

DISPOSITIVO PARA MEDIR A FORÇA TANGENCIAL DE CORTE NO PROCESSO DE FURAÇÃO

Karla Cristina Rodrigues Pereira

Edison Gustavo Cueva

Universidade de Brasília, Faculdade UnB Gama, Brasília – DF.

karla.crpereira@gmail.com, cueva@unb.br

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo principal, projetar e construir um dispositivo (de fácil manuseio e baixo custo) que acoplado a uma furadeira de bancada, permite medir a força tangencial de corte desenvolvida durante o processo de furação de metais. O estudo aborda a eficiência do processo de furação considerando: parâmetros de corte, material da broca, diâmetro da broca, material usinado, fluido de corte e temperatura alcançada no processo. Os testes analisaram a influência dos três fluidos de corte na força tangencial de corte, na profundidade alcançada num determinado tempo e na temperatura atingida durante o processo. Durante os testes, corpos de prova de alumínio 6063-T5 foram usinados com uma broca helicoidal de aço rápido (ponta de Titânio). Os ensaios de furação foram realizados: sem lubrificação (a seco) e, outros três, lubrificados com fluido de corte (óleo mineral solúvel), água e óleo lubrificante sintético (SAE 5W40). Os ensaios tiveram uma duração de 20 segundos cada, velocidade de rotação da broca de 650 rpm e força normal de 3,5 Kgf. No decorrer dos ensaios foi possível medir em tempo real a força tangencial de corte e a temperatura do corpo de prova, num local próximo ao furo. Após os ensaios foram calculados os coeficientes de atrito e medidas as profundidades alcançadas sob cada condição de furação. Os resultados mostraram que o dispositivo construído cumpriu as expectativas, propostas neste trabalho. Como esperado, o uso de fluidos de corte, reduziu significativa a força tangencial de corte quando comparada com os ensaios realizados a seco. Notou-se também, que para as condições exploradas neste trabalho, os fluidos de corte não apresentaram uma notada influência na força de corte, quando comparados entre si. Entretanto, a profundidade de furação foi expressivamente maior quando foi usado o óleo mineral solúvel comparada com outros fluidos. O método de avaliação de forças tangenciais, desenvolvido neste trabalho, possibilita a ampliação dos bancos de dados sobre o assunto, que na maioria dos casos considera extensivamente o processo de torneamento.

Palavras-chave: Processo de Furação. Fluidos de corte. Força tangencial de corte. Dispositivo para medir a força tangencial.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Ferraresi (1977) e Neves (2013), na indústria metal-mecânica, a produtividade e a qualidade de um processo de usinagem dependem de vários fatores, tais como: a usinabilidade dos materiais, a potência e rigidez de máquinas e equipamentos, as ferramentas de corte, a morfologia do cavaco, a lubrificação e a refrigeração.

A furação é um dos processos de usinagem mais complexos, devido à dificuldade em se conhecer as forças envolvidas no processo, derivado da complexidade da ferramenta de corte. A broca é responsável pela produção do furo e a retirada do cavaco ao mesmo tempo. Segundo Sousa (2011), a formação de cavaco dentro do furo também dificulta o escoamento do fluido de corte, impossibilitando o perfeito resfriamento do material e lubrificação do processo.

Dada a frequência em que o processo é utilizado torna-se necessário conhecer as forças de corte e como elas atuam, o que possibilita estimar a potência necessária para a realização do corte, determinar o melhor regime de lubrificação e a velocidade de corte para cada material, além de contribuir para a construção de máquinas-ferramenta. Devido à dificuldade de medição das forças envolvidas no processo de furação, são utilizados equipamentos muito específicos e caros chamados dinamômetros estacionários, como o utilizado por Neves (2013) na aquisição da força e do torque de usinagem em corpos de prova de aço ABNT 1045.

