 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas (ABCM) pela cooperação neste trabalho por meio da bolsa de iniciação científica fomentada. Os autores também agradecem a Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais, por fomentar o projeto APQ-01291-18.

## 7. REFERÊNCIAS

- AAMIR, M. et al. Machinability of Al2024, Al6061, and Al5083 alloys using multi-hole simultaneous drilling approach. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 9, n. 5, p. 10991–11002, 1 set. 2020.
- ARRAZOLA, P. J. et al. Recent advances in modelling of metal machining processes. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 62, p. 695–718, ago. 2013.
- ASTAKHOV, V. P.; OUTEIRO, J. C. Metal Cutting Mechanics Finite Element Modelling. In: DAVIM, J. P. (Ed.). *Machining – Fundamentals and Recent Advances*. 1. ed. London: Springer, 2008. p. 13–25.
- BIERMANN, D.; IOVKOV, I. Investigations on the thermal workpiece distortion in MQL deep hole drilling of an aluminium cast alloy. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 64, n. 1, p. 85–88, 2015.
- CARVALHO, S. R. et al. Intelligent machining methods for Ti6Al4V: A review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, p. 095440892097479, 26 nov. 2020.
- DAVOUDINEJAD, A.; TOSELLO, G. 3D Finite Element Modelling of Drilling Process of Al2024-T3 Alloy with solid tooling and Experimental Validation. (European Society for Precision Engineering and Nanotechnology - EUSPEN, Ed.) In: *17th euspen International Conference & Exhibition, Hannover. Anais... Hannover: 2017*.
- MOTORCU, A. R.; KUŞ, A.; DURGUN, İ. The evaluation of the effects of control factors on surface roughness in the drilling of Waspaloy superalloy. *Measurement*, v. 58, p. 394–408, 1 dez. 2014.
- PACHECO, R. E. R. et al. Enhancing Productivity by Means of High Feed Rate in the Drilling of Al 2011 Aluminium Alloy. *Arabian Journal for Science and Engineering*, p. 1–8, 6 jul. 2019.
- POLLI, M. L.; CARDOSO, M. J. Effects of process parameters and drill point geometry in deep drilling of SAE 4144M under MQL. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, v. 40, n. 3, p. 137, 14 mar. 2018.
- UCUN, İ. 3D finite element modelling of drilling process of Al7075-T6 alloy and experimental validation †. *Journal of Mechanical Science and Technology*, v. 30, n. 4, p. 1843–1850, 2016.

## 8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.