

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO FLUIDO DE CORTE NA USINAGEM EM FURAÇÃO PROFUNDA DE FERRO FUNDIDO VERMICULAR (CGI)

Gabriel Goes Garcia

Anderson de Souza Luna

Scania Latin América

gabrielgoesg@gmail.com, Andylunabmw@gmail.com

Adalto de Farias

Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo – SP, Brasil

afarias@fei.edu.br

Ed Claudio Bordinassi

Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo – SP, Brasil

edbordinassi@fei.edu.br

Resumo. O objetivo deste trabalho foi verificar por meio de ensaios utilizando um planejamento experimental fatorial 2^2 com duas réplicas, blocado, a influência do fluido de corte em conjunto com a influência da taxa de avanço na operação de usinagem de furação profunda de ferro fundido vermicular (CGI), foram avaliados a quantidade de furos, desvio dos furos e desgaste de flanco da ponta. Foram utilizadas como ferramenta de corte brocas canhão com canais internos de refrigeração, os parâmetros de usinagem utilizados foram a taxa de avanço de 0,020mm/rot e 0,035mm/rot com velocidade de corte fixa em 80m/min e 4 fluidos de corte de fabricação distintas para otimizar o processo de furação profunda. Na análise de variância do desgaste de flanco e do desvio máximo do furo, foi constatado que a influência do fluido de corte em furação profunda é desprezível quando comparado com a influência da taxa de avanço nesta operação. Também foi averiguado a existência de uma influência entre a rugosidade superficial da ferramenta de corte frente ao desgaste, contudo os resultados foram inconclusivos. Por fim constatou-se que a melhor combinação entre as variáveis de avanço e tipo de fluido de corte propostos pelo estudo foi a utilização do fluido de corte 3 e o maior avanço de corte (0,035mm/rot).

Palavra-Chave: Furação Profunda, Usinagem, CGI, Broca Canhão

1. INTRODUÇÃO

Os processos de usinagem ocupam uma posição de destaque em relação aos outros processos utilizados na fabricação de peças e componentes automotivos (Diniz, Marcondes, Coppini, 2013). Através dos processos de usinagem convencional que executam o corte por cisalhamento (torneamento, furação, fresamento, alargamento, retificação, rosqueamento, etc.) é possível dar à maioria dos materiais utilizados na indústria metal mecânica (aços, ferros fundidos e alumínio, dentre outros) as mais diversas formas, dimensões e acabamento, dentre outras características, a fim de se cumprir os requisitos de projeto (Diniz, Marcondes, Coppini, 2013 e Machado *et al.*, 2015). A operação de furação possui características intrínsecas, assim como todos os outros processos de usinagem, e muitas destas características são consideradas fatores complicadores do processo que merecem destaque (Machado, 2011).

A profundidade da furação a ser realizada esta diretamente relacionada com a dificuldade em se realizar a mesma a mesma, de forma que quanto mais profundo é o furo mais difícil é a remoção do cavaco, fazendo-se necessária a interrupção frequente do processo com a retirada da broca de dentro do furo, para que o cavaco e o calor possam ser removidos (Diniz, Marcondes, Coppini, 2013). Outra complexidade da furação é sua velocidade de corte da aresta de corte da broca, o qual é diretamente proporcional ao raio da aresta de corte, ou seja, existe um gradiente de velocidade de corte ao decorrer da aresta de corte da broca o qual varia de zero, ao centro, até o seu valor máximo na extremidade. Um outro problema frequente na furação é a falta de retilineidade da linha de centro, principalmente em furos longos. Em geral, a melhor retilineidade é conseguida quando tanto a peça quanto a ferramenta giram.