O presente trabalho teve como objetivo principal, projetar e construir um dispositivo (de fácil manuseio e baixo custo) que acoplado a uma furadeira de bancada, permita medir a força tangencial de corte desenvolvida durante o processo de furação de metais. Procurou-se realizar ensaios em que fosse possível obter as forças atuantes e a temperatura alcançada durante a furação, em função do fluido de corte; considerando a profundidade dos furos e as marcas deixadas na superfície interna deles. Um estudo que relacione os diversos fatores que influenciam no processo de furação pode contribuir para o desenvolvimento e melhoria de novas ferramentas de corte e máquinas-ferramenta. Além disso, este método de avaliação possibilita a ampliação dos bancos de dados sobre o assunto, que na maioria dos casos considera o processo de torneamento.

2. PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM DISPOSITIVO PARA MEDIR FORÇA TANGENCIAL DE CORTE

O projeto consistiu, inicialmente, de uma adaptação no sistema de aplicação de carga normal de uma furadeira de bancada, como é mostrado esquematicamente na Fig.1, e da construção de um dispositivo que acoplado à mesa da furadeira permitiu realizar a medição da força tangencial de corte (Fig. 2).

A adaptação realizada na furadeira de bancada, Marca: KONE Modelo: KMB-32 (Fig. 1), consistiu na substituição da alavanca de aplicação de carga por uma polia de 25 mm de diâmetro acoplada a um peso morto de 2,5 kg. Usando a alavanca e o peso morto foi observado que, dependendo da inclinação da alavanca é gerada na ponta da broca uma força normal que varia de 190 N, quando a alavanca está na posição horizontal (início da furação do corpo de prova); 100 N quando a alavanca tem uma inclinação de aproximadamente 30° (ao final da furação do corpo de prova de 12 mm de espessura) e 0 N quando a alavanca está na posição vertical. Com o uso da polia e o peso morto a força normal, na ponta da broca, permaneceu constante em 170 N durante todo o processo de furação.

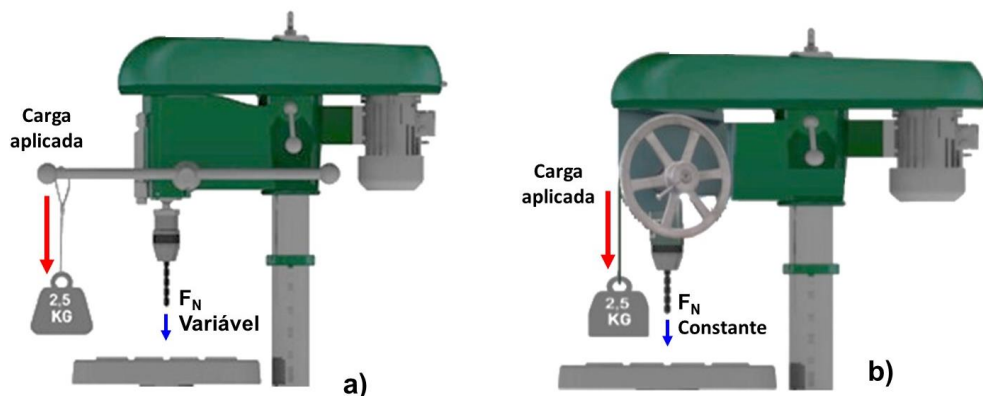


Figura 1. Furadeira de bancada. a) Alavanca de aplicação de carga que gera uma força normal variável na ponta da broca. b) Polia de aplicação de carga que gera uma força normal constante na ponta da broca.

O dispositivo de medição de força tangencial consiste de uma base giratória (com um rolamento acoplado na parte inferior) que giraria juntamente com a broca durante o processo de furação, entretanto, o giro da base foi restringido por meio da instalação de uma célula de carga (5 N de capacidade) que permite medir a força tangencial de corte em tempo real, como mostrado na Fig. 2.

