

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO MQF DO ÓLEO VEGETAL A BASE DE CANOLA NOS ESFORÇOS DE USINAGEM NO FRESAMENTO DO AÇO ABNT 1045

Antonio Santos Araujo Junior, asaraujojr@ifma.edu.br¹

Alisson Rocha Machado, alisson.rocha@pucpr.br²

¹Instituto Federal do Maranhão - IFMA, Departamento de Mecânica e Materiais – DMM, Campus São Luis, Monte Castelo, Avenida Getúlio Vargas, 04, Monte Castelo, CEP: 65030-005, São Luis – Maranhão.

²Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Faculdade de Engenharia Mecânica – FEMEC, Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem – LEPU, Avenida João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, CP 593, Uberlândia – Minas Gerais, CEP: 38408- 100.

Resumo: O processo de usinagem por fresamento é um dos mais universais e conhecidos, possuindo grande variação quanto ao tipo de máquina utilizada, movimento da peça e tipos de ferramentas. As aplicações frequentes do processo são a obtenção de superfícies planas, rasgos, ranhuras, perfis, contornos, cavidades e roscas, entre outros. Como vantagens gerais do processo de fresamento pode-se citar as altas taxas de remoção obtidas e a possibilidade de obtenção de superfícies de elevada qualidade e complexidade. Este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da aplicação do óleo refinado vegetal a base de canola (*Brassica napus* L.), utilizado como fluido de corte na forma de mínima quantidade de fluido (MQF) nos esforços de usinagem (força de corte, força de avanço e força passiva) durante o processo de fresamento frontal do aço ABNT 1045, um aço comum de média resistência, pouca temperabilidade, usado em componentes estruturais e de máquinas, virabrequim, eixos, engrenagens comuns e peças forjadas. O trabalho visa contribuir principalmente com a divulgação e utilização de fluidos de corte ecologicamente corretos que possam vir a ser utilizados nos processos de usinagem. A metodologia consistiu na aplicação do óleo refinado de base vegetal (canola), comparando o desempenho do mesmo com a aplicação do óleo comercial LB 2000 (fluido de corte também de base vegetal, indicado para usinagem de metais ferrosos produzido pela ITW Chemical Products Ltda.), ambos aplicados na forma MQF, com variação na vazão dos fluidos em 10, 50, 100 e 200 ml/h e também com a condição a seco. Foi realizado um Planejamento de Experimentos – DOE, fatorial 2^3 onde as variáveis de entrada foram a velocidade de corte (v_c), o avanço (f_z) e a profundidade de corte (a_p), com variação do fluido de corte, enquanto as variáveis de saída medidas foram as forças de corte (F_x), as forças de avanço (F_y) e a força passiva (F_z). Verificou-se que os parâmetros mais influentes nas componentes de forças são o avanço e a profundidade de corte. O óleo refinado vegetal a base de canola apresentou valores de forças em linha com o óleo LB 2000 e menores que a condição a seco. As vazões consideradas mais eficientes para menores valores das forças de usinagem foram as de 50 ml/h e 200 ml/h nas diversas condições avaliadas.

Palavras-chave: Fresamento, Planejamento fatorial, Fluidos de corte

1. INTRODUÇÃO

O estudo das forças de usinagem permite otimizar parâmetros de corte e assim assegurar menor gasto de energia, melhor acabamento e maior vida de ferramenta. Além disso, as forças de usinagem são determinantes para a qualidade geométrica e dimensional da superfície usinada uma vez que suas componentes podem induzir deflexões em ferramentas mais esbeltas. Como no fresamento a área da seção transversal do cavaco varia periodicamente, as forças resultantes, observadas na movimentação que ocorre entre peça e ferramenta também variam, gerando vibrações excessivas. O material a ser usinado e seu estado de dureza; a velocidade de corte, o avanço e a profundidade de corte; o material da ferramenta; o material de recobrimento; a geometria da ferramenta escolhida; o uso ou não de fluido de corte; o desgaste da ferramenta; os efeitos térmicos; o atrito e as tensões geradas na remoção do cavaco são fatores que, em maior ou menor grau, afetam as componentes das forças de corte na operação de fresamento. Dessa forma, pode-se afirmar que o monitoramento destas forças é útil para prever ou acompanhar o desempenho global do processo. A força total resultante é chamada de força de usinagem (F_u). Como é difícil se saber adequadamente a direção desta força, são primeiramente avaliadas as suas componentes e as direções conhecidas e, assim, calculados os esforços que daí resultam. Fatores como a geometria e material da ferramenta, o material da peça usinada, e condições de usinagem afetarão os valores dos esforços necessários à correta usinagem. Segundo DINIZ et al. (2000), a norma DIN 6584 (1982), descreve os termos técnicos de

