

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Medição da temperatura de furação no centro da ferramenta: uma abordagem experimental

Kleberson Cartolari de Souza¹, Felipe Ribeiro Toloczko²; Diego conte Ayala Penalver³; Marcos Roberto Nascimento⁴; Humber Furlan⁵

Resumo -. Pesquisas constantes sobre os processos de usinagem são realizadas, com o intuito de determinar qual a melhor condição para que se obtenha o máximo desempenho com a otimização dos recursos envolvidos. Para tal, um dos fatores determinantes é o conhecimento da temperatura real do processo. A maior concentração de energia empregada é transformada em calor devido ao cisalhamento do material, atrito e deformação plástica. Neste estudo é apresentado um método para medição da temperatura de usinagem diretamente em uma broca de metal duro modelo TAW em um processo de furação com a ausência de fluido, afim de propiciar maior severidade durante o processo. A liga utilizada para os ensaios é de uso corriqueiro para as indústrias automotivas e aeronáutica no desenvolvimento de seus produtos. O método se mostrou eficaz no sensoriamento e aquisição dos dados, com resultados condizentes aos pesquisados durante o referencial teórico.

Palavras-chave: Furação, Temperatura, Usinagem.

Abstract - Research on constant machining processes are performed in order to determine the best condition to obtain maximum performance with the optimization of the resources involved. To this objective, one of the determining factors is the knowledge of the actual process temperature. The highest concentration of energy used is transformed into heat due to shear material, friction and plastic deformation. This study presents a method for machining temperature measurement directly into a carbide drill model TAW in a drilling process in the absence of fluid in order to provide greater severity in the process. The alloy used for the tests is commonplace use for the automotive and aeronautics industries in the development of their products. The method was effective in sensing and data acquisition, with results consistent to those reported during the theoretical referencial.

Keywords: Drilling, temperature, Machining.

¹ Faculdade de Tecnologia de São Paulo, klebersoncartolari@fatecsp.br

² Faculdade de Tecnologia de São Paulo, felipe@fatecsp.br

³ Faculdade de Tecnologia de São Paulo, diegoayalapenalver@fatecsp.br

⁴ Faculdade de Tecnologia de São Paulo, marcos_roberto@fatecsp.br

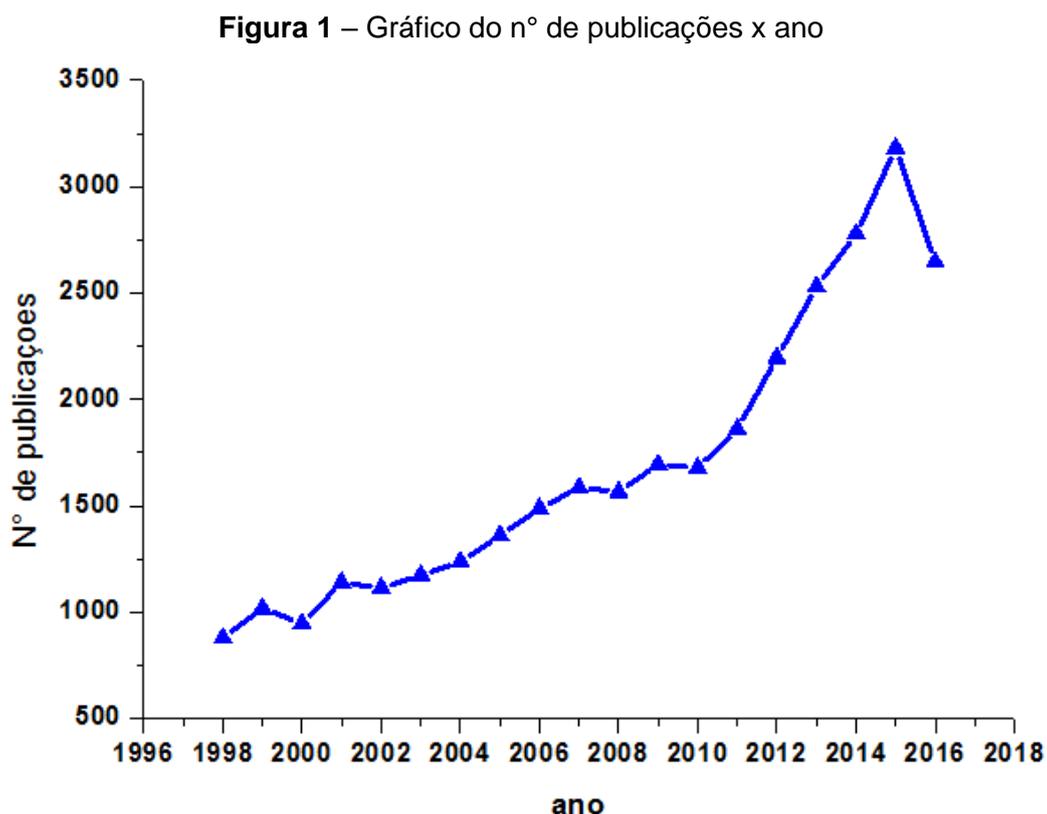
⁵ Faculdade de Tecnologia de São Paulo, humber@fatecsp.br