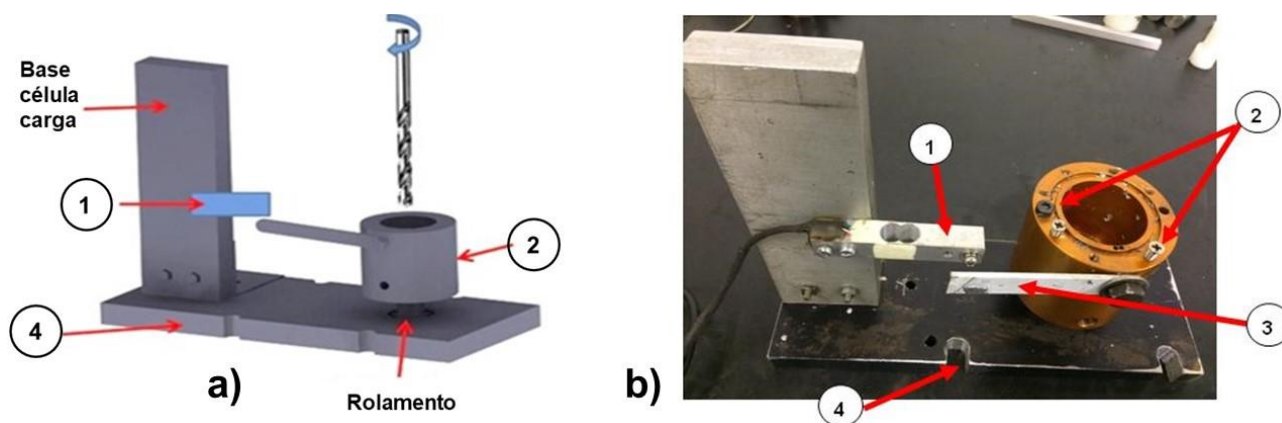


Figura 2. a) Projeto em 3D do dispositivo e b) arranjo final real

No decorrer dos ensaios, foi adquirida também a temperatura na superfície do furo. A medição foi feita por meio de um termopar tipo K, inserido na lateral do corpo de prova, conforme é mostrado esquematicamente na Fig. 3.

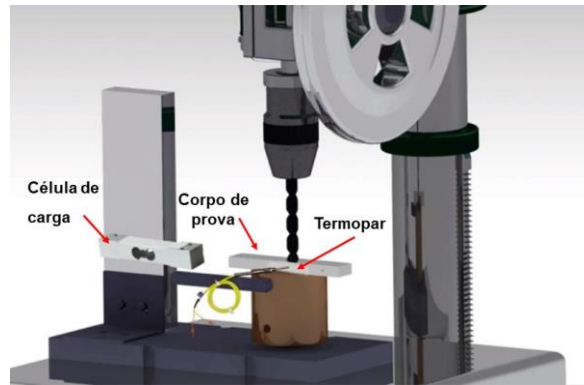


Figura 3. Montagem dos ensaios de medição da força tangencial de corte e posição do termopar no corpo prova.

Um dispositivo eletrônico, baseado em Arduino, foi utilizado para registrar em tempo real os valores de força tangencial de corte e de temperatura. Os valores medidos com os sensores foram previamente calibrados usando-se diversas massas conhecidas, para o caso da célula de carga e uma placa aquecedora usada em laboratório de química para ferver água, para o caso da temperatura. Com os dados de força tangencial obtidos e a força normal aplicada na broca (170 N) foram calculados os valores de coeficiente de atrito.

3. ENSAIOS DE MEDIÇÃO DA FORÇA TANGENCIAL DE CORTE

3.1. Materiais

O **material** submetido aos testes de furação foi o alumínio 6063-T5. Esta liga é usada em uma grande variedade de aplicações estruturais, trocadores de calor, componentes elétricos, e outras. A ALCOA (2019) afirma que em condições de tratamento térmico a liga oferece grande resistência à corrosão e aceita muito bem processos posteriores como soldagem e texturização.

Para a realização dos ensaios de furação foi utilizada uma barra retangular de alumínio 6063-T5, com dimensões 25 mm largura, 12mm de espessura e preparados corpos de prova de 135 mm comprimento, conforme a Fig. 4. Foram realizados furos guia passantes de 5 mm de diâmetro e furos laterais de 2 mm, alinhados com os furos guia, para a instalação de um termopar.