usinagem como força, energia, trabalho e potência. Nesta norma, além de apresentada a decomposição da força de usinagem, F_u (N) é descrita a decomposição no plano de trabalho, que é denominada força ativa (F_t) e em uma componente perpendicular a este plano, denominada força passiva (F_p). A força ativa contribui para o cálculo da potência de usinagem pelo fato de se posicionar no plano onde os movimentos de usinagem são realizados. A força ativa se decompõe, por sua vez, em força de corte (F_c), que é a projeção da força de usinagem sobre a direção de corte, e em força de avanço (F_f), que é a projeção da força de usinagem sobre a direção de avanço. Cita ainda a força de apoio (F_p), que é a projeção da força de usinagem sobre a direção perpendicular à direção de avanço, situada no plano de trabalho. Na Figura 1 são apresentadas as disposições destas componentes para os processos de fresamento.

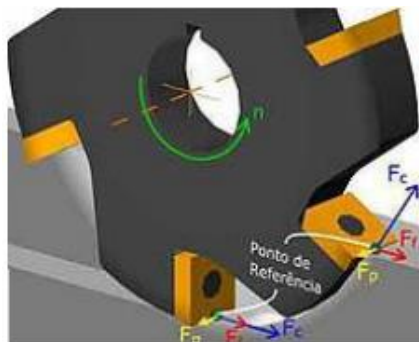


Figura 1: Decomposição da força F em suas componentes F_c , F_f e F_p Cimm (2009).

Os fluidos de corte possuem várias funções nos processos de usinagem, tais como: ajudam a refrigerar a região de corte, principalmente em altas velocidades de corte; lubrificar a região de corte, principalmente em baixas velocidades e altas tensões de corte; reduzir a força de corte; melhorar a vida da ferramenta, o acabamento superficial, a precisão dimensional da peça; auxiliam na quebra do cavaco, facilitam o transporte de cavaco; protegem a superfície usinada e a máquina-ferramenta contra oxidação (Machado et al., 2009). A introdução da série de legislações ambientais, OSHA e outras autoridades de regulamentação internacional, fizeram a indústria transformadora reduzir o consumo de óleo mineral como fluido de corte para trabalhos de usinagem, havendo um grande potencial para a utilização de óleos vegetais como fluidos de corte no setor industrial (Singh et al. 2006). Diversos trabalhos foram desenvolvidos na busca de fluidos de corte ambientalmente corretos com base em vários óleos vegetais, a maioria dos trabalhos relatados, evidenciam os óleos de soja, óleos de girassol e óleos de canola. 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 aplicação abundante de fluido na usinagem, principalmente no processo de fresamento. Esta técnica consiste na utilização de uma pequena quantidade de óleo lubrificante que é pulverizado na região de corte. Desta forma, o consumo de óleo de corte é significativamente menor. A Figura 2 mostra um processo de fresamento com a pulverização do fluido sobre a região de corte.



Figura 2. Processo de fresamento com utilização da técnica MQL.

