

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE CORTE E DA GEOMETRIA DAS FERRAMENTAS NA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DE PEÇAS TORNEADAS

Daniela Carla Silva de Souza¹

Edson Roberto da Silva²

RESUMO

Os parâmetros de corte utilizados durante os processos de usinagem tem grande influência na rugosidade superficial da peça usinada, levando em consideração, que, quanto menor a rugosidade melhor é o acabamento superficial. O presente trabalho, foi elaborado com o objetivo de analisar a rugosidade superficial em corpos de prova fabricados com dois diferentes materiais: o ferro fundido nodular e o alumínio. As duas ferramentas possuem diferentes raios de ponta, uma com 0,4 mm e outra com 0,8 mm e dois diferentes avanços do torno, um com 0,079 mm/rot e outro com 0,223 mm/rot, eles foram utilizados com o intuito de verificar a influência individual e a combinada de cada parâmetro. Os testes de usinagem foram realizados em um torno convencional, cujo acabamento superficial foi verificado com o auxílio de um rugosímetro. De posse dos resultados de rugosidade foi feita uma análise de variância (ANOVA), para a apresentação dos resultados. Essa pesquisa mostrou que o tipo do material da peça e o avanço do torno influenciam a rugosidade das peças usinadas e, conseqüentemente, sobre o seu acabamento.

Palavras chave: Usinagem. Rugosímetro. Raio de ponta. Análise de Variância.

¹ Graduanda de Engenharia de Produção pela Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia de Produção.

² Orientador, Professor Mestre da Faculdade de Engenharia Mecânica.

1 INTRODUÇÃO

A usinagem é um importante processo de fabricação, pois produz peças com grandes qualidades superficiais e de formatos variados. Uma particularidade, que a usinagem tem em relação a outros processos de fabricação é a produção de cavaco como sub produto no instante em que se confere as peças usinadas formato, acabamento e dimensão através de uma ferramenta de corte (FERRARESI, 1970). Virabrequim, cabeçote, pistões, bloco de motor, entre outros, são exemplos de peças que passam pela usinagem em algumas de suas etapas de fabricação.

Dentro dos principais processos convencionais de usinagem, destaca-se o torneamento, no qual a peça gira em torno do eixo principal de rotação da máquina, enquanto a ferramenta se desloca seguindo uma trajetória qualquer, possibilitando a remoção de material e modelagem da peça (COSTA, SANTOS, 2006). Em linhas gerais, as peças torneadas são sólidos de revolução, como eixos, buchas, pinos, entre outros. A maioria das máquinas presentes na indústria possui peças torneadas, devido à grande importância deste processo, daí a escolha como objeto de estudo para esse trabalho.

A escolha do processo de usinagem está ligado diretamente ao tipo de peça e o acabamento que se quer obter. Além da escolha correta do processo de usinagem, determinar a geometria da ferramenta e os parâmetros de corte é fundamental para se fabricar peças com acabamento satisfatório.

O conjunto de irregularidades (erros micro geométricos), presentes na superfície de toda a peça usinada é conhecida como rugosidade superficial. Segundo Machado et al (2015), a rugosidade superficial depende de vários parâmetros como: a operação de usinagem, propriedades do material da peça, geometria e o material da ferramenta e até a própria condição da máquina-ferramenta.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência de dois diferentes materiais, dois avanços e duas ferramentas sobre o acabamento superficial das peças por meio de um torneamento cilíndrico externo. Para tanto, 16 corpos de prova, 8 de alumínio e 8 de ferro fundido nodular, foram torneados com dois diferentes avanços, 0,079 e 0,223 mm/rot, e duas ferramentas com diferentes raios de ponta, 0,4 mm e 0,8 mm. Todas as variáveis em estudo foram combinadas entre si durante os testes de usinagem e o método adotado para verificar o acabamento superficial foi a medição da rugosidade superficial e para a apresentação dos resultados foi feita uma análise de variância.