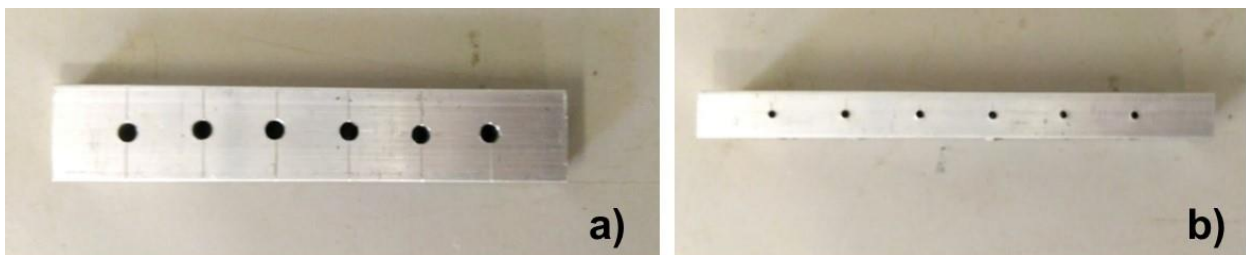


Figura 4. Corpo de prova: a) vista superior, furos guia passantes - 5mm de diâmetro e b) vista lateral, furos laterais para o termopar - 2 mm de diâmetro.

A **broca helicoidal** utilizada nos ensaios foi da marca LENOX TWILL – TW100, construída em aço rápido (HSS), ponta revestida de Titânio, diâmetro de 3/8" (9,5 mm) e ângulo de ponta de $(130 \pm 3)^\circ$.

Três **fluidos de corte** foram utilizados nos ensaios: Óleo mineral solúvel em água usado em processos de usinagem, da marca SULFAL, diluído na proporção de 1:20; Óleo lubrificante para motor de carro, 100% sintético, com designação 5W40 API SN, marca PETRONAS Selenia; e Água

A alimentação dos fluidos de corte foi realizada utilizando a mangueira de alimentação disponível na máquina-ferramenta, entretanto, foi adicionado um reservatório na parte superior e o escoamento do fluido ocorreu por jorro, com velocidade de escoamento determinada pela ação da gravidade, como mostrado esquematicamente na Fig. 5.

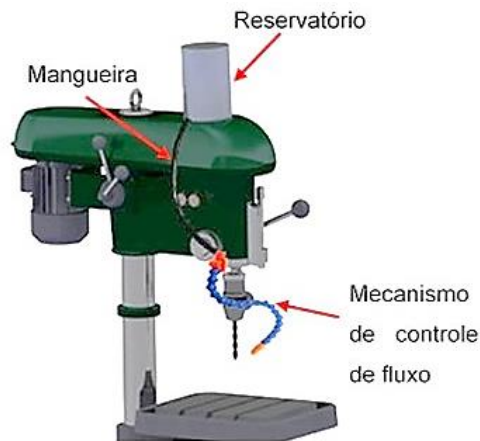


Figura 5. Esquemático do posicionamento e montagem do sistema de escoamento dos fluidos de corte.

3.2. Metodologia de Ensaio

Os ensaios de furação foram realizados utilizando-se o dispositivo de medição da força tangencial desenvolvido, com uma carga normal na polia de 2,5 kg. Foram realizados ensaios de furação em cheio, com furo guia, considerando um tempo de ensaio de 20 segundos. Foram executados três ensaios para cada regime de lubrificação e três ensaios a seco, totalizando 12 ensaios. Todos os ensaios foram realizados com a mesma broca. A velocidade de corte da broca utilizada foi de 19,45 m/min, correspondente a uma velocidade e rotação da broca 650 RPM. Uma força constante de 170 N foi aplicada na ponta da broca em cada um dos ensaios. Para Twill (2019), a velocidade de corte recomendada para a liga de alumínio utilizada varia entre 56 - 137 m/min e o avanço recomendado para o diâmetro de broca utilizado é de 0,24 mm/v.. Entretanto, para os ensaios realizados utilizou-se parâmetros de corte com valores inferiores, visando a melhor visualização dos resultados.

