

ANÁLISE DE UM DISPOSITIVO PARA APLICAÇÃO DE MÍNIMA QUANTIDADE DE FLUIDO NA RUGOSIDADE DO AÇO 1020

Samuel Lucas Toledo, samuel94toledo@gmail.com¹
Sílvia do Nascimento Rosa, silviarosa@utfpr.edu.br¹
Lucas Franco Wrege, lucaswrege@utfpr.edu.br¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Avenida Professora Laura Pacheco Bastos, 800 - Industrial, Guarapuava - PR, 85053-525.

Resumo. O processo de usinagem sem fluido de corte, mínima quantidade de fluido de corte (MQF), resfriamento criogênico, fluido a alta pressão e óleos vegetais biodegradáveis têm sido objeto de estudo para alguns autores, já que tais práticas contribuem para uma produção sustentável. Nesse entendimento este trabalho propõe o estudo do fresamento do aço 1020 utilizando um equipamento desenvolvido no Laboratório de Usinagem para o método de aplicação MQF para avaliar a rugosidade da superfície da peça usinada. Os experimentos foram realizados utilizando uma pastilha de metal duro revestida, três condições de lubri refrigeração (sem fluido, fluido semissintético e fluidos sintéticos) e velocidade de corte (230 m/min), avanço por dente (0,19 mm/rev.) e profundidade de corte (1 mm) constantes. Os resultados revelaram que o fluido semissintético proporcionou os menores valores de rugosidade e o sistema utilizado para aplicação do método MQF atendeu a função.

Palavras chave: Fresamento, aço ABNT 1020, MQF, rugosidade.

Abstract. The machining process without cutting fluid, minimum quantity of fluid (MQF), cryogenic cooling, high pressure fluid and biodegradable vegetable oils have been the object of study for some authors, since such practices contribute to sustainable production. In this understanding, this work proposes the study of the milling of 1020 steel using equipment developed at the Machining Laboratory for the MQF application method to evaluate the surface roughness of the workpiece. The experiments were carried out using a coating cutting tool, three cooling lubrication conditions (without fluid, semi-synthetic fluid and synthetic fluids) and constant cutting speed (230 m/min), feed per tooth (0,19 mm) and cutting depth (1 mm). Results revealed that the semi-synthetic fluid provided the lowest roughness values and the system used to apply the MQF method comply with the function.

Keywords: Milling, ABNT 1020 steel, MQF roughness.

1. INTRODUÇÃO

Durante o processo de usinagem, o calor e o atrito gerado entre a ferramenta e a peça, causam problemas em termos de vida de ferramenta e acabamento superficial. Para minimizar estes problemas, tradicionalmente os fluidos de corte são utilizados com a função de refrigeração e lubrificação. No entanto, o uso de fluidos de corte tem vários efeitos adversos, como poluição ambiental, dermatites em operadores, poluição da água e contaminação do solo durante o descarte (Adler *et al.*, 2006).

Apesar de todos estes problemas, para obter o resultado desejado de certas peças produzidas com uma determinada liga, se torna imprescindível a utilização de um fluido na operação. Assim, algumas técnicas são estudadas a fim de suprimir ou minimizar a quantidade de fluido de corte, como por exemplo, usinagem sem fluido de corte, resfriamento criogênico, MQF, resfriamento a alta pressão, nanofluidos, etc (Liewna *et al.*, 2017). Porém, cada técnica gera um custo diferente (referente a equipamentos, aquisição ou tipo de máquina conveniente para aplicação) e resultados diferentes na usinagem.

Nos processos em que a usinagem sem fluido de corte é prejudicial, a técnica MQF pode ser uma das alternativas para o uso consciente do fluido de corte contribuindo com a sustentabilidade. Isso porque, Silva e Wallbank (1999) formularam cálculos baseados na necessidade de uma vazão ideal, e chegaram à conclusão que a vazão para a técnica MQF pode chegar a ser de 0,1 ml/h. No trabalho de Krolczik *et al.* (2019) cita que a taxa média de fluido no sistema MQF fica em uma faixa entre 10 a 500 ml/h. Já para em um sistema convencional de usinagem, a vazão de fluido de corte durante a operação varia em torno de 5 l/min (Santos e Wisley, 2007).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar se um dispositivo simples e de baixo custo, desenvolvido no Laboratório de Usinagem da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Guarapuava, pode ser utilizado para a técnica de mínima quantidade de fluido (MQF), analisando a rugosidade no processo de fresamento para três diferentes tipos de fluido de corte e ainda comparar com a usinagem sem fluido de corte.