1.1 GEOMETRIA DAS FERRAMENTAS E ACABAMENTO SUPERFICIAL

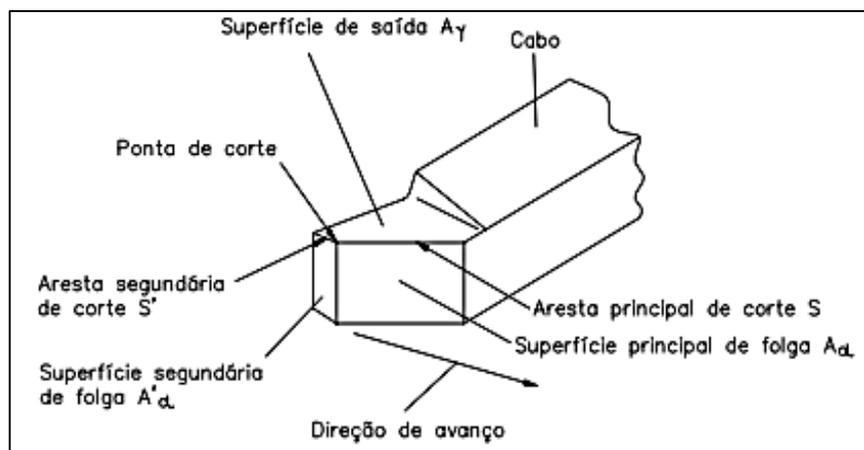
A geometria das ferramentas apresenta uma ampla influência na usinagem dos metais (MACHADO, et al. 2015), são compostas por um conjunto de propriedades geométricas que possuem grande atuação na formação e eliminação de cavacos, na vida útil da ferramenta, na segurança e estabilidade da usinagem em determinado metal.

A escolha adequada para a geometria da ferramenta de corte é realizada através da necessidade do processo de usinagem utilizado, do material usinado e a posição da ferramenta em relação à peça produzida. Através desses parâmetros são estabelecidos os ângulos referentes à ferramenta.

Como pode ser observado na FIGURA 1 mostra uma ferramenta de torno com suas respectivas arestas e superfícies de corte.

Em termos explicativos, de acordo com os autores Diniz, Marcondes e Coppini (2013), o ângulo da cunha ou gume cortante é composto pelas superfícies de folga e saída da ferramenta. E em relação ao movimento entre peça e ferramenta, obtém-se a retirada de cavacos através da cunha de corte. As superfícies são associadas de acordo com a relevância de ambas. A superfície de folga ($A\alpha$) como o próprio nome simplifica é a folga existente entre a superfície usinada e a ferramenta. Na superfície de saída ($A\gamma$) o cavaco desliza sobre a mesma. As arestas de corte são formadas pelas superfícies de folga e saída com o ponto de corte e a junção das arestas principais e secundárias de corte.

FIGURA 1 – Geometria de uma ferramenta para torno



Fonte: (COSTA, SANTOS, 2006).

Quanto aos ângulos associados à geometria da ferramenta, podem ser de origem positivo ou negativo (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2013). Se o ângulo for negativo exerce maior

força da ferramenta, com isso a temperatura de usinagem aumenta e ocasionalmente o desgaste da ferramenta é inevitável. E ângulos positivos exercem menor força e são mais indicados para acabamentos.

Outro fator associado a geometria das ferramentas é o acabamento superficial das peças usinadas. Segundo os autores Dotto, et al. (2014), a rugosidade de uma peça é influenciada desde o processo de fabricação à geometria da ferramenta juntamente com os parâmetros de corte, o avanço e o raio de ponta da ferramenta.

Diniz, Marcondes, Coppini (2013), citam que o acabamento superficial de uma peça é influenciado pela relação entre o avanço e o raio de ponta, apresentado na equação (1):

$$R_{max} = \frac{f^2}{8re} * 1000 [\mu m] \quad (1)$$

Onde:

R_{max} = Rugosidade máxima;

f^2 = avanço;

re = raio de ponta.

Quanto maior o raio de ponta da ferramenta, menor a rugosidade e melhor o acabamento superficial, no entanto, maior será a vibração por causa do contato com a peça (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2013).

