

OTIMIZAÇÃO DA VAZÃO DE LUBRIFRIGERAÇÃO POR MQL NA USINAGEM DO AÇO ABNT 1045

Juan Manoel da Silva Blanes, ingjuanblanes@gmail.com¹
Matheus Augusto Garcia Buzo, matheus.a.g.buzo@gmail.com¹
Matheus Gonçalves de Ataíde, matheus.ataide@ufu.br²
José Aécio Gomes de Sousa, josesousa@utfpr.edu.br¹
Luiz Leroy Thomé Vaughan, lvaughan@unifei.edu.br³

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. dos Pioneiros, 3131, Londrina-PR, 86036-370, Brasil

²Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila 2121, Santa Mônica-MG, 38408-100, Brasil

³Universidade Federal de Itajubá, R. Irmã Ivone Drummond 200, Itabira-MG, 35903-087, Brasil

Resumo. As atuais preocupações com o ambiente, saúde do operador e economia nos processos de usinagem colabora na busca de avaliar o desempenho de diferentes vazões pelo método de Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL). Portanto, neste trabalho buscou-se investigar a vazão ideal para ser usada em diferentes condições de corte no fresamento frontal do aço 1045. Os parâmetros estudados foram, forças de corte e integridade superficial. Um dinamômetro foi utilizado para a medição das forças de corte, e, para a medição da integridade superficial foi utilizado um rugosímetro digital. Verificou-se que as menores forças de corte foram obtidas na vazão de 50 ml/h e, as menores rugosidades nas vazões de 50 ml/h e 200 ml/h. Porém, analisando de um ponto econômico e sustentável, ou seja, entre um melhor acabamento e uma economia na quantidade fluido de corte utilizado, a vazão mais recomendada para tal operação é de 50 ml/h.

Palavras chave: fresamento frontal. fluido de corte. LB 2000. MQL. aço 1045.

Abstract. Current concerns about the environment, operator health and economy in machining processes collaborate in the search to evaluate the performance of different flow rates by the Minimum Amount of Lubrication (MQL) method. Therefore, in this work we sought to investigate the ideal flow rate to be used in different cutting conditions in the face milling of 1045 steel. The parameters studied were cutting forces and surface integrity. A dynamometer was used to measure the shear forces, and a digital rugosimeter was used to measure the surface integrity. It was found that the lowest shear forces were obtained at the flow rate of 50 ml/h and the lowest roughness at the flow rates of 50 ml/h and 200 ml/h. However, analyzing from an economic and sustainable point, that is, between a better finish and an economy in the amount of cutting fluid used, the most recommended flow for such an operation is 50 ml/h.

Keywords: face milling. cutting fluid. LB 2000. MQL. 1045 steel.

1. INTRODUÇÃO

No processo de usinagem convencional se define três principais zonas de geração de calor, as quais são apresentados na Figura 1. Segundo Ferraresi (1970), o calor gerado na zona 'A' se deve principalmente ao atrito do cavaco com a ferramenta. Já em 'B', o calor gerado é dado principalmente devido ao atrito da ferramenta com a superfície da peça usinada. E, por fim, o calor gerado na zona 'C' é devido a deformação plástica do material da peça.

O emprego do fluido de corte nos processos de usinagem torna-se necessário, uma vez que a maior parte da energia mecânica é convertida em calor (Costa, 2019), além de uma relação diretamente proporcional entre o aumento do desgaste da ferramenta de corte e a temperatura gerada (Lima, 2017). O primeiro pesquisador a constatar a influência do fluido de corte na usinagem foi Taylor, em 1906, sendo a água utilizada como fluido de corte. O pesquisador Taylor (1906) observou que ao aplicar um fluxo de água em abundância é possível aumentar as velocidades de corte em cerca de 40%.

Ferraresi (1970) concluiu que o fluido de corte pode gerar também melhorias do tipo funcionais como: uma melhor formação de cavacos e a expulsão do mesmo da região de corte, bem como um maior controle dimensional das peças produzidas, além de melhorias de caráter econômico como: menor consumo de energia durante o processo, menor desgaste da ferramenta que, por consequência, colabora para um menor tempo passivo e um menor custo da ferramenta

por peça usinada. Groove (2017) também afirma que os fluidos de corte podem atuar de forma a reduzir as forças e potências de corte que, por consequência, gera uma melhora da estabilidade dimensional da peça e do acabamento superficial.

Segundo Machado et al. (2018), as principais funções do fluido de corte são de lubrificação a baixas velocidades de corte ($v_c < 120$ m/min) e refrigeração a altas velocidades de corte ($v_c > 120$ m/min), além de colaborar para a remoção dos cavacos e proteção da máquina-ferramenta e da peça contra a oxidação. Os fluidos de corte líquidos seguem sendo os mais utilizados e pesquisados podendo ser divididos em óleos, emulsões e soluções.