2. METODOLOGIA

2.1. Corpo de prova

O material foi adquirido nas dimensões de 50 x 25,4 x 1500 mm e cortado com o auxílio de uma serra fita. A rotação utilizada durante o corte foi obtida na própria máquina, que especifica a rotação conforme a liga do material. Após o corte, o comprimento e largura dos corpos de prova foram usinados em uma fresadora universal para garantir dimensões finais de 47 x 25,4 x 100 mm, conforme a Figura 1.

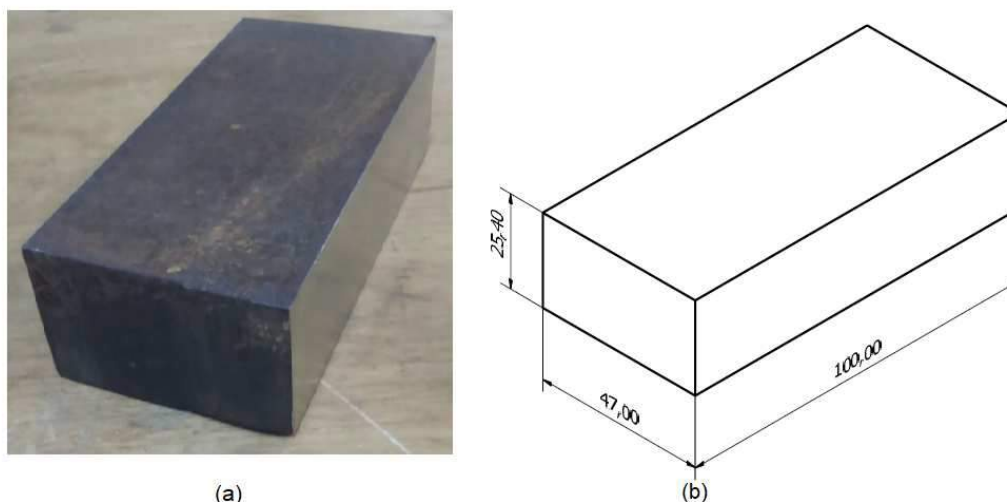


Figura 1. Corpo de prova (a) usinado e (b) as dimensões finais (Autoria própria).

Com esse procedimento conseguiu-se doze peças e parte do refugo foi utilizado para a caracterização do material. Para a caracterização do aço foi realizada a metalografia do aço e ensaio de dureza. Para a análise microestrutural, as amostras foram cortadas, embutidas e posteriormente lixadas com lixas de granulometria 300, 600 e 1200 mesh, respectivamente e polidas com a alumina em suspensão com granulometria média de 1µm. O ataque químico foi realizado com Nital 3% e o tempo de ataque foi aproximadamente de 7 segundos. O ensaio de dureza foi realizado em 10 pontos da superfície da peça, utilizando a escala Rockwell B, com o penetrador esférico de 1,58 mm de diâmetro e uma carga de 100 kgf.

2.2. Técnica de mínima quantidade de fluido

O dispositivo de aplicação de mínima quantidade de fluido utilizado trabalha com pressão de ar comprimido de 0,3 a 4 bar, em que o ajuste é feito com um filtro regulador de ar em conjunto com o manômetro, e o nebulizador é composto por um bocal para alimentação de fluido sobre a peça. A alimentação primária do sistema é fornecida diretamente do compressor com pressão de 6 bar, e a alimentação secundária que recebe esta pressão é ajustada para ser utilizada diretamente no dispositivo, sendo de 2 bar o ajuste feito para validação do sistema. Uma válvula de esfera tipo borboleta foi conectada à alimentação primária por meio de um niple duplo, para o fechamento e abertura durante o processo de usinagem com o sistema MQF. A Figura 2 mostra o sistema conectado à máquina do estudo.