1.2 RUGOSIDADE SUPERFICIAL E USINABILIDADE DOS METAIS

A rugosidade superficial é formada por erros microgeométricos e pequenas irregularidades que são obtidas durante o processo de usinagem, na geração e remoção de cavacos. Entre eles estão o desgaste da ferramenta, marcas do avanço na peça usinada e entre outras (MACHADO, et al. 2015).

A peça usinada é submetida a análises frequentes para a quantificação da rugosidade, que é realizada através de um aparelho específico para a medição da mesma, mais conhecido como rugosímetro (MACHADO, et al. 2015).

De acordo com Pereira (2006) a rugosidade das superfícies usinadas no processo de torneamento, possui os seguintes fatores de influência: velocidade de corte, avanço e profundidade de corte.

A usinabilidade dos metais é uma grandeza mensurável por ser formada por um conjunto de propriedades em relação a usinagem de um metal (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2008). Elas são mensuráveis em: acabamento superficial, vida da ferramenta, esforços de corte, temperatura de corte, características do cavaco e produtividade. A usinabilidade depende muito das condições intrínsecas do material e também das condições de usinagem (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2008) como, por exemplo, as características e os tipos de trabalhos realizados pela ferramenta.

Em relação a usinabilidade, nem todos os metais possuem todas as grandezas atribuídas, podem ter uma relação boa em algumas grandezas e ruim em outras. A usinabilidade dos metais depende de vários fatores: dureza do material da peça, propriedades mecânicas da peça, composição química, condições de usinagem, operações anteriores executadas no material, entre outras (FERRARESI, 1970).

Cunha e Ribeiro (2003), realizaram ensaios com corpos de provas cilíndricos de alumínio usinados em um torno de Comando Numérico Computadorizado (CNC) usando ferramenta de metal duro e utilizaram o rugosímetro para realizarem as medições. Durante a usinagem foram feitas três paradas em cada velocidade de corte (V_c) para as medições de rugosidade e em cada parada três medições. Com esses ensaios concluíram que com o aumento da V_c houve uma baixa significativa da rugosidade que é um excelente acabamento superficial. Assim o aparecimento de arestas postiças de corte é muito frequente quando se utiliza baixas V_c e a sua presença dificulta a um bom acabamento superficial.

No estudo feito por Soares, Rubio (2015), utilizaram um corpo de prova cilíndrico de ferro fundido nodular GGG40 e torneado longitudinalmente e a seco em um torno modelo CENTUR 305 e a ferramenta de corte feita de metal duro revestido. Variaram o avanço (f) e a V_c para ser avaliado o efeito nas saídas temperatura, emissão acústica e a rugosidade. Concluíram através deste, que em relação à emissão acústica existe uma correlação com a V_c e que não foi observada essa questão para o avanço. Em relação à temperatura, o aumento da V_c causa seu aumento. E também concluíram que a V_c tem grande influência na rugosidade, pois quanto maior a V_c melhor acabamento superficial da superfície usinada.

Deonísio, et al. (1999), efetuaram uma análise experimental com corpos de prova em aço, alumínio e titânio. Os mesmos foram ensaiados a V_c , profundidade de corte (A_p) e a largura de corte constantes variando somente as velocidades de avanço para cada material, sendo feita três repetições para cada condição. Os corpos de prova foram submetidos a uma fresadora CNC e com essa análise concluíram que o aumento da velocidade de avanço se reflete de maneira negativa em relação à rugosidade.

Rossi, Batalha e Kanenobu (2003), verificaram em um ensaio com a fabricação de 20 corpos de prova de aço ABNT 1020 que foram submetidos a uma serra hidráulica para cortar o material e seguindo para o processo de fresamento. Ensaíram os corpos de prova para medir os seguintes parâmetros de corte: V_c , f , A_p . Mantiveram constante o avanço por dente da fresa e variaram os parâmetros de corte. Com a conclusão desses ensaios como não foi estatisticamente comprovado, perceberam a coerência com a literatura utilizada, e concluíram que o parâmetro que mais influencia a rugosidade superficial é o avanço (f), seguida pela rotação do fuso e pela profundidade de corte (A_p). Como já esperado o avanço e a profundidade de corte são proporcionais, enquanto a rotação do fuso é desproporcional à rugosidade.