Segundo Machado (2011) além das dificuldades ao processo de furação onde a profundidade do furo é de até 5x o diâmetro nominal da broca, um dos desafios na utilização de brocas helicoidais é justamente a precisão do furo. Quando se verifica pela ótica da tolerância dimensional geométrica, este processo também enfrenta grandes desafios e dificuldade, de forma que para se garantir a precisão e a tolerância dimensional deve-se realizar uma furação rasa sendo ela com comprimento de furo sem ultrapassar até três vezes o valor do diâmetro da broca (L/D máximo da ordem de 3), para evitar desvios de excentricidade. Outro desafio da furação profunda é a lubri-refrigeração da região da aresta de corte, em que algumas vezes se utilizam canais internos nas brocas para melhorar ambas refrigeração e lubrificação da ferramenta.

O objetivo deste trabalho foi verificar por meio de ensaios, utilizando um planejamento experimental a influência do fluido de corte em conjunto com a influência da taxa de avanço, na operação de usinagem de furação profunda de ferro fundido vermicular (CGI)

2. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi baseada em um planejamento experimental dos ensaios que visou atribuir confiabilidade estatística ao processo, especialmente para validação dos resultados obtidos das usinagens.

Foram utilizadas como ferramenta de corte brocas canhão de um canal de saída de cavacos reto com uma aresta de corte. As dimensões da broca foram Ø6mm e comprimento útil de corte de 280mm, com canais internos de refrigeração do fabricante da ferramenta ISCAR. a Figura 1 apresenta a broca utilizada, é possível identificar também a haste cilíndrica padrão para fixação na pinça da máquina. Todas as brocas foram numeradas na haste de fixação para facilitar sua identificação junto às análises.

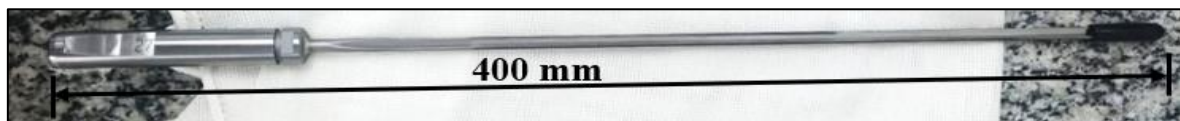


Figura 1 Broca para furação profunda.

Os ensaios de furação realizados no centro de usinagem G550 da marca GROB, do Centro de treinamento (CT) da própria empresa GROB, o qual pode ser observado na Figura 2 (a) e na Figura 2 (b) o processo de furação.



(a)



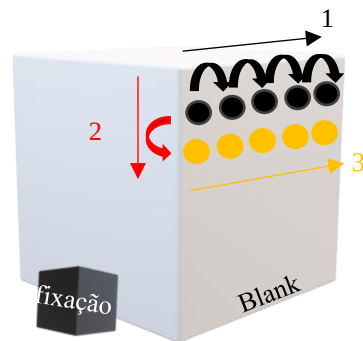
(b)

Figura 2 Máquina Ferramenta do tipo horizontal modelo G550 fabricante GROB (a) e (b) o processo de furação realizado.

Os corpos de prova em ferro fundido de grafita compactada (CGI), composição química verificada pela norma ASTM A 751, foram fornecidos pela empresa TUPY sendo blocos prismáticos com dimensões em bruto de 262x154x101mm contendo massa aproximada de 30kg cada peça. Os blocos foram esquadrejados em processo de fresamento para as dimensões de $255^{+0,5}_{-0,5} \times 150^{+1}_{-1} \times 100^{+1}_{-1}$ mm visando facilitar o processo de fixação na máquina de usinagem. Para cada bloco foram efetuados até 50 furos para a mesma condição de fluido de corte e taxa de avanço. A Figura 3(a) apresenta a fixação do tipo morsa utilizada no estudo e a estratégia de furação utilizada, na Fig. 3(b) as setas indicam a ordem de movimentação da broca.



(a)



(b)

Figura 3 (a) Fixação do tipo morsa utilizada no estudo e (b) estratégia de furação utilizada.

2.1 Avaliação do desgaste e dos desvios

Para a caracterização das ferramentas foram feitas medições na empresa ISCAR em um microscópio ótico multifocal do fabricante ALICONA, modelo InfiniteFocus. Foram avaliados o desgaste de flanco da ponta e aresta de corte das brocas usadas. A Figura 4 (a) e Figura 4 (b) apresentam o equipamento usado para a caracterização da ponta das brocas.