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.**1. Introdução**

A preocupação com o comportamento da geração de calor durante o contato da ferramenta com o material a ser usinado, é um dos fatores de grande interesse por empresas e pesquisadores da área. O monitoramento das temperaturas de usinagem se faz necessário devido à sua ação direta na aceleração dos mecanismos de desgaste das ferramentas de corte que são termicamente ativados.

Entre os processos de usinagem, a furação tem grande representatividade na fabricação de produtos para a indústria, tendo participação em cerca de 35% das operações (NOVASKI, 1996 e MACHADO, 2009).

No gráfico abaixo é possível verificar a evolução do número de publicações referente ao processo de furação ao longo dos anos a partir de 1998 segundo SCIENCE DIRECT, 2016.



Fonte: SCIENCE DIRECT, 2016.

Variáveis decorrentes dos processos de usinagem como: calor, atrito, abrasão, adesão e difusão, ocasionam aumento da temperatura e desgaste na região de corte. Assim, é necessário a pesquisa em melhorias que possam minimizar estes fatores reduzindo custos com preparação, seleção e definição

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

de parâmetros. (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2010). Baseado nesta máxima, se faz necessária a busca por novas metodologias e técnicas de medição que permitam quantificar de forma adequada estas variáveis.

Em 1994, Casto et al, afirmou que a temperatura é um fator muito importante para a investigação do comportamento das ferramentas de corte obtendo assim melhor entendimento sobre os fatores de influência na vida e desgaste das mesmas. Para Suarez et al, em 2008;2009 o aumento da temperatura tem atuação direta no controle dimensional e acabamento superficial além de reduzir forças e potencias de usinagem.

Durante o processo de furação, um dos principais problemas é atrito das arestas de corte com o material a ser usinado, resultando no aumento da temperatura (Tonshoff e Konig, 1994). A distribuição de calor do processo se divide entre a peça, a ferramenta, e a máquina, onde o cavaco normalmente é responsável pela remoção da maior parcela desta variável. A forma helicoidal da ferramenta propicia a retirada do material usinado da região de corte favorecendo a troca de calor, entretanto na região central da broca a usinagem é dificultada devido a sua geometria, onde não existe corte efetivo, resultando no esmagamento do material (Diniz, 2010).

Este trabalho tem como objetivo mensurar a temperatura de furação em uma liga de alumínio aeronáutico (2011 F) a seco, através da inserção de um termopar na região central de uma broca de metal duro, próximo a região de corte. O estudo visa verificar também, o desempenho do método utilizado para aquisição dos valores de temperatura.