Para testar a vazão do sistema foram realizados testes preliminares, para que a abertura da válvula do sistema correspondesse ao valor próximo àqueles especificados na literatura para a técnica MQF. Primeiramente foram realizados os testes com água e quando se chegou a um valor ideal, os testes com cada fluido foram então realizados. Para medir a vazão, o procedimento foi armazenar o fluido em um béquer de 1000 ml e depois medir com o auxílio de uma proveta de 25 ml.

Para o trabalho foram utilizados dois fluidos de corte sintéticos (RAISOL BIO N, denominado Sintético I e CORT SOL, denominado Sintético II), um fluido semi sintético (SIGMA 20/78, denominado Semi sintético) e um ensaio sem fluido de corte. Pelas informações encontradas no site da empresa a proporção ideal para trabalhos de usinagem em geral é de 1:20 para ambos os fluidos de corte.

ensaio foi realizada tréplica e o tempo de operação em cada corpo de prova foi de 12 minutos. Ao total foram 12 passadas para cada corpo de prova, ou seja, o corpo de prova ao final tinha um espessura de 13,4 mm. A cada réplica também era trocada a três pastilhas.

2.4. Ensaio de rugosidade

A medição da rugosidade aliada ao tipo de fluido foi realizada por um rugosímetro, da marca Mitutoyo e modelo SJ-410. Devido ao valor da largura de usinagem utilizada, a ferramenta passou quatro vezes pela superfície para atingir os 100 mm de comprimento e foi possível distinguir quatro regiões na superfície. Assim, a medição da rugosidade foi realizada na posição central destas quatro regiões, com uma única medição em cada região. Em seguida, foi calculada a média e desvio dos quatro resultados.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterização do aço

O resultado da dureza corrigido do aço utilizado para o experimento foi de $(79,00 \pm 6,12)$ HRB. A análise microestrutural do material usinado é mostrada na Figura 4, e mostra a forma com que os grãos estão distribuídos.

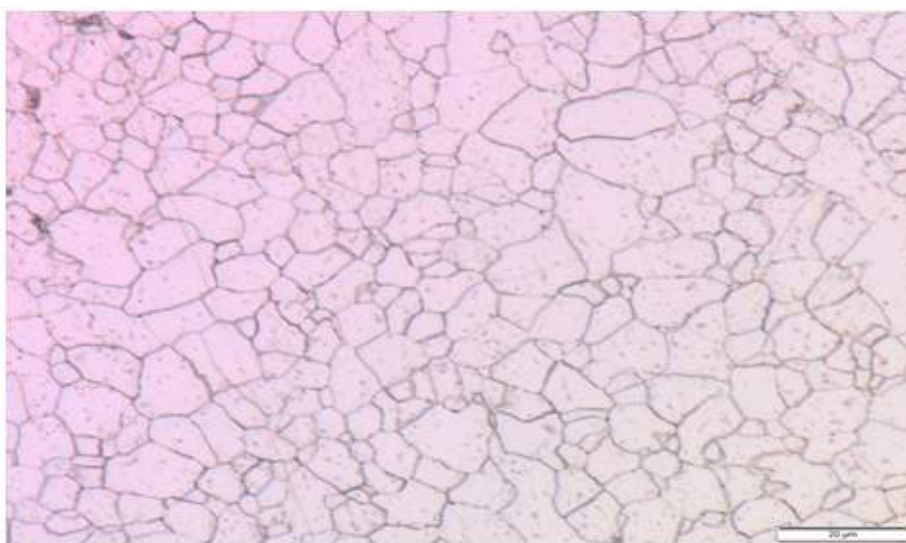


Figura 4. Micrografia do aço 1020 do estudo (Autoria própria).

Na Figura 4 é possível observar predominantemente grãos claros (ferrita) e poucos grãos escuros (perlita).

3.2. Análise da rugosidade

Ao final do processo de fresamento era medida a vazão do sistema para os diferentes fluidos e a Tabela 1 mostra os resultados da vazão. As medidas foram realizadas no primeiro e no segundo ensaio de cada corpo de prova para os três fluidos.

Tabela 1. Vazão para cada fluido de corte.