1.3 CLASSE DAS FERRAMENTAS

De acordo com a necessidade de usinar diversos tipos de materiais a ISO (International Organization for Standardization) estabeleceu a divisão das classes das ferramentas de corte. Originalmente foram estabelecidas as Classes P, M e K, só depois acrescentaram a norma as demais classes N, S e H, pois a ISO passou a classificar as ferramentas de usinagem não só de acordo com sua composição química como no início (P, M, K) mas também de acordo com suas aplicações em serviço, por isso o surgimento dessas novas três classe (N, S, H). A classe N, por exemplo, é uma derivação da classe K que, por não possuir Ti (Titânio) em sua composição química, é também indicada para usinagem em alumínio e suas ligas, devido à alta afinidade química entre o alumínio e o titânio. A norma ISO 513:2004E definiu essas classes de ferramentas com base nos materiais a serem usinados (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2013). Na FIGURA 2 são apresentadas as classes das ferramentas com suas respectivas aplicações.

FIGURA 2 – Classes de ferramentas de acordo com os materiais a serem usinados

<p>P</p>  <p>Aços</p>	<p>M</p>  <p>Aços inoxidáveis</p>	<p>K</p>  <p>Ferros fundidos</p>
<p>N</p>  <p>Alumínio</p>	<p>S</p>  <p>Ligas resistentes ao calor</p>	<p>H</p>  <p>Aços endurecidos</p>

Fonte: Sandvik Coromant.

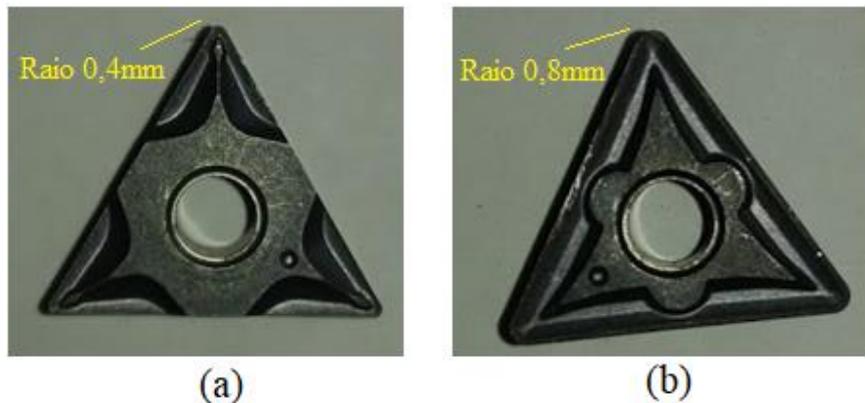
Como os corpos de prova usinados nesse trabalho foram de ferro fundido e alumínio a ferramenta escolhida foi um metal duro polivalente, ou seja, compreende todas as classes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Para a realização desse trabalho, foram adquiridos como corpos de prova, 16 peças com diâmetro de 7/8" por 4" de comprimento, sendo 8 em alumínio e 8 em ferro fundido nodular. Os corpos de prova foram submetidos ao torneamento com dois diferentes insertos de Carboneto de Tungstênio sendo um TNMG160404 (FIGURA 3 (a)) com raio de ponta 0,4 mm de diâmetro e outro TNMG160408 (FIGURA 3(b)) com raio de ponta de 0,8 mm de diâmetro. A usinagem foi realizada em um torno mecânico convencional modelo Nardini ND 325, de uma oficina mecânica da cidade de Rio Verde.

FIGURA 3 – (a) Ferramenta de carboneto metálico TNMG160404; (b) Ferramenta de carboneto metálico TNMG160408



Fonte: Daniela Carla Silva de Souza (2017).

Para a realização da análise da superfície usinada foi utilizado um rugosímetro modelo SJ - 201 da Mitutoyo (FIGURA 4), pertencente ao Laboratório de Metrologia da Unidade Integrada SESI/SENAI Rio Verde.