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência do óleo vegetal a base de canola (*Brassica napus* L.), ilustrado na Fig. 3, utilizado como fluido de corte e aplicado pela técnica da mínima quantidade de fluido (MQL) nos esforços de corte do aço ABNT 1045, durante o processo de usinagem por fresamento frontal. Este trabalho visa contribuir principalmente com a divulgação e utilização de fluidos de corte ecologicamente corretos que possam vir a ser utilizados nos processos de usinagem. O óleo de canola proporciona uma lubrificação superior e estabilidade oxidativa estendida. Óleos de canola naturais são biodegradáveis e podem substituir o óleo mineral, ésteres de ácidos gordos e gorduras animais em uma ampla variedade de aplicações (Tomm et al, 2005).



Figura 3. Sementes de colza usada na produção do óleo de canola Tomm et al (2005).

2. METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho consistiu na aplicação do óleo de base vegetal (óleo de canola), comparando o desempenho do mesmo com a aplicação do óleo comercial LB 2000 (fluido de corte também de base vegetal, indicado para usinagem de metais ferrosos produzido pela ITW Chemical Products Ltda.), ambos aplicados na forma MQF, com variação na vazão dos fluidos em 10, 50, 100 e 200 ml/h e também com a condição a seco. Foi realizado um Planejamento de Experimentos – Fatorial 2^3 onde as variáveis de entrada foram a velocidade de corte (v_c), o avanço (f_z) e a profundidade de corte (a_p), os fluidos de corte em diversas vazões, enquanto as variáveis de saída medidas foram as forças de corte (F_x), força de avanço (F_y) e a força passiva (F_z). A Tab.1 evidencia este planejamento.

Tabela 1. Matriz de planejamento experimental.

VARIÁVEIS						
ENTRADA				SAÍDA		
Quantitativa			Qualitativa	Quantitativa		
v_c (m/min)	f_z (mm/rot)	a_p (mm)	Fluidos	Forças de Usinagem (N)		
				F_x	F_y	F_z
165	0,15	1	- Seco - Óleo de Canola*			
210	0,30	2	- Óleo LB 2000* *Vazões MQF de 10, 50, 100 e 200 ml/h.			

2.1 Sistema de Aquisição das Forças de Usinagem

Para evitar erros sistemáticos padronizou-se a confecção e fixação das peças, onde todas foram usinadas previamente em formato de prisma retangular com dimensões finais de 180 mm de comprimento, 77 mm de altura e 62 mm de largura. Foram confeccionados dois furos passantes com diâmetros de 15,25 mm (5/8”) cada um a fim de fixar a peça no dinamômetro estacionário. Para aquisição das forças de usinagem foi utilizado um dinamômetro do fabricante Kistler, modelo 9257-B, fixado no barramento do centro de usinagem. Os sinais adquiridos são enviados para um amplificador de carga e deste a uma placa de conversão analógica - digital da Measurement Computing, modelo USB 1208SF, 1.25 MS/s. Este sinal é gerenciado por um computador utilizando o software Delphi 7.0. A metodologia de captação do sinal de força é ilustrada na Figura 4.

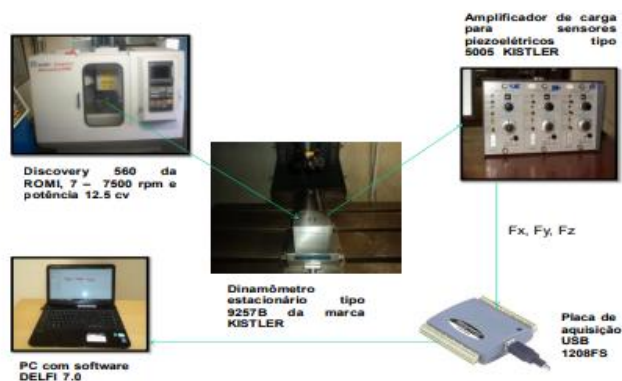


Figura 4. Montagem do sistema de aquisição das forças de usinagem.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos durante os experimentos mostram que dependendo das condições de usinagem adotadas durante o processo de fabricação por fresamento frontal, há uma diferença significativa nos mesmos, ou seja, variando-se a velocidade de corte (v_c), o avanço (f_z), a profundidade de corte (a_p), os óleos aplicados (Canola e LB 2000) nas formas de mínima quantidade de fluido (MQL), nas vazões de 10, 50, 100 e 200 ml/h e na condição a seco, observou-se através dos parâmetros de usinabilidade (forças de usinagem), uma influência moderada dos fluidos vegetais aplicados. Esses resultados são apresentados nos gráficos das figuras 5, 6 e 7.