A profundidade de furação foi medida a partir dos furos realizados durante os ensaios, com o uso de um paquímetro digital de precisão 0,01 mm. Após as medições foram obtidos os valores médios e calculados os respectivos desvios padrão. O método de medição do furo foi realizado considerando a superfície interna, excluindo a superfície gerada pelo ângulo de ponta da ferramenta, conforme mostrado na Fig. 6.

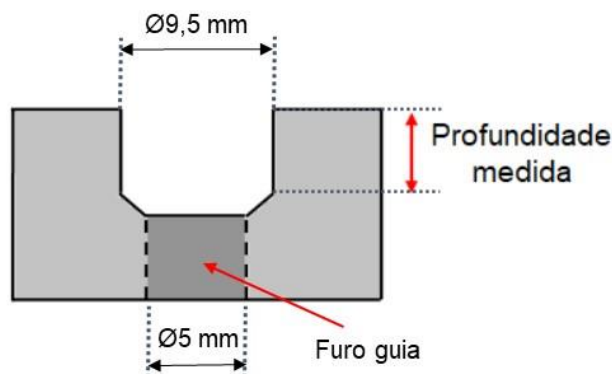


Figura 6. Esquemático do método de medição da profundidade do furo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Força Tangencial de Corte

Na Fig. 7 são apresentados os valores médios da força tangencial de corte medidos em função do tipo de lubrificante utilizado. Nota-se que nos ensaios a seco, as forças foram consideravelmente maiores que aquelas obtidas com os fluidos de corte. Verifica-se também que, independentemente, do tipo de fluido utilizado, as forças tangenciais foram semelhantes entre si.

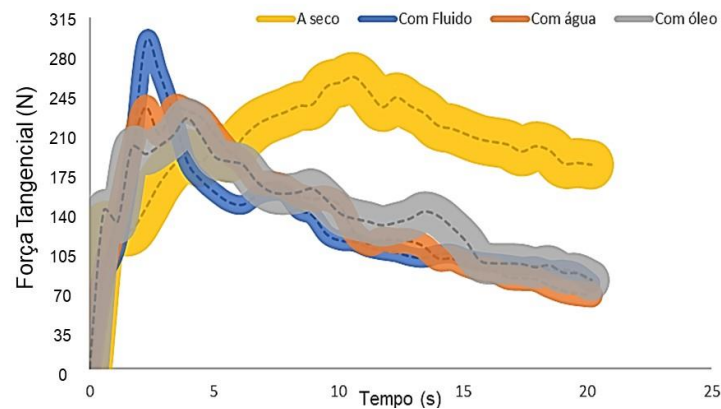


Figura 7. Força tangencial de corte nos ensaios com fluido, com água, com óleo e a seco.

No início de todos os ensaios nota-se que a força tangencial apresenta um crescimento expressivo e depois decai. Tal crescimento, entre 0 e 5 segundos de ensaio, pode ser explicado pela acomodação da broca à superfície do corpo de prova. Inicialmente, a área de contato entre a ponta da broca e a superfície do corpo de prova é muito pequena, resultando em um valor alto da força tangencial. Com o passar do tempo, a área de contato tende a aumentar, gerando uma redução no valor da força tangencial.

Como esperado, os valores de força tangencial de corte nos ensaios à seco, apresentaram-se mais altos em relação aos outros ensaios. Além disso, a curva é crescente até os 10 segundos e depois decai de forma semelhante ao ocorrido nos demais ensaios. A seco, o atrito entre as superfícies da ferramenta e do furo é agravado pela presença do cavaco entre as superfícies internas do furo. Nesta condição, a remoção dos cavacos torna-se mais difícil, resultando em partículas abrasivas geradas pela quebra do cavaco na superfície interna do furo, e resultando em um aumento dos esforços de usinagem.