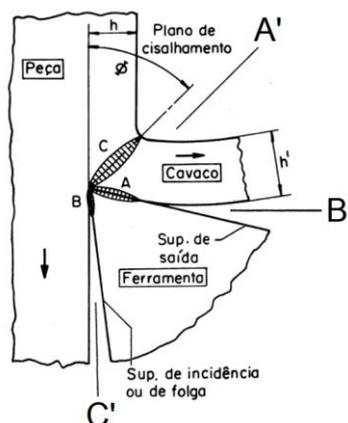


Figura 1. Zonas de geração de calor e direções preferenciais de aplicação de fluido de corte. Adaptado de (Ferraresi, 1970)

Ainda de acordo com Machado et al. (2018) encontramos que entre os métodos de aplicação mais comuns do fluido de corte, tem-se o jorro a baixa pressão, o sistema a alta pressão (de até 163 bar) e a atomização (de 1 a 5 bar) ou mais conhecido como MQL (Mínima Quantidade de Lubrificação). Desta forma, derivam-se três direções preferenciais para a aplicação dos fluidos de corte: sobrecavaco (direção A'), sendo que esta é a direção mais comumente utilizada porém pouco eficiente para a usinagem que geram cavacos emaranhados. A direção B' é recomendada apenas quando o fluido é aplicado sob uma grande pressão, dado que deverá vencer o movimento contrário de saída do cavaco. Já a direção C' apresenta a vantagem de ser direcionada na interface ferramenta/peça. Desta forma o desgaste de flanco é reduzido e também obtemos uma melhor qualidade superficial da peça usinada. Estas direções também podem ser visualizadas na Figura 1.

A técnica de MQL reduz o consumo de fluidos de corte, em apelo tanto pelo fator econômico quanto pelo ambiental, este último está associado a redução do consumo propriamente dita mas também no aprisionamento dos particulados de fluido dentro da máquina e de um correto sistema de exaustão (Machado et al. 2018).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a vazão ideal do óleo LB2000 no fresamento frontal do aço 1045 com a utilização do óleo LB 2000 e na condição a seco. Para isto, foi analisada a rugosidade superficial da peça e as forças de corte em F_x variando os parâmetros de corte. Foi adotado os seguintes critérios: econômico (custo do fluido de corte), ambiental, isto é, quantidade de névoa de fluido gerada no processo, e ocupacional, referente a saúde do operador. Todos os resultados foram comparados com a condição a seco

2.2. MÉTODO EXPERIMENTAL

2.1. Material da peça e fluido de corte

O material utilizado nesta pesquisa foi o aço carbono ABNT 1045 (205 HB). A Tabela 1 apresenta a composição química deste material.

Tabela 1. Composição química do aço ABNT 1045 (NBR NM 87, 2000)

(%) Carbono	(%) Manganês	(%) Fósforo	(%) Enxofre
0,43 à 0,50	0,60 à 0,90	0 à 0,040	0 à 0,050

A Figura 2 apresenta a microestrutura do aço ABNT 1045 atacado com Nital 2% com ampliação de 500x.

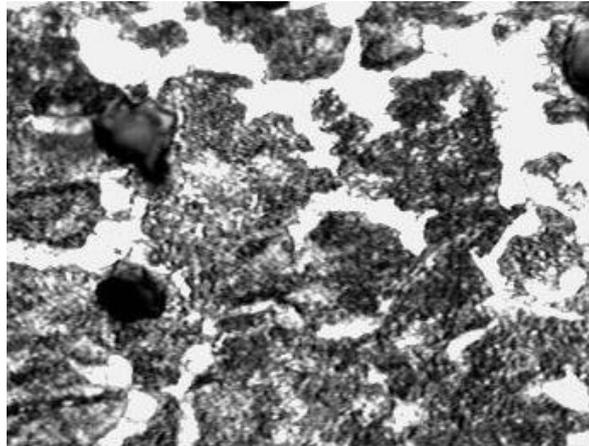


Figura 2. Microestrutura original do aço ABNT 1045 atacado com Nital 2% com ampliação de 500x

Através de um material com alta resistência como o ABNT 1045, é mais perceptível analisar a influência do fluido de corte na força e potência de usinagem, além de conseguir um melhor acabamento. As dimensões dos corpos de prova utilizados foram de 250 x 77 x 62 mm.

O fluido de corte utilizado foi o óleo de base vegetal LB 2000, biodegradável da ITW Chemical Products Ltda. Este óleo é recomendado na usinagem de materiais ferrosos em que se busca uma vida máxima para a ferramenta de corte. É composto de aditivos de extrema pressão clorados e elementos não tóxicos e renováveis (ITW, 2015). A Tabela 2 apresenta outras características deste óleo.