Tipo de fluido	Vazão 1º ensaio (ml/l)	Vazão 2º ensaio (ml/l)
Sintético I	62,4	90
Sintético II	69,6	127
Semi sintético	57,6	100,8

Pela tabela 1 percebe-se que os resultados das vazões com os diferentes fluidos variaram significativamente, e isso se deve ao tipo de ajuste do sistema. Mas mesmo com tal variação os valores ainda estão na faixa recomendada pela técnica

mínima de quantidade de fluido, conforme alguns autores chegaram à conclusão em seus trabalhos (Santos e Wisley, 2007; Krolczik *et al.*, 2019).

Os parâmetros de rugosidade utilizados para análise do estudo foram a distância média entre picos e vales (R_a), a média do comprimento entre pico máximo e vale mais profundo (R_z), altura máxima do perfil (R_t), altura máxima do pico (R_p) e profundidade máxima do vale (R_v). A Figura 5 mostra o resultado do R_a e se percebe que com a utilização do fluido semissintético e do sintético II o corpo de prova obteve a menor rugosidade média e para os dois fluidos essa rugosidade foi praticamente a mesma. Já a usinagem com fluido sintético I apresentou rugosidade média maior que a condição sem fluido de corte.

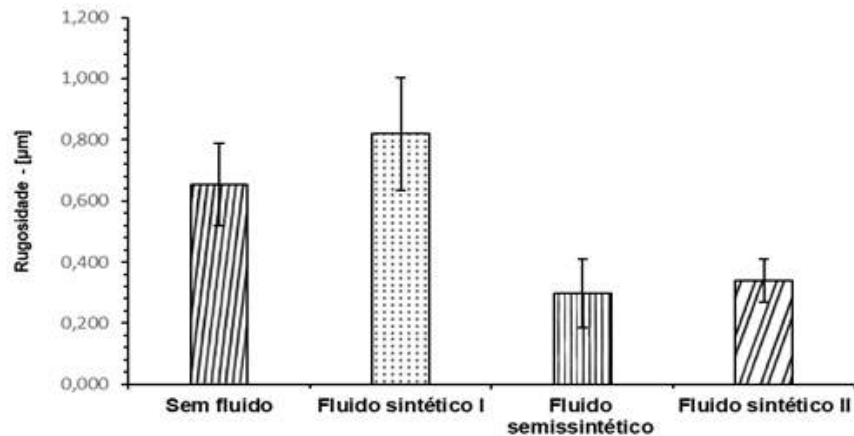


Figura 5. Rugosidade média nas quatro condições de corte (Autoria própria).

Como mostrado na Figura 6 os valores da rugosidade (R_z) sem fluido e com a utilização de fluido sintético I foram similares. Os menores valores de R_z foram na utilização do fluido sintético II e semissintético, sendo que para este último fluido o valor de R_z foi menor. Para o parâmetro da rugosidade total (R_t), que leva em conta parte do comprimento total avaliado, a condição com o fluido sintético I foi maior em relação ao mesmo parâmetro avaliado sem fluido. O resultado da dispersão desse parâmetro na condição do fluido sintético II foi menor tanto na avaliação (R_z) quanto (R_t), em contra partida, novamente o fluido semissintético obteve os melhores valores para as duas condições.

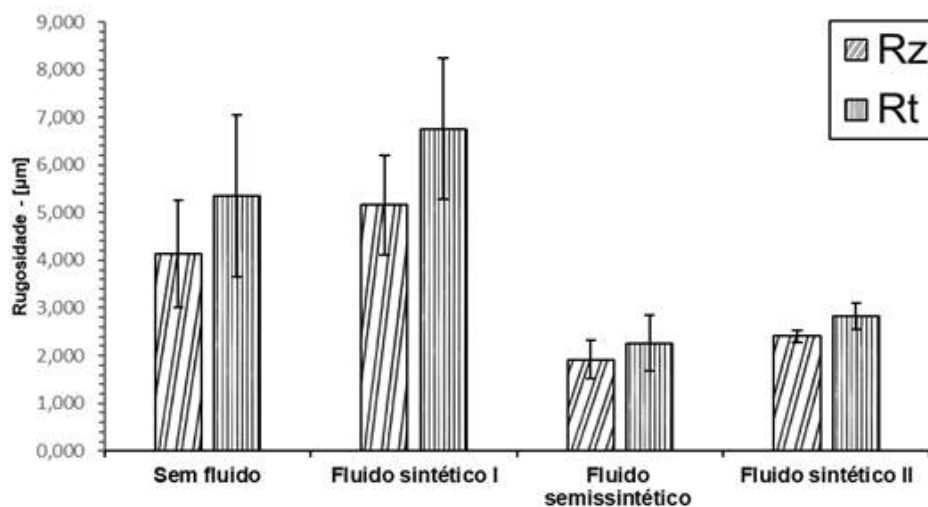


Figura 6. Alturas médias e máximas entre pico e vales (Autoria própria).