(a)



(b)

Figura 4 (a) Microscópio ótico multifocal do fabricante ALICONA. (b) Broca canhão apoiada no dispositivo de fixação.

Para a medição dos desvios dos furos passantes foi utilizada uma máquina de medição por coordenadas do fabricante Mitutoyo modelo QM-Measure 353, Figura 5 (a), com um cabeçote de medição da Renishaw MH20 que pode ser visto na Figura 5 (b), o desvio dos furos passantes foram avaliados através da medição da coordenada de posição do furo na face de entrada da broca na peça e da coordenada do furo passante na face contrária da peça. O desvio medido foi a resultante entre as coordenadas ortogonais de medição X e Y da máquina. Como todas as faces do blank foram fresadas anteriormente à furação foi possível garantir que o erro proveniente das imperfeições nas faces fosse desconsiderado.



(a)



(b)

Figura 5 (a) Máquina de medição por coordenadas (b) detalhe da medição em uma das faces

2.2 Planejamento

A escolhas dos dados de corte, taxas de avanço $f_n:0,020$ mm/rot e $f_n:0,035$ mm/rot, foi definida a partir do catálogo do fabricante da ferramenta ISCAR, o qual visou obter o melhor desempenho para a ferramenta de forma segura.

A utilização dos fluidos de corte, B-COOL 9665® (fluido de corte 1 - Blaser), PE-258® (fluido de corte 2 - FUCHS), Emulcut 160® (fluido de corte 3 - Petrofer) e QUAKERCOOL®760 CG (fluido de corte 4 - Quaker Houghton), está associada ao fato da doação dos fluidos para a realização do estudo, sendo estes os mais indicados pelos próprios fabricantes para a utilização junto a usinagem de ferro fundido vermicular do tipo CGI. O planejamento fatorial do estudo pode ser observado na Tabela 1. Foram executadas três réplicas para cada ensaio visando melhorar a avaliação da variância nos resultados. Ao todo foram efetuados 24 ensaios, sendo que para cada uma das combinações da Tabela 1 foram executados até 50 furos em cada um dos corpos de prova, totalizando 1050 furos usinados. A ordem de execução dos ensaios não foi aleatorizada, o motivo se deve à dificuldade no preparo do tanque de refrigeração da máquina com o fluido a ser ensaiado. Uma vez carregada com o fluido todas as condições do planejamento deviam ser executadas. Para cada troca o tanque foi lavado de forma a não contaminar e/ou alterar as propriedades dos fluidos ensaiados.

Tabela 1 - Tabela de planejamento experimental do estudo

Ordem	fn [mm/rot]	Fluido de Corte
1	0,020	1
2	0,035	1
3	0,020	2
4	0,035	2
5	0,020	3
6	0,035	3
7	0,020	4
8	0,035	4

Além do fluido e taxa de avanço, empregados no estudo como parâmetros variáveis, os seguintes parâmetros fixos foram controlados de forma a homogeneizar os ensaios e facilitar a comparação dos resultados, Tabela 2.

Tabela 2 Parâmetros fixos

Parâmetro fixo	Valor
Broca canhão inserto classe K15	Ø 6h5 mm com refrigeração interna fabricante ISCAR
Velocidade de corte	80 m/min
Profundidade de furação - Passante	255 mm
Temperatura do fluido de corte	20°C a 22°C
Pressão do fluido de corte	80 bar
Vazão do fluido de corte	15 l/min
Limite de furos por broca	50 furos
Concentração da emulsão	10% ^{+0,5%} _{-0,5%}

Para análise dos resultados foram definidos os parâmetros de entrada e de saída conforme ilustrado na Fig. 6.



Figura 6 Parâmetros de entrada e saída

3. RESULTADOS

Como resultado deste estudo pretendeu-se obter a melhor combinação de avanços juntamente ao melhor fluido de corte para usinagem de ferro fundido CGI, de forma a obter o menor desgaste de flanco da ferramenta utilizada onde será otimizado o processo de furação profunda deste material.