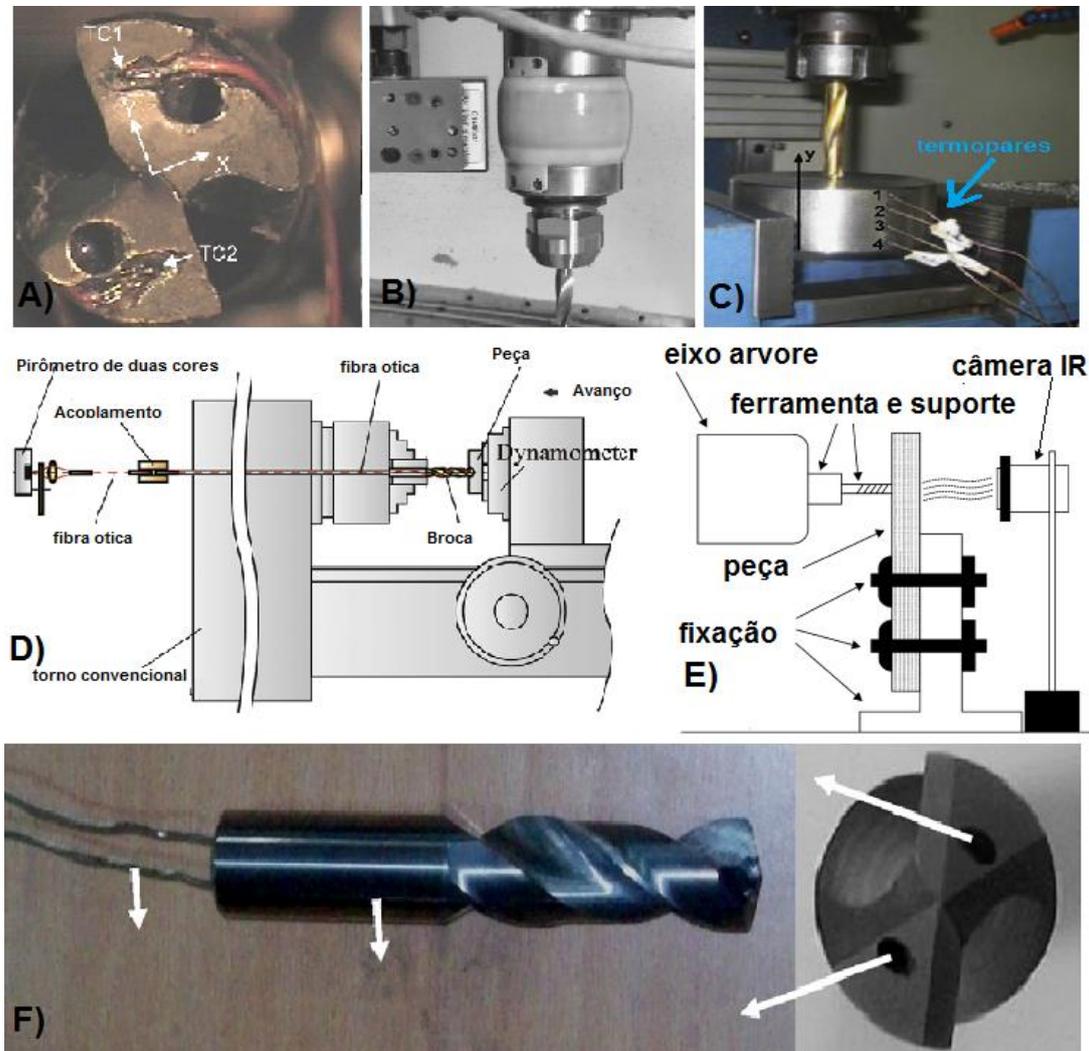
2. Referencial Teórico

A necessidade em obter informações corretas referentes a temperatura incentivou diversos pesquisadores a testar variados métodos de medição a fim de conseguir se aproximar da real temperatura durante o processo de furação. Algumas dificuldades encontradas em problemas desta natureza, como as altas temperaturas na região de análise, a dificuldade de escoamento do cavaco, altas velocidades de corte relativa entre a peça e a ferramenta são exemplos de fatores que dificultam o posicionamento adequado dos sensores de medição.

Muitos tipos de técnicas foram desenvolvidos com a finalidade de resolver estes problemas, na figura 2 é possível visualizar alguns exemplos:

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Figura 2 - Exemplos de técnicas de obtenção da temperatura no processo de furação.



Fonte: adaptado de Science Direct, 2016.

Li e Shih (2007), soldaram dois termopares em alojamentos fabricados na superfície de folga da ferramenta (fig.2a). Le Coz et al (2011), fez estudos posicionando termopares próximos a região de corte da ferramenta, onde a transmissão dos dados de temperatura foi realizada através de rádio frequência, possibilitando a medição com a ferramenta em movimento (fig.2b). Ainda em 2011, De Souza et al. fixou 4 termopares em diferentes alturas afim de obter dados para uma simulação por elementos finitos (fig. 2c). Sato et al em 2012, fez a medição da temperatura com fibra ótica em duas cores passando pelo canal de refrigeração da ferramenta (fig.2d). Cakirog e Acir (2013), optaram por posicionar dois termopares nos canais de lubrificação da ferramenta (fig.2e). Merino-Pérez et al (2014), usaram uma câmera térmica instalada na posição contrária ao sentido de furação do corpo de prova (fig.2f). Entre outras técnicas