FIGURA 4 – Rugosímetro utilizado para medição dos testes



Fonte: Daniela Carla Silva de Souza (2017).

2.2 MÉTODOS

Os testes de usinagem foram realizados variando dois tipos de materiais da peça (alumínio e ferro fundido nodular), dois diferentes avanços (0,079 e 0,223 mm/rot) e duas ferramentas de usinagem com dois diferentes raios de pontas (0,4 mm e 0,8 mm). Para cada combinação de parâmetros foram usinadas duas réplicas, de modo que os resultados puderam ser apresentados por meio de uma análise de variância (ANOVA). A velocidade de corte escolhida foi de 200 m/min, obedecendo as especificações do fabricante tanto para o alumínio quanto para o ferro fundido. Com base no diâmetro usinado e na velocidade de corte a rotação a ser utilizada deveria ser de aproximadamente 3100 RPM, no entanto a capacidade máxima de rotação do torno mecânico utilizado foi de 1600 RPM, fazendo com que a velocidade de corte utilizada em todos os ensaios ficassem abaixo da recomendada pelo fabricante, sendo de aproximadamente 103 m/min. A profundidade de usinagem foi fixada em 1,5 mm, dentro da faixa de profundidade recomendada pelo fabricante da ferramenta e o comprimento de usinagem foi de 50 mm para todos os ensaios.

Para iniciar os testes de usinagem cada corpo de prova foi enumerado, para facilitar a sua identificação ao longo de todos os testes. Em seguida, todas as peças passaram por uma preparação antes dos ensaios definitivos, onde as mesmas, foram faceadas e um furo de centro foram feitos nas faces das peças, para fixar no torno com o auxílio do contra ponta.

A ordem de realização dos ensaios foram feitas de maneira aleatória, como indicado nos testes estatísticos. Após cada usinagem, ao ser retirada a peça do torno, a mesma era

envolvida em papel para proteção da parte usinada, evitando assim, qualquer tipo de avarias na superfície usinada que pudesse influenciar na medida da rugosidade.

Na realização dos testes de usinagem a peça foi colocada sobre um calço prismático com um rebaixo em “V” que melhor apoiou as peças em formatos cilíndricos, então o rugosímetro foi apoiado de modo que a agulha de medição entrasse em contato com a peça, e assim a mesma foi acionada realizando a medição da rugosidade.

De posse dos dados, foi realizada uma análise de variância com três variáveis e dois níveis cada uma delas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Depois de finalizar os testes de usinagem, a rugosidade superficial das peças foi medida e seus valores foram tabelados e apresentados na TABELA 1. Quanto menor o valor da rugosidade melhor é o acabamento da peça usinada.

Os parâmetros analisados foram descritos em fatores. Sendo Fator A relacionado ao material da peça usinada, Fator B o avanço da ferramenta no torno e Fator C o raio de ponta da ferramenta.

TABELA 1 – Valores medidos da rugosidade superficial dos corpos de prova em μm

	Avanço 0,079 mm/rot				Avanço 0,223 mm/rot			
	Raio 0,4 mm		Raio 0,8 mm		Raio 0,4 mm		Raio 0,8 mm	
Alumínio	1,23	1,76	1,34	1,3	4,7	4,94	3,4	3,27
Ferro Fundido	2,49	1,76	2	2,29	4,84	5,07	4,44	5,78

Fonte: Daniela Carla Silva de Souza (2017).

Observando a TABELA 1, nota-se que, aparentemente, o menor avanço do torno 0,079 mm/rot obteve menores valores de rugosidade, variando entre 1,23 μm e 2,49 μm enquanto o avanço 0,223 mm/rot obteve valores entre 3,27 μm à 5,78 μm . Em relação ao material, o alumínio obteve melhores acabamentos do que o ferro fundido e o raio de ponta da ferramenta não apresentou muita relevância.

De acordo com a análise superficial, o aumento do avanço e a mudança de material tiveram forte influência sobre a rugosidade e, aparentemente, o avanço foi o que mais influenciou. Após essa análise prévia para compreender esta influência foi feito uma análise de variância para a confirmação das evidências observadas.