A Tabela 3 apresenta os resultados para a análise das emulsões de cada fornecedor, a avaliação da concentração foi feita com base na titulação da emulsão e os testes de espuma Schaeffler e Scania, com base na ASTM D-1881-17(2017). Os fluidos foram fornecidos pelos respectivos fabricantes já na diluídos em água conforme apresentado na Tabela 3. O fluido 3 apresentou um desvio na sua concentração superior ao especificado na Tabela 2.

Tabela 3 Avaliação da concentração e formação de espuma.

Fluido de corte	Concentração [%]	Espuma_Schaeffler [ml]	Espuma Scania [seg]
1	9.5	15	14.09
2	10	20	5.77
3	11.2	22	13.19
4	9.5	16	6.66

A Fig. 7 apresenta a média dos desvios nos furos executados nos ensaios e o valor do desgaste de flanco na ponta da broca, e na Fig. 8 é apresentada a quantidade média de furos executados nos ensaios, valores inferiores a 50 furos indicam que houve quebra ou a flambagem da ferramenta durante a execução de um ou mais ensaios.

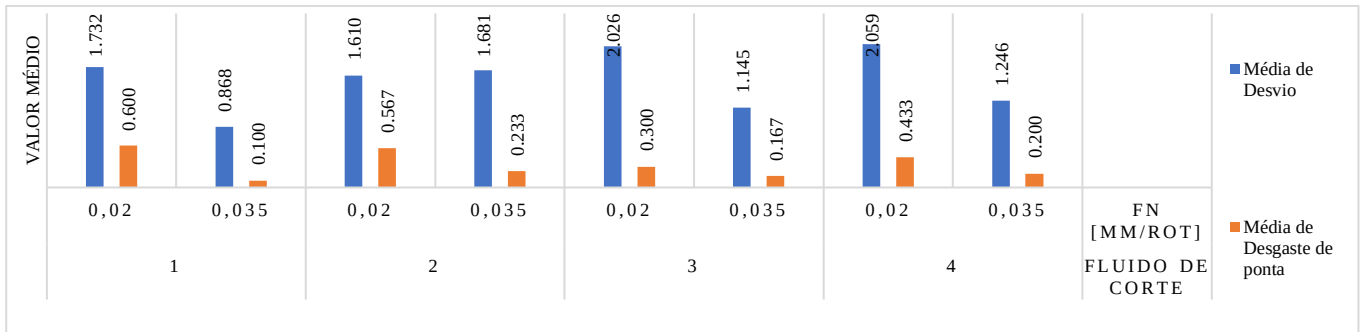


Figura 7 Resultados do processo de furação profunda, valor médio de desgaste de flanco e valor médio de desvio .

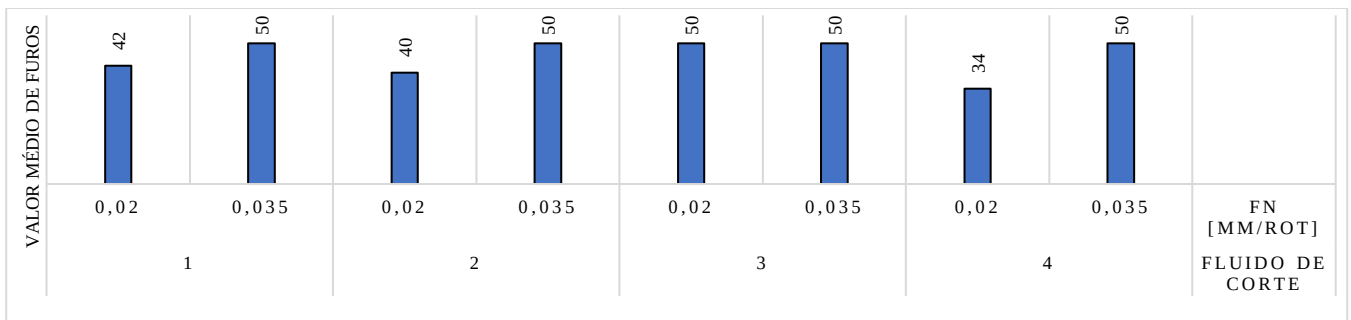


Figura 8 Resultados do processo de furação profunda, valor médio de furos realizados.

4. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 4 apresenta a análise de variância para a resposta do Desvio máximo da broca em milímetros, revelou que o parâmetro fn (mm/rot) apresenta influência significativa a ponto de poder ser correlacionado com as variações observadas nos valores da resposta. Esta influência se observa através da verificação de um valor p-value inferior a 0,05, que indica que a hipótese nula (de igualdade das amostras avaliadas) é descartada e a hipótese alternativa é válida, portanto, existe diferença na variância dos resultados para o parâmetro indicado.

Tabela 4 Análise de variância para o desvio máximo.

Fonte	GL	SQ	QM	F	p-value
fn [mm/rot]	1	2,319	2,318	4,67	0,044
Fluido de corte	3	0,501	0,167	0,34	0,800
Erro	19	9,442	0,497		

Nota-se junto a Fig. 9 que para os parâmetros de avanço contendo o menor valor apresentaram um maior desvio independente do fluido de corte, o oposto ocorre quando aumentamos o avanço, porém o fluido de corte 2 foge à regra, de forma a ser observado um pequeno delta de variação no desvio máximo para este fluido de corte. Uma das possíveis causas para que este fluido tenha fugido a regra geral de desgaste possa ser o seu balanceamento entre uma maior quantidade de espuma (método de quebra de Espuma Schaeffler) como visto na Tabela 3.

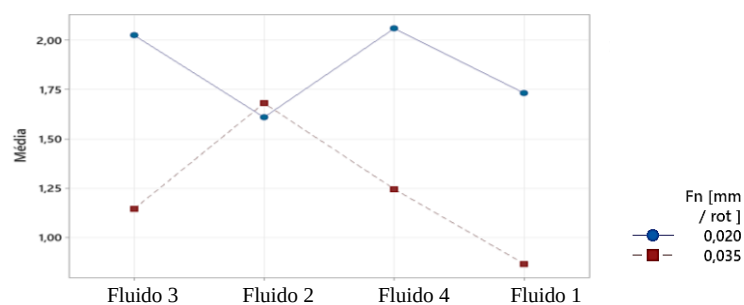


Figura 9 Gráfico de interação para desvio máximo em milímetros

Pode ser visto na Fig. 10 que de modo geral os fluidos de corte tiveram um valor de desvio máximo bem aproximado em torno de 1,65 mm. O fluido de corte 1 foi o que obteve a menor média de desvio máximo, obtendo valor de 1,3 mm, junto a esse parâmetro pode-se afirmar que a tendência dos desvios foi de se mantarem a fim de obterem uma qualidade

IT18. Junto aos efeitos principais fica notória também a influência do avanço frente ao desvio, onde foi obtido valor de 1,85 mm utilizando o avanço de 0,020 mm/rot e um desvio máximo menor para o avanço de 0,035mm/rot.

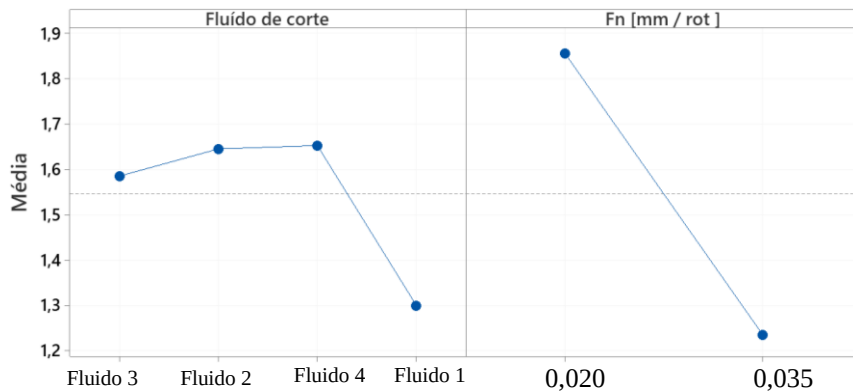


Figura 10 Efeitos principais para desvio máximo.