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

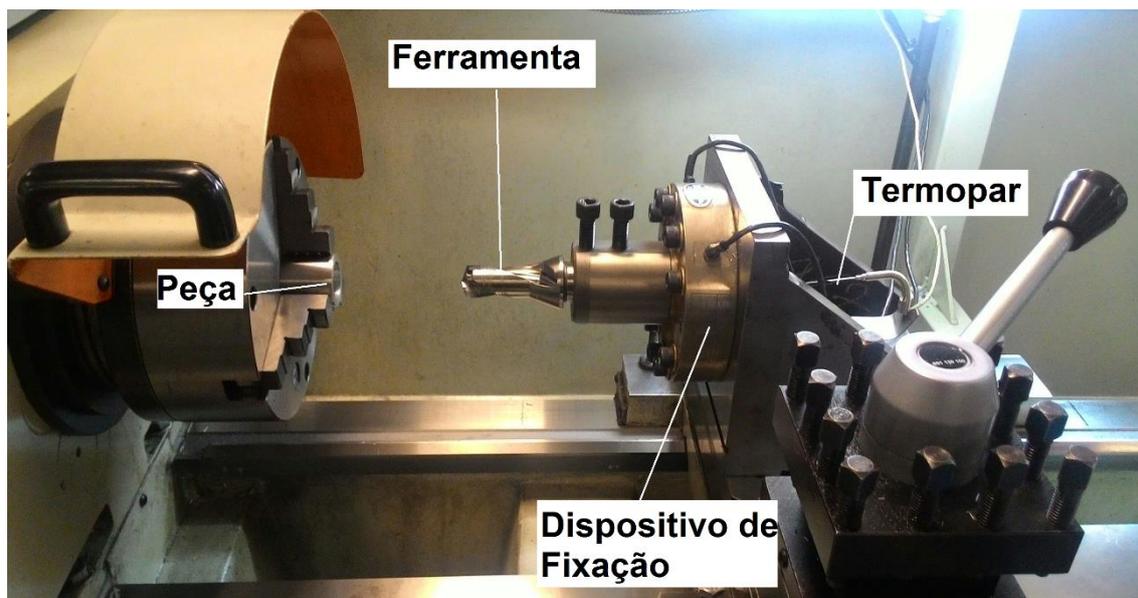
importantes a citar está a captação de dados através de sensor infravermelho, sensor por ultrassom e ensaio destrutivo de termopar.

A escolha adequada do sistema de medição é fundamental pois permite a captação de dados com maior proximidade do processo, assim para este trabalho um sistema com termopar posicionado na ferramenta foi criado, onde o mesmo encontra-se alojado na região central da broca, próximo a aresta de corte.

3. Materiais e métodos

O sistema de obtenção dos dados utilizado foi concebido com base no trabalho realizado por Cakirog e Acir (2013), com diferença apenas na área de posicionamento do sensor de temperatura. Para realização do estudo foi utilizado um torno Nardini 220 Gold uma adaptação no carro principal da máquina possibilitou a fixação da ferramenta com controle da velocidade de avanço, conforme é possível visualizar na figura 3.

Figura 3 – Dispositivo utilizado para fixação da ferramenta no torno.

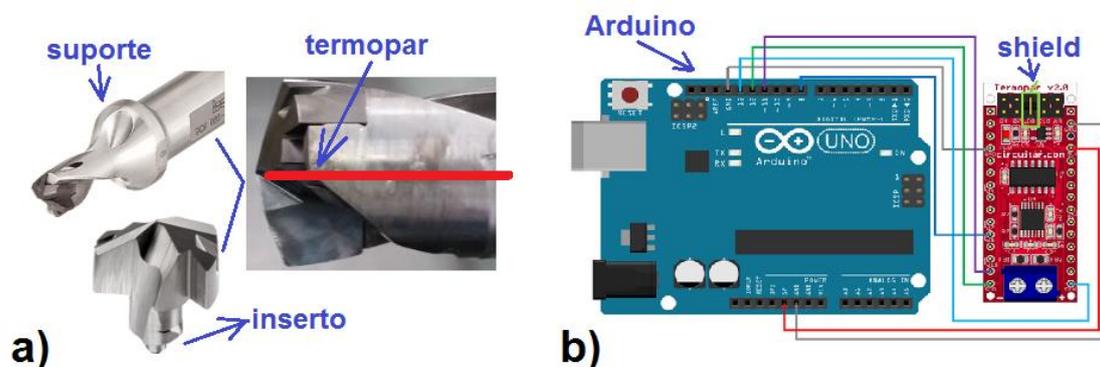


Fonte: Própria autoria.