Tabela 2. Propriedades do óleo LB 2000 (ITW, 2015)

Dados	Valores
Viscosidade CST a 40 °C	39
Ponto de fulgor (ASTM D92) (°C)	Acima de 204 °C
Ponto de congelamento (°C)	-15
Ponto de ebulição	Acima de 279 °C
Densidade (20/4 °C) (kg/l)	0,92

2.2. Ensaios de usinagem

A lubrificação com a técnica MQL (Mínima quantidade de líquido) foi utilizado um aparelho aplicador de micro-lubrificação, modelo Accu-Lube, fabricado pela *ITW Chemical*, operando com um fluxo contínuo de ar comprimido ajustado em torno de 6 kg/cm² e “*spray*” intermitente de fluido na frequência de 1 pulso/s. Os ensaios foram testados nas vazões de 10, 50, 100 e 200 ml/h

Um centro de usinagem vertical Romi/Bridgeport, modelo Discovery 560, que utiliza o comando numérico CNC GE SIEMENS 21i-MB foi utilizado para a realização dos ensaios de fresamento frontal. O eixo-árvore possui uma rotação máxima de 7500 rpm, potência máxima de 12,5 CV e a interface de fixação de ferramenta no fuso da máquina é do tipo sede cônica ISO-40.

A ferramenta de corte utilizada foi a fresa, código 345 - 080Q27 - 13M, fabricada pela Sandvik Coromant. As dimensões da ferramenta são de 80 mm de diâmetro e capacidade para 6 insertos. O inserto utilizado possui código 345R-1305M-PM e revestimento de TiCN + Al₂O₃ + TiN.

Os parâmetros de corte utilizados foram: velocidades de corte de 165 e 210 m/min, avanço por dente de 0,15 e 0,30 mm/dente, profundidade de corte de 1 e 2 mm, a penetração de corte de 62 mm se manteve constante.

Para a medição da força de corte foi utilizado um dinamômetro da marca Kistler, modelo 9257 B. A aquisição dos sinais foi realizada a partir de um condicionador de sinais conectado a uma placa de conversão analógica/digital da marca Measurement Computing, modelo USB 1208SF, na frequência de 1,25 MS/s. Para cada teste foi utilizado um tempo de aquisição de dados de 120 s a uma taxa de 1000 Hz.

Para a medição da rugosidade foi utilizado um rugosímetro digital, modelo TR 220, fabricado pela Time Group Inc. Este equipamento tem resolução de 0,01 µm e comprimento de amostragem (cut-off) de 0,8 mm. A rugosidade foi medida 5 (cinco) vezes em diferentes posições da superfície usinada.

Para descartar a influência do desgaste da ferramenta, foi efetuada a troca dos inserts após 4 passes sobre o corpo de prova. (em nenhuma condição o desgaste médio de flanco VB_B passou de 0,1 mm).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 3 apresenta os testes realizados com os parâmetros de usinagem e condições de corte utilizados, esta configuração foi obtida a partir de pré-testes.

Tabela 3. Testes realizados, parâmetros de usinagem e condições de corte

Teste	v_c (m/min)	f_z (mm/rot)	a_p (mm)
1	165	0,15	1
2	210	0,15	1
3	165	0,30	1
4	210	0,30	1
5	165	0,15	2
6	210	0,15	2
7	165	0,30	2
8	210	0,30	2

A Tabela 4 apresenta a variação da força de corte (F_x) em função da vazão do óleo em 8 condições de corte diferentes.

Tabela 4. Variação da força de corte em função da vazão e na condição a seco

Vazões (ml/h)	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8
10	465,0 N	370,0 N	890,0 N	693,4 N	815,8 N	700,7 N	1810,0 N	1400,0 N
50	407,8 N	359,0 N	876,5 N	691,0 N	810,6 N	678,7 N	1780,0 N	1340,3 N
100	434,6 N	371,0 N	888,8 N	700,7 N	820,3 N	695,0 N	1810,0 N	1398,0 N
200	422,8 N	359,0 N	850,0 N	698,0 N	820,3 N	693,4 N	1753,0 N	1360,0 N
Seco	471,8 N	374,6 N	904,8 N	704,8 N	821,0 N	707,0 N	1919,0 N	1421,0 N

A Tabela 5 apresenta a diferença percentual entre as condições de vazões 10, 50, 100 e 200 ml/h comparadas com a condição a seco.