A análise de variância para a resposta da quantidade de furos das brocas, apresentadas na Tab. 5, revelou que a taxa de avanço apresenta influência significativa a ponto de poder ser correlacionado com as variações observadas nos valores da resposta. Verificou-se que todos os fluidos apresentaram uma variação na quantidade de furos realizados, conforme Fig. 11, sendo que para o avanço de 0,035 mm/rot todos os fluidos realizaram 50 furos, porém quando utilizado o avanço de 0,020 mm/rot os fluidos variaram de 34 furos a 50 furos (Fig. 12) onde o fluido com melhor resultado foi o fluido de corte 3, e o pior foi o fluido de corte 4.

Tabela 5 Análise de variância para quantidade de furos realizados.

Fonte	GL	SQ	QM	F	p-value
fn [mm/rot]	1	442,0	442,04	6,94	0,016
Fluido de corte	3	198,1	66,04	1,04	0,399
Erro	19	1210,8	63,73		

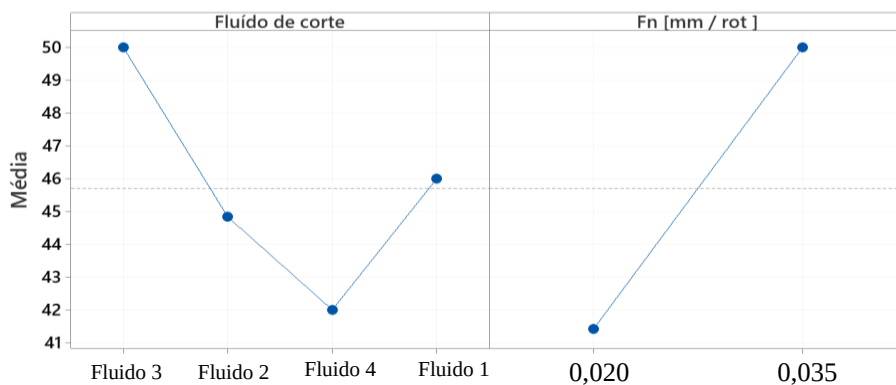


Figura 11 Efeitos principais para quantidade de furos realizados

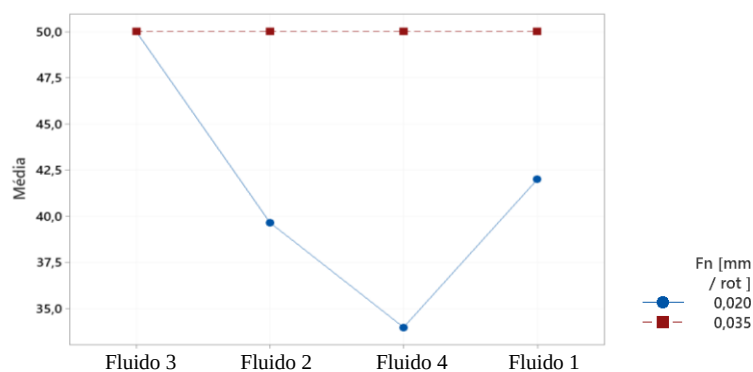


Figura 12 Gráfico de interação para quantidade de furos realizados

A análise de variância para a resposta de desgaste de ponta das brocas, conforme apresentado na Tab. 6, revelou que o parâmetro f_n (mm/rot) apresenta influência significativa a ponto de poder ser correlacionado com as variações observadas nos valores da resposta.