Segundo Machado e Silva (2003), um dos problemas do cavaco contínuo, característico de materiais dúcteis como o alumínio, é o aumento da força de usinagem e da temperatura, podendo prejudicar o acabamento superficial da peça ou até mesmo levar à quebra da aresta superficial de corte.

Os resultados mostrados na Fig. 7 são, graficamente, semelhantes aos encontrados por Neves (2013) que, analisando o comportamento de diferentes fluidos na furação do aço ABNT 1045 (óleos comestíveis como o óleo de soja), em ensaios de furação à pressão constante, utilizando uma broca de 10 mm de diâmetro, observou que os óleos utilizados apresentaram resultados, graficamente, semelhantes aos apresentados pelo fluido de corte comercial aplicado em jorro.

4.2. Coeficiente De Atrito

Na Fig. 8 são apresentados os resultados do coeficiente de atrito, calculado a partir da força tangencial de corte em função do tipo de lubrificante utilizado. Nos ensaios a seco o valor médio do coeficiente de atrito se mostrou superior aos valores calculados nos ensaios com fluidos. Notou-se também, que nos ensaios onde foram usados fluido de corte, os valores do coeficiente de atrito forma semelhantes entre si.

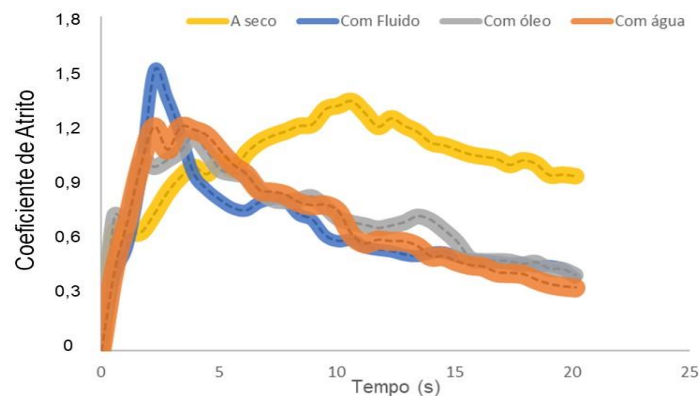


Figura 8. Coeficiente de atrito em função do tipo de fluido utilizado.

Para Soares (2015), o atrito do cavaco com as paredes do furo promove o aumento dos esforços de usinagem. O fluido de corte, além de possuir propriedades refrigerantes também possui propriedades lubrificantes, que contribuem para a redução do atrito entre a ferramenta e a parede do furo.

4.3. Temperatura

Na Fig. 9 são apresentados os valores de temperatura medidos em função do regime de lubrificação. Observa-se que nos ensaios a seco, a temperatura sofre um crescimento expressivo com o passar do tempo. Tal fato, se deve à ausência de arrefecimento no processo promovendo o aquecimento contínuo do material e da ferramenta. Da Silva (2008) afirma que a temperatura durante a furação e a alta taxa de deformação podem afetar o comportamento do material durante o corte, o que explicaria as variações nos valores da força tangencial nos ensaios a seco.

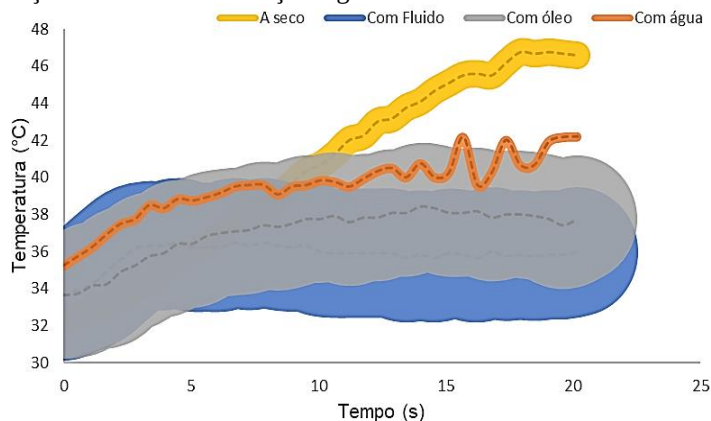


Figura 9. Variação de temperatura nos ensaios em função do tipo de lubrificação utilizado.