A figura 7 mostra os resultados de pico mais alto (R_p) e vale mais profundo (R_v). A avaliação do pico mais alto foi similar para a condição sem fluido e sintético I e obtiveram maiores valores. Na comparação do fluido semissintético com sintético II pouca foi a variação do resultado e os valores foram inferiores a aproximadamente metade daqueles encontrados sem fluido e sintético I. A profundidade de vale (R_v) com o fluido sintético I foi maior, porém a dispersão alta para a condição sem fluido foi a maior. Com o fluido sintético II e semissintético o valor foi próximo e menor se comparado com as duas condições anteriores.

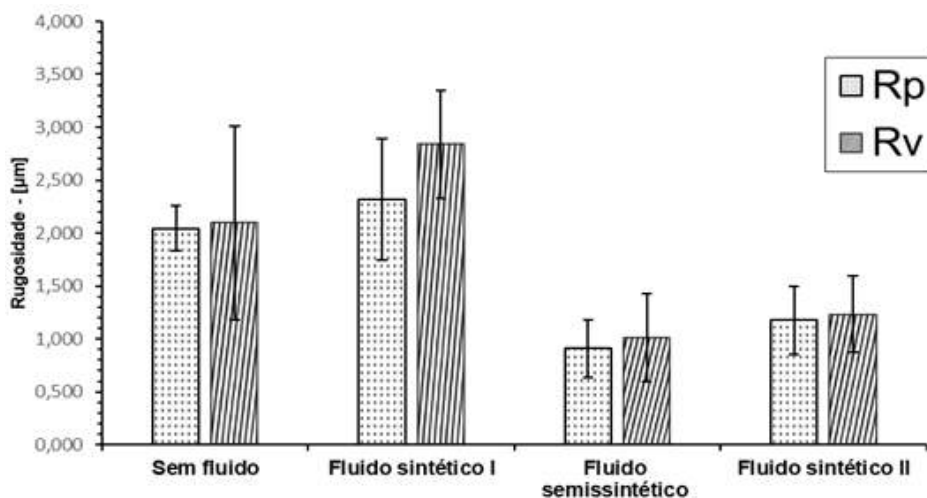


Figura 7. Alturas máximas de pico e vales. (Autoria própria).

De forma geral, os valores conseguidos em função dos quatro parâmetros avaliados estão dentro da faixa esperada do parâmetro de rugosidade (R_a) conforme a literatura descreve (Groover, 2014, p. 91). O que diferencia é o tipo de acabamento conseguido para cada uma das condições citadas, uma vez que as características do meio lubri refrigerante pode proporcionar um decréscimo significativo nos valores de rugosidade.

Para conseguir uma melhor compreensão dos valores de rugosidade, a superfície dos corpos de prova foi analisada no microscópio óptico. A figura 8 mostra o resultado das superfícies para o último passe de usinagem para as quatro condições estudadas.