Foi utilizada uma ferramenta de metal duro da empresa ISCAR modelo DCN 250-038-32R-1.5D / SUMOCHAM IC908, onde foi inserido um termopar no centro da pastilha através de um canal construído no suporte, conforme representado pela linha vermelha na figura 4.

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Figura 4 – a) Imagem representativa da ferramenta utilizada com adaptação do termopar e b) Sistema de aquisição com Arduino e *shield* de temperatura.



Fonte: Adaptado do catálogo ISCAR, 2016 e Circuitar, 2016.

Para a coleta das informações de temperatura foi utilizado um sistema de aquisição acoplado a uma placa *Arduino UNO*, onde um *shield* incorporado permitiu a comunicação entre o termopar e o computador.

O material ensaiado foi a liga de alumínio aeronáutico AA2011F, os corpos de prova foram preparados com as dimensões de $\varnothing 38$ mm x 38 mm, com um furo de centro para guiar a entrada da broca na peça. Na tabela 1 é possível verificar a composição química do material.

Tabela 1 – Análise de espectrometria da liga AA2011F.

Elementos	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Pb	Al
%	0,26	7,13	0,01	0,57	0,01	0,41	Balanco

Fonte: Própria autoria.

Para os ensaios realizados foram escolhidos parâmetros aleatórios a fim de verificar o desempenho do método proposto, os valores podem ser vistos na tabela 2, conforme segue:

Tabela 2 – Rotações e avanços utilizados no trabalho.

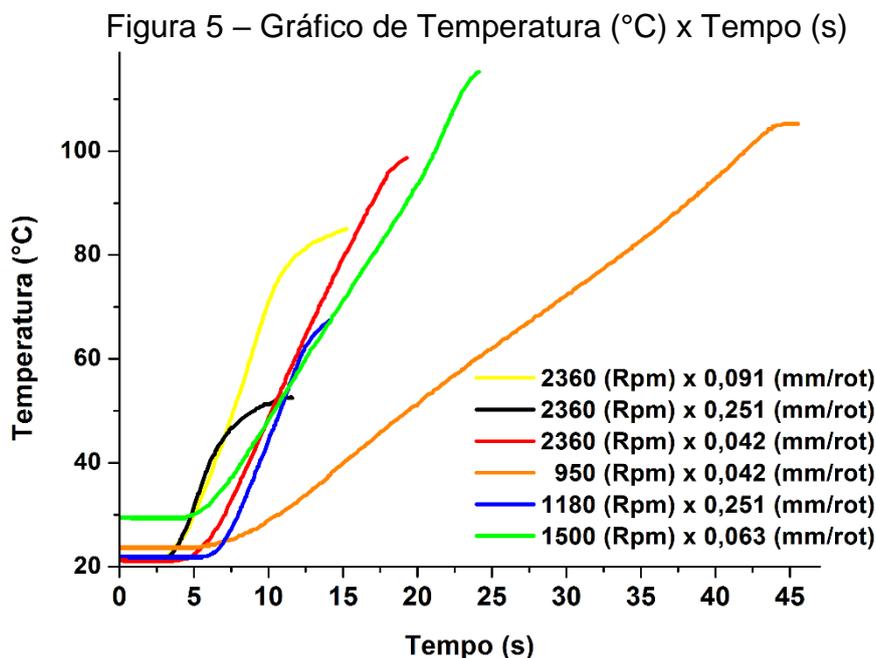
Ensaio	Rotação do eixo arvore (rpm)	Avanço da ferramenta (mm/rot)
E1	2360	0,091
E2	2360	0,251
E3	2360	0,042
E4	950	0,042
E5	1180	0,251
E6	1500	0,063

Fonte: Própria autoria.