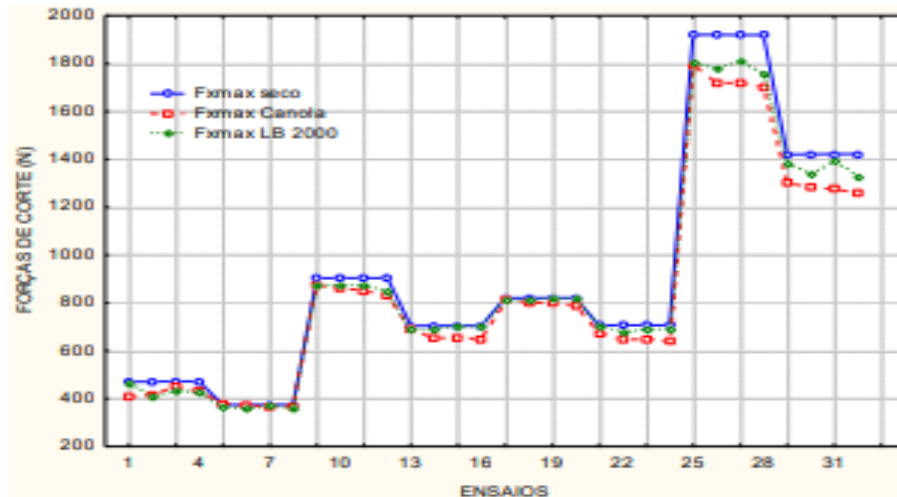


Figura 5. Gráfico comparativo das forças de corte ($F_{xmáx.}$) nas diversas condições de usinagem

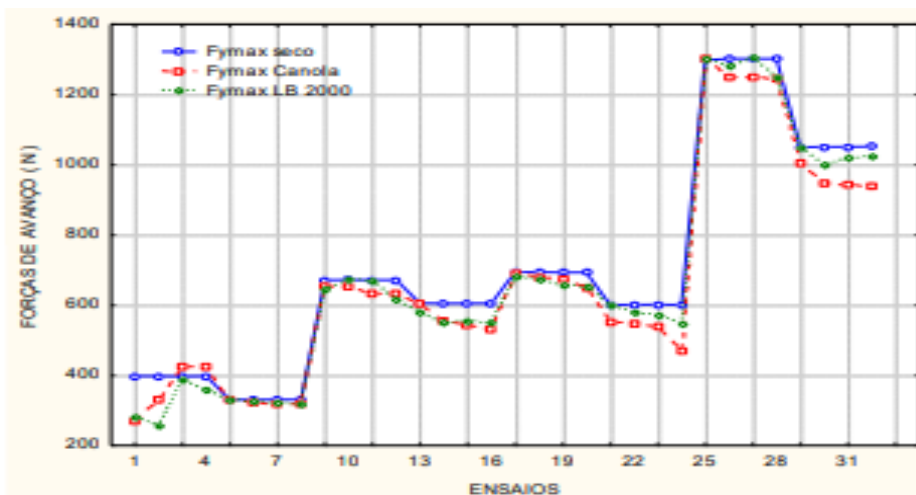


Figura 6. Gráfico comparativo das forças de avanço ($F_{ymáx.}$) nas diversas condições de usinagem