A temperatura, nos ensaios com o uso de algum fluido, apresentou uma tendência a se manter constante com o decorrer do tempo, em todos os casos. Entretanto, esses valores ainda se mostraram inferiores aos valores de temperatura medidos nos ensaios realizados com água, que também apresentaram variações importantes, principalmente após 15 segundos de ensaio.

Relacionando os resultados obtidos para a temperatura com os resultados obtidos para a força tangencial de corte (Fig. 7) percebe-se que não ocorre influência clara da temperatura nos ensaios realizados com o uso de algum tipo de fluido, uma vez que a temperatura tende a se manter constante durante todo o tempo de ensaio. Entretanto, percebe-se que nos ensaios a seco, no momento em que o aumento da temperatura se torna mais expressivo, o valor da força tende a diminuir.

4.4. Profundidade de Furação

As medidas das profundidades de furação são mostradas na Tab. 1. Os furos realizados com o uso de fluido de corte foram os que apresentaram as maiores profundidades. Os ensaios com água e a seco apresentaram valores semelhantes entre si; enquanto os ensaios com óleo lubrificante apresentaram as menores profundidades. Pode-se dizer então, que apesar das propriedades refrigerantes da água e das propriedades lubrificantes do óleo, o fluido de corte mostrou maior eficiência, resultando em menor tempo de furação para uma mesma profundidade de furo.

Tabela 1. Profundidade de furação.

Profundidade de Furação (mm)	
Com fluido	$9,7 \pm 0,3$
Com água	$7,8 \pm 2$
Com óleo	$6,2 \pm 0,2$
A seco	$6,5 \pm 1$

4.5. Superfície dos Furos

Na Fig. 10 são apresentadas imagens das superfícies dos furos, considerando o tipo de lubrificante utilizado e a seco, respectivamente.

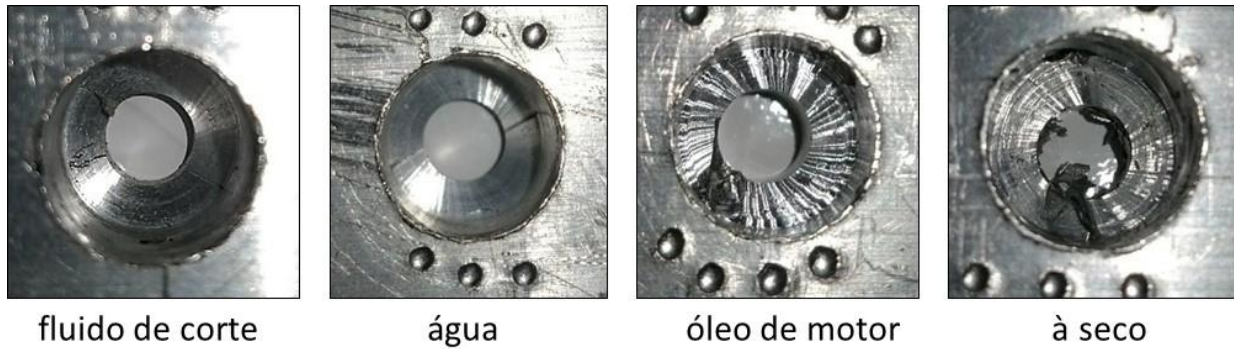


Figura 10. Superfície interna dos furos, considerando três furos para cada regime de lubrificação.

A partir das imagens é possível perceber que as superfícies dos furos fabricados com fluido de corte se mostraram mais lisas e homogêneas (sem muitas irregularidades) quando comparadas com as obtidas com os outros processos. Segundo Machado et al., (2009), a escolha do fluido de corte influencia diretamente na qualidade do acabamento das peças, devido a suas propriedades de refrigeração e lubrificação.