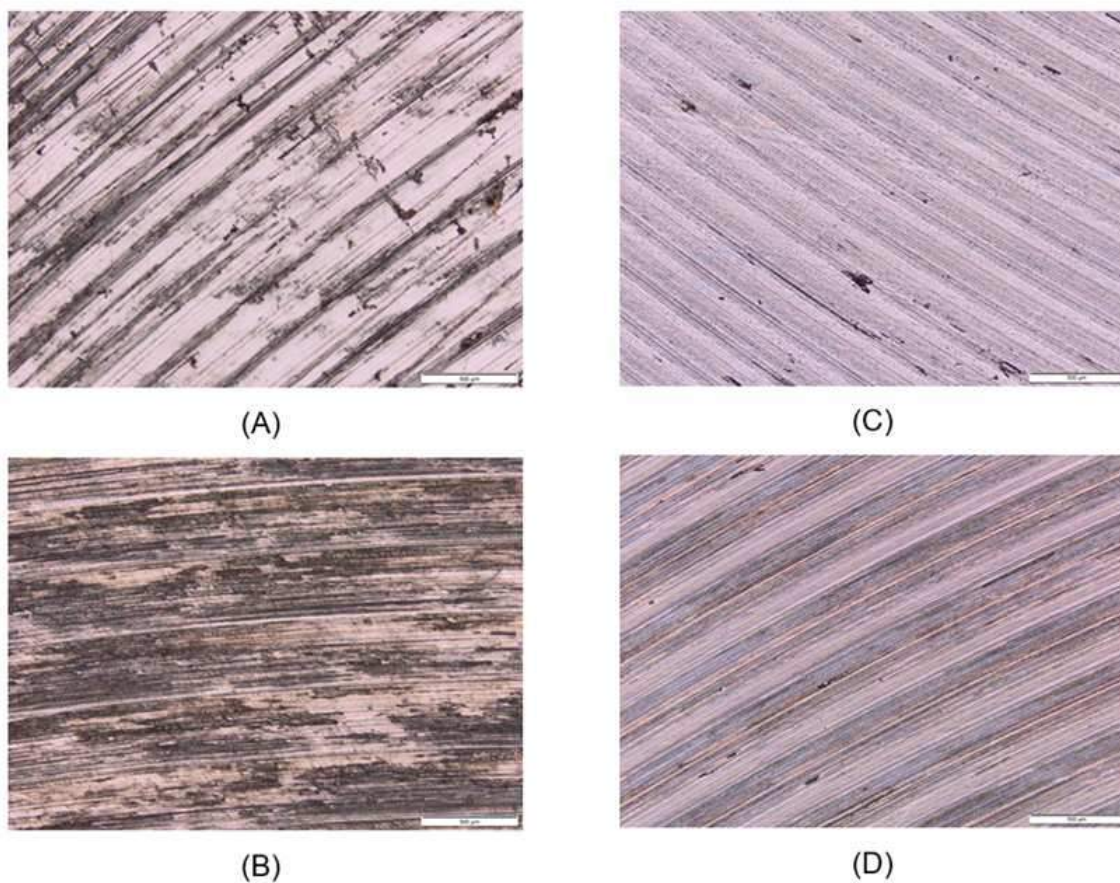


Figura 8. Avaliação superficial do material sem fluido (A), com fluido sintético I (B), semissintético (C) e sintético II (D) (Autoria própria).

Na superfície usinada sem fluido de corte, como pode ser visto na Figura 8 (A), foi observado riscos em todos os passes de máquina (lembrando que devido ao valor de ae utilizado a ferramenta percorre quatro vezes a superfície em um mesmo valor em z). A causa desses riscos pode ter relação devido à saída do cavaco ser deficiente, diferente das outras três condições com fluido de corte que promoveu um passe mais homogêneo em todos os corpos de prova.

Com a utilização do fluido sintético I, como mostrado na Figura 8 (B), a superfície ficou com um aspecto mais homogêneo devido à função do sistema MQF que provavelmente ajudou a expelir o cavaco da região de usinagem, porém sem um espelhamento, conseguido pelos outros dois tipos de fluido utilizados. Possivelmente, a não utilização de óleo mineral na composição do fluido, que torna o mesmo menos eficiente em ação lubrificante, não ofereceu à superfície esse espelhamento.

A alteração significativa dos parâmetros da rugosidade ocorreu com a aplicação dos fluidos semi sintético e sintético II, conforme a Figura 8 (C) e (D). As propriedades intrínsecas de cada um contribuíram para que os valores medidos da rugosidade R_a , vales mais profundos e picos mais altos tivessem valores abaixo daqueles medidos com a usinagem sem fluido e com o fluido sintético. O resultado foi uma superfície com melhor acabamento e com pontos de espelhamento. Uma provável diferença, devido o fluido sintético I não apresentar esse espelhamento e o sintético II apresentar espelhamento, pode estar ligado à composição diferentes desses fluidos. Em contato com a empresa, esta não passou informações suficientes para o autor.