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.**4. Resultados e Discussão****4.1 Comportamento da temperatura**

Através do sistema de ensaio criado foi possível estudar o comportamento da temperatura em relação ao método de aquisição proposto. Gráficos foram construídos para relacionar o tempo e permitir avaliar a evolução da temperatura e o seu valor máximo.

Na figura 5 é representado um gráfico da temperatura x tempo:

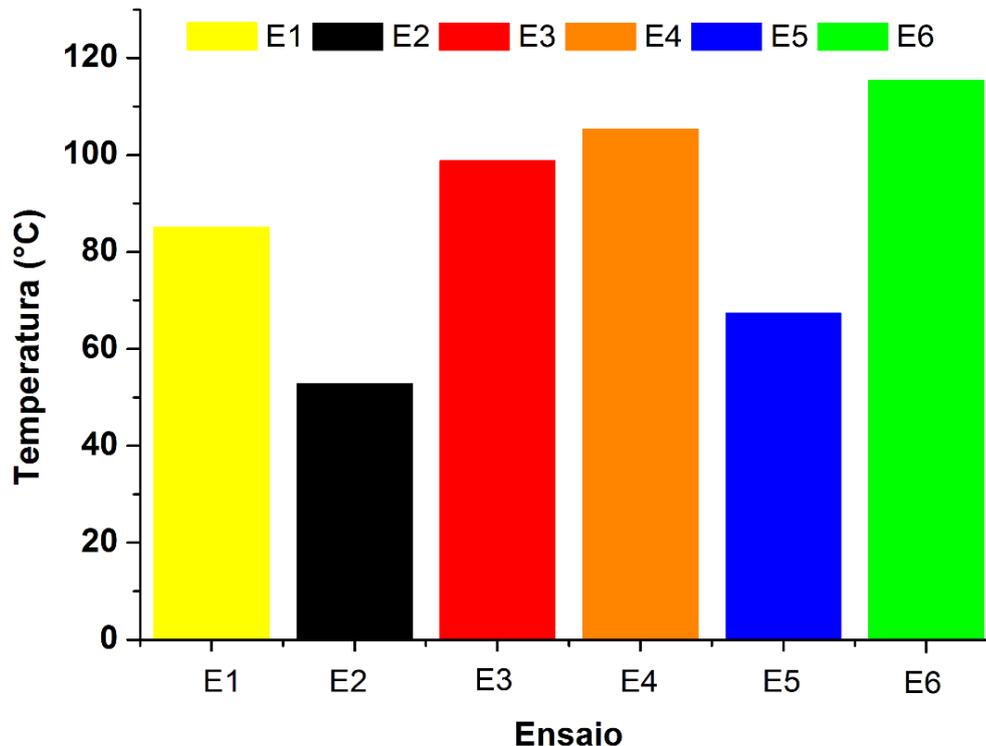


O gráfico da figura 5 revela os resultados adquiridos através do método de medição proposto. Com a variação dos parâmetros de usinagem, é possível verificar a diferença da inclinação que indica a taxa de crescimento da temperatura. O ensaio da combinação 2360 (rpm) x 0,091 (mm/rot.), apresentou o maior aumento da temperatura com o menor tempo, entretanto a condição com o rpm de 2360 e avanço de 0,042 (mm/rot.), com uma taxa similar a curva na cor preta revelou uma temperatura superior ao final do percurso de usinagem. Isto pode indicar que existe uma relação entre o aumento da temperatura e o avanço. Outro ponto a destacar é referente a combinação do par 950 (rpm) x 0,042 (mm/rot.), onde observa-se que existe uma relação de influência da rotação com a taxa de aumento da temperatura, apresentando um tempo maior para atingir a temperatura de pico em relação as outras curvas.

Com o objetivo de relacionar o efeito da temperatura máxima atingida durante os ensaios com as variáveis utilizados um gráfico de barras foi criado, conforme visualizado na figura 6.

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Figura 6 – Gráfico de barras da relacionando a temperatura de pico com os parâmetros de ensaio.



Fonte: Própria autoria.