Tabela 6 Análise de variância para desgaste de ponta

Fonte	GL	SQ	QM	F	p-value
f_n [mm/rot]	1	0,540	0,540	15,16	0,001
Fluido de corte	3	0,088	0,029	0,83	0,495
Erro	19	0,677	0,036		

Para os efeitos principais de desgaste de flanco da ponta da broca nota-se que os fluidos tiveram um desgaste variado, conforme apresentado na Fig. 13, sendo que os fluidos de corte 2 e 4 obtiveram valores próximos a 0,42 mm ficando acima da média geral de 0,35 mm. O fluido de corte 1 apresentou seu valor de desgaste na média e o fluido de corte 3 obteve o menor valor de desgaste de ponta, o que pode ter contribuído para a estabilidade do processo de furação garantindo que todos os 50 furos fossem realizados para todas as brocas utilizando este fluido em ambos os avanços.

Nota-se também, a relação do avanço e o desgaste de flanco de ponta, a influência do menor avanço (0,020 mm/rot) correlacionada a um desgaste maior com valor médio próximo a 0,55 mm, comparado com 0,15 mm de desgaste obtidos para o avanço de 0,035 mm/rot.

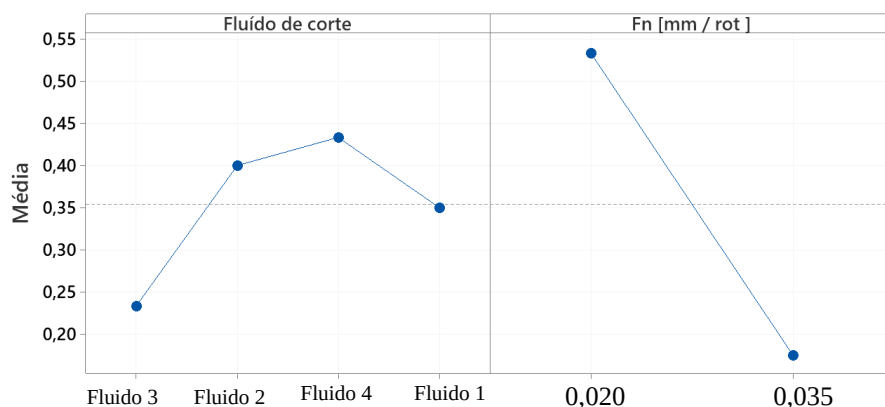


Figura 13 Efeitos principais para desgaste de flanco na ponta.

Para a interação do desgaste de flanco de ponta em função da taxa de avanço, conforme apresentado na Fig. 14, foram obtidos valores maiores de desgaste, próximos de 0,65 mm, quando utilizada a taxa de avanço menor, o oposto ocorre quando se utiliza o avanço maior, chegando a valores de aproximadamente 0,15 mm.

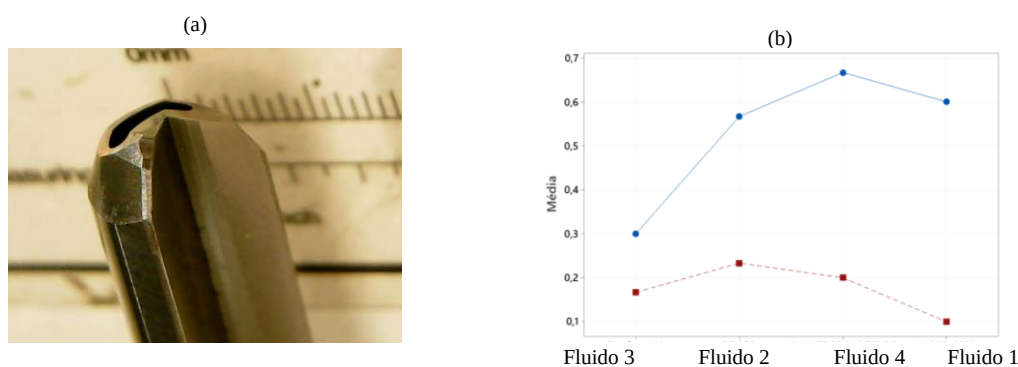


Figura 14 (a) Imagem do desgaste de flanco na ponta da broca, (b) Gráfico de interação para desgaste na ponta.