5. CONCLUSÕES

- O dispositivo projetado e construído, para medir as forças tangenciais de corte durante a furação, mostrou-se eficiente e os resultados obtidos auguraram sucesso na sua utilização futura.
- O mecanismo de polia desenvolvido para substituir o uso da alavanca mostrou-se eficiente, mantendo a força normal constante durante todo o processo de furação.
- Nos ensaios de medição de forças de usinagem, os fluidos utilizados apresentaram redução significativa da força tangencial de corte se comparado aos ensaios a seco. Entretanto, os fluidos não apresentaram grande variação na força se comparados entre si.
- O fluido de corte não apresentou grandes diferenças entre os demais fluidos utilizados, entretanto, a profundidade de furação foi expressivamente maior, demonstrando que o fluido de corte é mais eficiente no processo de furação, quando comparado com outros fluidos, principalmente quando se refere a redução de tempo de usinagem.

5. REFERÊNCIAS

- ALCOA, 2019. *Alumínio & Cia. Ligas e têmperas de extrusão*. p. 52.
- da Silva, M., 2008. *Investigação experimental da formação do cavaco na usinagem do aço ABNT 1045 e do ferro fundido nodular*. p. 68.
- Ferraresi, D., 1977. *Fundamentos da usinagem dos metais*. São Paulo: Edgard Blücher. [S.l: s.n.].
- Machado, A. R., 2009. *Teoria da Usinagem dos Materiais*. 1a edição ed. São Paulo: [s.n.].
- Machado, Á. R., e Silva, M. B., 2003. *Usinagem dos Metais*. p. 751.
- Neves, Tiago do Espírito Santo Baldez, 2013. *De óleos vegetais comestíveis como fluido de corte no processo de furação do aço ABNT 1045*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica).
- Soares, D. B., 2015. *Adaptação de uma Furadeira de Coluna para Executar Ensaio de Pressão Constante*.
- Sousa, J. A. G., 2011. *Desempenho de Ferramentas Reafiadas - Furação*. p. 147.
- Twill, L., 2019. *Brocas Cônicas*. p. 14.

DEVICE TO MEASURE TANGENTIAL CUTTING FORCE IN THE DRILLING PROCESS

Karla Cristina Rodrigues Pereira

Edison Gustavo Cueva

University of Brasília, UnB Gama Faculty, Brasília – DF.
karla.crpereira@gmail.com, cueva@unb.br

Abstract. *The main objective of this work was to design and build a device (easy to handle and low cost) that, when coupled to a bench drill, allows measuring the tangential cutting force developed during the metal drilling process. The study addresses the efficiency of the drilling process considering: cutting parameters, drill material, drill diameter, machined material, cutting fluid and temperature reached in the process. The tests analyzed the influence of the three cutting fluids on the tangential cutting force, on the depth reached in a given time and on the temperature reached during the process. During testing, 6063-T5 aluminum specimens were machined with a high speed steel twist drill (Titanium tip). Drilling tests were performed: without lubrication (dry) and another three, lubricated with cutting fluid (soluble mineral oil), water and synthetic lubricating oil (SAE 5W40). The tests had a duration of 20 seconds each, drill rotation speed of 650 rpm and normal force of 3.5 kgf. During the tests, it was possible to measure in real time the tangential cutting force and the temperature of the specimen, in a place close to the hole. After the tests, the friction coefficients were calculated and the depths reached under each drilling condition were measured. The results showed that the built device fulfilled the expectations proposed in this work. As expected, the use of cutting fluids significantly reduced the tangential cutting force when compared to the tests carried out in dry conditions. It was also noted that for the conditions explored in this work, the cutting fluids did not show a noticeable influence on the cutting force, when compared to each other. However, the drilling depth was significantly greater when soluble mineral oil was used compared to other fluids. The method of evaluating tangential forces, developed in this work, makes it possible to expand the databases on the subject, which in most cases extensively considers the turning process.*

Keywords: *Drilling Process. Cutting fluids. Tangential cutting force. Device for measuring tangential force.*