Observando as variáveis na figura 6 nota-se que a maior temperatura alcançada foi a de E6 referente aos parâmetros de 1500 rpm e 0,063 mm/rot, no entanto na figura 5, verifica-se que a temperatura inicial foi maior que das outras variáveis, indicando uma influência neste resultado. Isto pode ser explicado devido a um aquecimento residual do ensaio anterior, apontando uma necessidade de intervalo maior entre ensaios desta natureza. Analisando os ensaios E3 e E4 onde as condições possuem mesmo avanço e rotações diferentes um diferença menor entre a temperatura máxima em relação a um comparativo entre os ensaios E1 e E2, onde o avanço foi variado e mantida a mesma rotação. Este é um fator importante pois pode indicar que existe uma maior influência do avanço no aumento da temperatura máxima em relação a rotação. A combinação entre a rotação constante de 2360 rpm e o menor avanço entre E1, E2 e E3, mostrou a maior temperatura atingida ao final do percurso de usinagem.

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Figura 7 – Cavacos removidos durante os ensaios



Fonte: própria autoria

A figura 7 demonstra os cavacos removidos durante os ensaios, verifica-se que estes apresentam formas alternadas entre fita e lascas ou pedaços. Destaca-se o ensaio 5 onde o cavaco teve forma de fita durante todo o ensaio. No geral observa-se que houve uma maior presença de cavaco na forma de fita com a redução de rotação em comparação os ensaios para E1, E2, E3 com E4, E5 e E6, o avanço não apresentou influência perceptível para os ensaios realizados.

5. Considerações finais

Com base nas análises realizadas é possível concluir para a liga AA2011F:

- O método de medição com termopar posicionado no centro da broca apresentou resultados interessantes, possibilitando verificar a evolução da temperatura durante o processo de furação.
- A inclinação das curvas de temperatura em função do tempo foi pouco influenciada pelo parâmetro de avanço.
- O avanço de usinagem revelou ser um parâmetro mais influente na temperatura máxima em relação a rotação de trabalho.
- A diminuição da rotação de usinagem resulta na tendência da produção de mais cavacos na forma de fita.

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.**6. Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Laboratório de Usinagem da Faculdade de Tecnologia de São Paulo e a empresa ISCAR Brasil Ferramentas de Corte pelo apoio na realização deste trabalho.

7. Referências

- ÇAKIROĞLU, R.; ACIR, A. Optimization of cutting parameters on drill bit temperature in drilling by Taguchi method. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, v. 46, n. 9, p. 3525–3531, 2013.
- DE SOUSA, P. F. B. et al. Estimation of heat flux and temperature field during drilling process using dynamic observers based on Green's function. *Applied Thermal Engineering*, v. 48, p. 144–154, 2012.
- Diniz, A.E., Marcondes, F.C., Coppini, N.L. *Tecnologia da Usinagem dos Materiais*. Editora Artliber, 7ª ed., 2010.
- LE COZ, G. et al. Measuring temperature of rotating cutting tools: Application to MQL drilling and dry milling of aerospace alloys. *Applied Thermal Engineering*, v. 36, n. 1, p. 434–441, 2012.
- Machado, A.R., Abrão, A.M., Coelho, R.T., Silva, M.B., *Teoria da Usinagem dos Materiais*, Editora Blucher 1ª ed., 2009
- MERINO-PÉREZ, J. L. et al. On the temperatures developed in CFRP drilling using uncoated WC-Co tools Part I: Workpiece constituents, cutting speed and heat dissipation. *Composite Structures*, v. 123, p. 161–168, 2015.
- Novaski, O. *Contribuições ao processo de Furação com Brocas Helicoidais*. Texto de Livre Docência apresentado à UNICAMP, 1996.
- SATO, M. et al. Variation of temperature at the bottom surface of a hole during drilling and its effect on tool wear. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 68, p. 40–47, 2013.
- LI, R.; SHIH, A. J. Spiral point drill temperature and stress in high-throughput drilling of titanium. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 47, n. 12-13, p. 2005–2017, 2007.
- Suarez, M.P.; Costa, E.S.; Machado, A.R., “Influência dos Parâmetros de Corte no Acabamento de Canais em Alumínio Aeronautico 7075-T7”, V CONEM, 2008.
- Suarez, M.P.; Costa, E.S.; Machado, A.R.; Abrão, A.M., “Precisão Dimensional em Canais Usinados na Liga de Alumínio 7075 – T7”, V COBEF, 2009.
- Tönshoff, H. k., Spintig, W. König, W., Neises. A. *Machining of Holes Developments in Drilling Technology*. CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 43, Issue 2, Pg. 551-561, 1994