5. CONCLUSÕES

Frente aos resultados apresentados pode ser afirmado, com 95% de confiança, que o parâmetro de taxa de avanço tem grande influência na vida útil das brocas, na quantidade de furos executados e na qualidade ou desvio do furo na usinagem de peças em ferro fundido vermicular. O aumento do avanço faz com que haja o aumento do calor imputado no processo, porém também faz com que haja um aumento da área da ferramenta que recebe este calor (Diniz, Marcondes, Coppini, 2013) e isto faz com que o calor seja mais bem distribuído pela ferramenta e a vida útil da ferramenta aumente.

Conclui-se que a melhor condição usinagem para este estudo é a utilização de uma taxa de avanço maior, junto ao fluido de corte 3, pois mesmo tendo baixa relevância em comparação a taxa de avanço este fluido se mostrou mais

eficiente quando comparado com os outros fluidos estudados e ele é um parâmetro importante para a furação profunda, desta forma se garantirá a maior produtividade do processo. Um ponto a ser observado em relação ao fluido 3 é que sua concentração se encontrava em uma condição acima do especificado (maior do que 10%+/-0,5%). Este fato pode ter influenciado os resultados de desempenho, porém para este estudo a característica da concentração do fluido não foi levada em consideração. Ressalta-se que o fluido de corte tem sua importância no processo de furação profunda, todavia, foi possível verificar a notória influência da taxa de avanço junto ao processo de furação profunda como um todo, fazendo assim com que o fluido de corte fique em segundo plano.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário da FEI por permitir a realização deste estudo, empresa SCANIA LATIN AMERICA pelo apoio e suporte para a realização deste estudo, empresa TUPY que sem a doação dos corpos de prova este trabalho não seria possível, empresa ISCAR pela ajuda e mapeamento das características da broca por meio do ALICONA, à empresa GROB pela parceria na utilização da máquina ferramenta do centro de treinamentos da empresa e às empresas BLAZER SWISSLUPE, PETROFER, QUAKER HOUGHTON e FUCHS pelas doações do fluido de corte

7. REFERÊNCIAS

- ASTM D1881 – 17, 2017. Standard Test Method for Foaming Tendencies of Engine Coolants in Glassware. ASTM International.
- Diniz, A. E., Marcondes, F. C., Coppini, N. L., 2013. Tecnologia da usinagem dos materiais. Artliber. 8ª Edição. Silva, L. R. R., 2020. Estudo da usinabilidade de ferros fundidos vermiculares de alta resistência nos processos de furação e fresamento. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.
- Machado, A. R.; Abrão, A. M.; Coelho, R. T.; Silva, M., 2015. Teoria da usinagem dos materiais. Blucher. 3ª Edição.
- Machado, C.A.M., 2011, Estudo Comparativos de Diferentes Geometrias de Corte em Broca de Metal Duro com Canal Reto em Ferro Fundido Cinzento. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

8. 5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

CUTTING FLUID INFLUENCE ANALYSIS IN DEEP DRILLING MACHINING OF VERMICULAR CAST IRON (CGI)

Gabriel Goes Garcia

Anderson de Souza Luna

Scania Latin América

gabrielgoesg@gmail.com, Andylunabmw@gmail.com

Adalto de Farias

Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo – SP, Brasil

afarias@fei.edu.br

Ed Claudio Bordinassi

Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo – SP, Brasil

edbordinassi@fei.edu.br

Abstract. The objective of this work was to verify through tests using an experimental planning the influence of the cutting fluid together with the influence of the feed rate in deep drilling machining of vermicular cast iron (CGI). Deep hole drills with internal cooling channels were used as the cutting tool. The machining parameters used were the feed rate of 0.020 mm/rev and 0.035 mm/rev with a fixed cutting speed of 80 m/min and 4 cutting fluids of distinct manufacturers to optimize the deep drilling process. In the analysis of variance of wear and the maximum deviation of the hole, it was found that the influence of the cutting fluid in deep drilling is negligible when compared to the influence of the feed rate in this operation. Finally, it was found that the best combination between the study variables, was the use of cutting fluid 3 and the highest feed rate of 0.035 mm/rev.

Keywords: deep hole drilling, machining, CGI, cast iron.

9. RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.