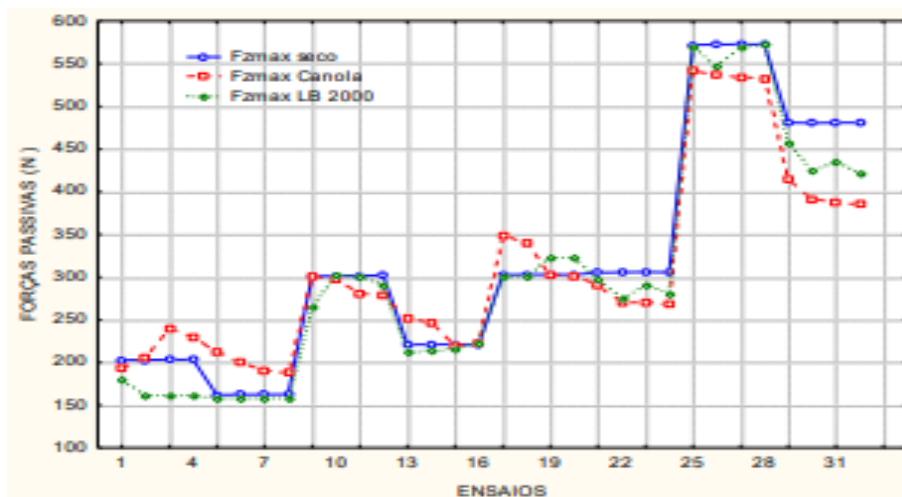


Figura 7. Gráfico comparativo das forças passivas ($F_{zmáx.}$) nas diversas condições de usinagem

Fazendo um comparativo entre os três resultados apresentados, ou seja, verificando a influência sobre as forças de usinagem com aplicação dos fluidos de corte e também na condição a seco, verifica-se que a participação dos fluidos de corte durante os ensaios possibilitou uma pequena redução nas mesmas, como já era esperado, conforme comprovação da literatura, as forças de corte se sobressaíram em relação às demais forças de usinagem. Nos testes de 09 a 12 e de 29 a 32, com a variação da velocidade de corte (vc) e da profundidade de corte (ap) para um mesmo avanço (fz), houve uma redução nas forças de corte (Fx). Nos testes de 01 a 04 e de 13 a 16, com variação do avanço (fz), para uma mesma velocidade de corte (vc) e profundidade de corte (ap), houve uma redução nas forças de avanço (Fy) e também uma redução na força passiva (Fz) nos testes de 29 a 32, para as condições mais críticas de vc, fz e ap. Observou-se também que as vazões que melhor contribuíram para este desempenho foram as de 50 e 200 ml/h. Nos resultados citados acima se observa o efeito dos fluidos de corte (aplicados pela técnica MQL), sobre as forças de usinagem, ou seja, sua função lubrificante atua minimizando o efeito da flutuação da temperatura na ferramenta durante o corte. Observa-se que o óleo vegetal a base de canola, apesar de não possuir a aditivagem que possui o óleo LB 2000 (comercial), apresentou resultados muito próximos ao mesmo, isto se justifica em função de possuir uma viscosidade inferior e que causa melhor ação refrigerante no processo. Realizando uma análise de variância (ANOVA) como forma de comprovação dos resultados, observou-se que para um intervalo de confiança de 95% e um nível de significância alfa de 0,05 a condição de lubrificação tem significativa influência na redução dos esforços de usinagem, a Tabela 2 evidencia os mesmos.

Tabela 2. Análise de experimentos com dois níveis de fatores 2³.

Variável		Variável		Variável	
A Seco	P - Value	Óleo LB 2000	P - Value	Óleo de Canola	P - Value
Fxmáx.	> 0,05	Fxmáx.	0,000220	Fxmáx.	0,00023
Fymáx.	> 0,05	Fymáx.	0,000438	Fymáx.	0,00037
Fzmáx.	> 0,05	Fzmáx.	0,00326	Fzmáx.	0,0050

4. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados permitem algumas conclusões dentro das condições testadas:

Os esforços de corte foram maiores para a condição crítica, onde se utilizou as máximas condições de corte; (vcmáx, fzmáx e apmáx);

- ✓ O óleo vegetal a base de canola utilizado como fluido de corte apresentou resultados dos esforços de corte em linha quando comparado ao fluido LB 2000 e menores quando comparado com a condição a seco, o que nos leva a crer que o mesmo pode vir a ser um substituto em potencial para os demais fluidos de usinagem.
- ✓ As vazões que apresentaram melhor desempenho dos fluidos em relação às forças de usinagem foram as de 50 e 200 ml/h, recomenda-se também que em função de razões econômicas e ambientais adotemos a vazão de 50 ml/h em futuros testes envolvendo aplicação MQL.
- ✓ O teste Anova comprova que na usinagem com aplicação MQL de fluidos os esforços de usinagem foram menores que na condição a seco e também uma equiparação entre esses resultados quando utilizamos os fluidos vegetais.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal do Maranhão (IFMA) / Departamento de Mecânica e Materiais (DMM), pelo apoio material na utilização das máquinas e instrumental necessários para realização deste trabalho.

A Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, pelo apoio financeiro para participação no Conem 2018.

6. REFERÊNCIAS

- CIMM, 2009, Centro de Informação Metal Mecânico.
- Diniz, A. E., Marcondes, F. C., Coppini, N. L., 2000, “Tecnologia da Usinagem dos Materiais”. 2ª ed. São Paulo: Editora Artliber. 244p.
- Machado, A.R., Coelho, R.T., Abrão, A.M, Da Silva, M.B., 2009, “Teoria da Usinagem dos Materiais.” Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 384 p.

Singh, A.K. et al., 2006, "Metal working fluids from vegetable fluids", J Synth Lubr 123, pp. 167–176. [5] Tomm, G. O., Soares, A. L. S., Mello, M. A. B., Depiné, D. E., 2005, "Indicações tecnológicas para produção de Canola em Goiás", Itumbiara: Caramuru.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

"O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho".

STATISTICAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MQF APPLICATION OF VEGETABLE OIL BASED ON MACHINE FOR MACHINING EFFORTS ABNT 1045 STEEL MILLING

Antonio Santos Araujo Junior, asaraujojr@ifma.edu.br¹

Alisson Rocha Machado, Alisson.rocha@pucpr.br²

¹Federal Institute of Maranhão – IFMA, Department of Mechanics and Materials – DMM, Campus São Luis Monte Castelo, Avenida Getúlio Vargas, 04, Monte Castelo, CEP: 65030-005, São Luis – Maranhão.

²Federal University of Uberlândia – UFU, Faculty of Mechanical Engineering – FEMEC, Laboratory of Teaching and Research in Machining – LEPU, Avenida João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, CP 593, Uberlândia – MG, CEP: 38408-000

Abstract. The milling process is one of the most universal and known, with great variation in the type of machine used, movement of the part and types of tools. The frequent applications of the process are the obtaining of flat surfaces, slits, grooves, profiles, contours, cavities and threads, among others. The general advantages of the milling process are the high removal rates obtained and the possibility of obtaining high quality and complex surfaces. The objective of this work was to evaluate the effect of the application of canola based refined oil (*Brassica napus L.*), used as cutting fluid in the form of minimum amount of fluid (MQF) in the machining efforts (shear force, and passive force) during the front milling process of ABNT 1045 steel, a mild medium strength common steel used in structural and machine components, crankshafts, shafts, common gears and forgings. The work aims to contribute mainly to the dissemination and use of ecologically correct cutting fluids that can be used in the machining processes. The methodology consisted of the application of refined vegetable oil (canola), comparing the performance of the same with the commercial oil LB 2000 (cutting fluid also vegetable based, indicated for the machining of ferrous metals produced by ITW Chemical Products Ltda.), both applied in the MQF form, with variation in fluid flow in 10, 50, 100 and 200 ml / h and also with the dry condition. An experimental design was performed (DOE, factorial 2³), where the input variables were the cutting speed (vc), feed rate (fz) and cut depth (ap), with variation of the cutting fluid. output measurements were the shear forces (Fx), the shear forces (Fy) and the passive forces (Fz). It has been found that the most influential parameters in the force components are the feed and the depth of cut. Refined canola based vegetable oil presented values of forces in line with the LB 2000 oil and lower than the dry condition. The flow rates considered more efficient for lower values of the machining forces were those of 50 ml / h and 200 ml / h under the various conditions evaluated.

Keywords: Milling, Factorial planning, Cutting fluids