Na análise de variância foram levantadas hipóteses para testar se os parâmetros utilizados influencia ou não influencia na rugosidade superficial das peças usinadas.

As hipóteses a serem estudadas foram:

- H_{0A} : o material da peça não influencia na rugosidade superficial;
- H_{1A} : o material da peça influencia na rugosidade superficial;
- H_{0B} : o avanço do torno não influencia na rugosidade superficial;
- H_{1B} : o avanço do torno influencia na rugosidade superficial;
- H_{0C} : o raio de ponta da ferramenta não influencia na rugosidade superficial;
- H_{1C} : o raio de ponta da ferramenta influencia na rugosidade superficial;
- H_{0AB} : a interação entre o material da peça e o avanço do torno não influencia na rugosidade superficial;
- H_{1AB} : a interação entre o material da peça e o avanço do torno influencia na rugosidade superficial;
- H_{0AC} : a interação entre o material da peça e o raio de ponta da ferramenta não influencia na rugosidade superficial;
- H_{1AC} : a interação entre o material da peça e o raio de ponta da ferramenta influencia na rugosidade superficial;
- H_{0BC} : a interação entre o avanço do torno e o raio de ponta da ferramenta não influencia na rugosidade superficial;
- H_{1BC} : a interação entre o avanço do torno e o raio de ponta da ferramenta influencia na rugosidade superficial;
- H_{0ABC} : a interação entre o material da peça, o avanço do torno e o raio de ponta da ferramenta não influencia na rugosidade superficial;
- H_{1ABC} : a interação entre o material da peça, o avanço do torno e o raio de ponta da ferramenta influencia na rugosidade superficial.

A TABELA 2 mostrou os resultados dos cálculos estatísticos e comparando F_0 calculado com o F_0 tabelado determinando a influência dos parâmetros, sendo que, se F_0 calculado for maior que F_0 tabelado cujo fator em estudo influenciará sobre o acabamento superficial da peça.

TABELA 2 – Valores calculados da análise de variância para o modelo de efeitos fixos com três fatores: material da peça, raio de ponta da ferramenta e o avanço

Variável	SQ	Fi	MQ	F0 _{cal}	F0 _{tab}	Resultado
A	2,8308	1	2,8308	16,0471	5,32	Influencia
B	30,9971	1	30,9971	175,7140	5,32	Influencia
C	0,5513	1	0,5513	3,1252	5,32	Não Influencia
AB	0,0518	1	0,0518	0,2934	5,32	Não Influencia
AC	0,8418	1	0,8418	4,7720	5,32	Não Influencia
BC	0,3452	1	0,3452	1,9566	5,32	Não Influencia
ABC	0,5220	1	0,5220	2,9591	5,32	Não Influencia
ERRO	1,4113	8	0,1764			
TOTAL	37,55114375	15				

Fonte: Daniela Carla Silva de Souza (2017).

Após a análise dos resultados obtidos de $F0_{cal}$ e $F0_{tab}$ apresentados na TABELA 2, é possível notar que o Fator A (tipo do material da peça) o valor de $F0_{cal}$ foi maior que o $F0_{tab}$, portanto para um nível de significância de $\alpha = 5\%$, concluiu-se que o material da peça influenciou na rugosidade superficial. Esse valor era esperado pois, o alumínio em geral é de fácil usinagem, devido à resistência mecânica ser baixa, e em contrapartida, o ferro fundido nodular possui a resistência mecânica maior que a do alumínio, onde quanto maior a dureza e a resistência, pior a usinabilidade no caso dos tipos de ferro fundido (DINIZ, MARCONDES E COPPINI, 2013).

Quanto ao Fator B (avanço do torno) o valor de $F0_{cal}$ foi maior que o $F0_{tab}$ para o mesmo nível de significância de $\alpha = 5\%$, concluindo que o avanço do torno influencia na rugosidade superficial, o que também era esperado, pois, com o aumento do avanço gera um aumento na temperatura de corte, obtendo uma baixa velocidade crítica, ou seja, essa velocidade relaciona ao nível maior de formação de aresta postiça de corte. Ressalta também que, a influência do avanço se obtém também nas várias características geométricas da usinagem e que a rugosidade superficial cresce com o aumento do avanço e com a diminuição do raio de ponta da ferramenta (FERRARESI, 1970).