Vale ressaltar que, o fluido de corte semi sintético possui 20 a 40% de óleo mineral na sua composição, que faz com que a característica do fluido seja leitosa e com grande capacidade de lavabilidade, impedindo que o cavaco gerado fique em contato por muito tempo com a superfície da peça. No resultado total das análises percebe-se que ao utilizar fluido não teve presença de riscos em nenhum corpo de prova, ou seja, o sistema conseguiu expelir o cavaco gerado durante o processo. Apenas na usinagem sem fluido ocorreu riscos aparentes e profundos nos passes.

Os resultados desse trabalho também são confirmados por outros trabalhos realizados com MQF, como o trabalho de Ribeiro (2017) e Ozbek e Saruhan (2020). Ribeiro (2017) estudou a aplicação de fluido de corte (a quatro níveis: sem fluido, MQF naftênico, MQF parafínico e jorro), velocidade de corte, profundidade de corte e avanço por dente (a dois níveis) no processo de fresamento no aço SAE 8640, em resposta com a força e rugosidade. Os resultados desse estudo mostraram que a substituição do jorro pelo MQF é possível, pois são estatisticamente semelhantes para o acabamento superficial e com o MQF indicou menor valor de força de usinagem.

Ozbek e Saruhan (2020) estudaram a influência de aplicação de fluido com MQF e sem fluido do torneamento do aço AISI D2 na temperatura, amplitude da vibração da ferramenta de corte, desgaste da ferramenta, rugosidade e vida da ferramenta. Os autores utilizaram dois tipos de ferramentas de corte (metal duro revestidas com PVD e CVD), três valores de velocidade de corte diferentes, avanço e profundidade de corte constantes. Os resultados do estudo revelaram que o desgaste da ferramenta, temperatura de corte, amplitude de vibração da ferramenta diminuíram em 23, 25 e 45% em comparação ao corte sem fluido. Com esse resultado a rugosidade foi melhorada em 89% e a vida da ferramenta aumentou em 267%.

4. CONCLUSÕES

De acordo com a metodologia do trabalho, conclui-se que a melhor condição para os parâmetros de rugosidade analisado foi aquela utilizando o fluido de corte semi sintético e que os valores de rugosidade média para todos os fluidos ensaiados ficaram em uma faixa aceitável para a condição de fresamento, conforme a literatura descreve. Por este resultado até mesmo sem fluido compensa usinar, dependendo das características superficiais do projeto. Quanto ao sistema desenvolvido e utilizado para o trabalho, o mesmo obteve bons resultados mesmo com variação, tornando assim, conforme literatura utilizada, um processo que está dentro do que é proposto para a aplicação da técnica de mínima quantidade de fluido.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR por viabilizar o incentivo à pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Adler, D.P.; Hii, W.W.S.; Michalek, D.J.; Sutherland, J.W. 2006. "Examining the role of cutting fluids in machining and efforts to address associated environmental/health concerns." *Journal Machining Science and Technology*, Vol. 10, p. 23-58.
- Groover, M.P. 2014. *Introdução aos Processos de Fabricação*. Grupo Editorial Nacional, Rio de Janeiro, 1ª edição.
- Krolczyk, G.M.; Maruda, R.W.; Krolczyk, J.B.; Wojciechowski, S.; Mia, M.; Nielsony, P.; Budzik, G. 2019. "Ecological trends in machining as a key factor in sustainable production – A review." *Journal of Cleaner Production*, Vol. 218, p. 601-615.

- Liewna, P.J.; Shaaronia, A.; Sidikb, N.A.C.; Yand, J. 2017. “An overview of current status of cutting fluids and cooling techniques of turning hard steel.” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 114, p. 380-394.
- Ozbek, O.; Saruhan, H. 2020. “The effect of vibration and cutting zone temperature on surface roughness and tool wear in eco-friendly MQL turning of AISI D2.” *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 9, p. 2762-2772.
- Ribeiro, A. de S. 2017. *Aplicação de mínima quantidade de lubrificante no fresamento do aço SAE 8640*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Brasília, Brasília.
- Silva, M.B.; Wallbank, J. 1999. “Cutting temperature: prediction and measurement methods—a review”. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.88, p. 195-202.
- Santos, S.C.; Wisley, F.S. 2007. *Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais*. Artliber, São Paulo, 1ª edição.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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