Tabela 5. Diferença percentual entre as vazões e a condição a seco

Comparação	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8	Média
Vazão de 10 ml/h -> Seco	1,44%	1,23%	1,64%	1,62%	0,63%	0,89%	5,68%	1,48%	1,83%
Vazão de 50 ml/h -> Seco	13,57%	4,16%	3,13%	1,96%	1,27%	4,00%	7,24%	5,68%	5,13%
Vazão de 100 ml/h -> Seco	7,88%	0,96%	1,77%	0,58%	0,09%	1,70%	5,68%	1,62%	2,53%
Vazão de 200 ml/h -> Seco	10,39%	4,16%	6,06%	0,96%	0,09%	1,92%	8,65%	4,29%	4,57%

Pode-se observar através da Tabela 4 que os melhores resultados referentes à força de corte foram obtidos com a vazão de 50 ml/h. Além disso, de acordo com a Tabela 5, as maiores diferenças percentuais apresentadas em relação às forças obtidas comparando a vazão de 50 ml/h e 200 ml/h com a condição a seco.

Em relação à rugosidade, a Tabela 6 abaixo apresenta os valores relativos a esta grandeza. É possível observar que os melhores resultados foram obtidos para a vazão de 50 ml/h e 200 ml/h.

Como a vazão de 50 ml/h é mais econômica, dado que esta consome menos fluido de corte, e, tendo em conta que a mesma produz uma redução na força de corte superior as outras vazões, além de apresentar uma rugosidade próxima à da vazão de 200 ml/h.

A média das porcentagens apresentam uma maior redução nas forças de corte, para a vazão de 50 ml/h, seguido pela vazão de 200 ml/h. As vazões de 100 ml/h e 10 ml/h apresentaram as menores reduções nas forças de corte respectivamente.

Tabela 6. Variação da rugosidade de corte em função da vazão

Vazões (ml/h)	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8
10	2,27 μm	0,80 μm	0,42 μm	0,36 μm	2,80 μm	1,19 μm	1,27 μm	0,35 μm
50	2,28 μm	1,08 μm	0,39 μm	0,48 μm	1,65 μm	1,33 μm	1,48 μm	0,73 μm
100	1,95 μm	1,22 μm	0,45 μm	0,40 μm	1,10 μm	0,94 μm	1,59 μm	0,31 μm
200	1,57 μm	1,14 μm	0,56 μm	0,52 μm	0,67 μm	2,10 μm	1,48 μm	0,28 μm

4. CONCLUSÃO

A partir dos experimentos realizados no fresamento frontal do aço 1045, foi possível notar que as menores forças de corte foram obtidas com a utilização dos parâmetros de corte $V_c = 210$ m/min, $f_z = 0,15$ mm/rot e $a_p = 1$ mm.

Enquanto as menores rugosidades foram obtidas utilizando os parâmetros $V_c = 210$ m/min, $f_z = 0,3$ mm/rot e $a_p = 1$ mm.

A utilização do óleo LB 2000 na condição de MQL, as menores forças foram obtidas com a vazão de 50 ml/h e as menores rugosidades com as vazões de 50 ml/h e 200 ml/h.

Sendo assim, partindo do ponto de vista econômico, concluímos que a vazão mais adequada para este processo de usinagem é a de 50 ml/h, tendo em vista que gera as menores forças de corte, gera uma rugosidade semelhante à rugosidade obtida com a vazão de 200 ml/h (que obteve os melhores resultados) ao mesmo tempo que consome uma quantidade 4 vezes menor de fluido que a vazão de 200 ml/h.

5. REFERÊNCIAS

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 87:2000. “Aço carbono e ligados para construção mecânica - Designação e composição química”, Rio de Janeiro.

Costa, I.S., 2019. “Uso de calorimetria para estimativa da distribuição do calor gerado no processo de furação de ferro fundido”, Tese de doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Ferraresi, D., 1970. “Fundamentos da Usinagem dos Metais”, 1ª Edição, Editora Edgard Blücher, São Paulo.

Groover, M.P., 2017. “Fundamentos da Moderna Manufatura”. Vol. 2, 5ª Edição, Editora LTC, Rio de Janeiro.

ITW Chemical Products Ltda, 2015. Disponível em: <<https://www.itwchem.com.br/produtos/>>. Acesso em: 10 de Mar. de 2022.

Lima, H.V., 2017. “Estudo sobre a temperatura no fresamento do aço ferramenta ABNT D2 empregando os métodos do termopar ferramenta/peça, termopar inserido e simulação numérica”, Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Machado, A.R., Abraão, A.M., Coelho, R.T., 2018. “Teoria da Usinagem dos Materiais”, 4ª Edição, Editora Edgard Blücher, São Paulo.

Taylor, F.W., 1906. “On The Art Of Cutting Metals”. Published by: The American Society of Mechanical Engineers 29 West 39th Street, New York.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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