O raio de ponta da ferramenta representada pelo Fator C, o valor de $F0_{cal}$ foi menor que o $F0_{tab}$ para o mesmo nível de significância de $\alpha = 5\%$, concluindo que o raio de ponta da ferramenta não influencia significativamente na rugosidade superficial, o que não era esperado, pois a rugosidade superficial das peças usinadas, conforme citado anteriormente, tem relação com o raio de ponta da ferramenta. Possivelmente, o fato de a usinagem ter sido feita em um

torno convencional ela apresenta uma rigidez inferior em comparação com as máquinas CNC, e o fato de a usinagem ter sido feita com velocidade de corte abaixo da recomendada pelo fabricante por conta da limitação da máquina, possa explicar a não influência do raio de ponta.

Já as combinações dos fatores AB (tipo do material da peça + avanço do torno), AC (tipo do material da peça + raio de ponta da ferramenta), BC (avanço do torno + raio de ponta da ferramenta), ABC (tipo do material da peça + avanço do torno + raio de ponta da ferramenta) obtiveram os valores de $F0_{cal}$ menor que o $F0_{tab}$, para um nível de significância de $\alpha = 5 \%$, concluiu-se assim que essas combinações de fatores não influenciaram na rugosidade superficial das peças usinadas.

4 CONCLUSÃO

Em resposta aos objetivos do trabalho e de acordo com os resultados obtidos na análise estatística, foi possível concluir que:

- O tipo do material da peça teve influência na rugosidade superficial e o alumínio apresentou menores valores para rugosidade;
- O avanço do torno também influenciou na rugosidade superficial e o menor avanço foi que apresentou melhores acabamentos;
- O avanço foi o parâmetro mais influente na rugosidade superficial das peças;
- Embora o raio de ponta das ferramentas apresente forte influência sobre a rugosidade superficial segundo a literatura, para as condições estudadas não houve influência significativa;
- O efeito combinado entre todos os parâmetros estudados, nenhum apresentou influência significativa sobre a rugosidade superficial.

REFERÊNCIAS

- COSTA, E. S.; SANTOS, D. J. Disciplina: **Processo de Usinagem**. Divinópolis, MG, 2006.
- CUNHA, E. A.; RIBEIRO, M. V. **Influência da velocidade de corte na rugosidade em usinagem nas ligas de alumínio**. In: 2º COBEF – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 2003, Uberlândia, MG. p. 1-10. Disponível em: < http://www.abcm.org.br/anais/cobef/2003/artigos/COF03_0840.pdf >. Acesso em 09 março 2017.
- DEONISIO, C. C. C.; NOVASKI, O.; KRABBE, D. F. M.; DAMIÃO, A. J. **A influência da velocidade de avanço na textura superficial de componentes usinados**. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 1999, Águas de Lindóia, SP. p. 1-8. Disponível em: < <http://www.abcm.org.br/anais/cobem/1999/pdf/AACHAC.pdf> >. Acesso em 03 abril 2017.
- DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 6 ed. São Paulo: Artliber Editora, 2008.
- DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 8. ed São Paulo: Artiliber, 2013.
- DOTTO, A. R.; SEIMETZ, A. C.; CARLIN, A. C.; FÜHR, H. K.; GELATTI, M. R.; ALVES, V. J. **Influência das condições de usinagem por torneamento na rugosidade da peça**. In: 4ª SEMANA INTERNACIONAL DE ENGENHARIA E ECONOMIA FAHOR, 2014, Horizontina, RS. p.1-9. Disponível em: < www.fahor.com.br/publicacoes/sief/.../Influencia_das_condicoes_de_usinagem.pdf >. Acesso em 15 março 2017.
- FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Blucher, 1970.
- MACHADO, A. R.; ABRÃO, A. M.; COELHO, R. T.; SILVA, M. B. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2015.
- PEREIRA, J. C. C. **Determinação de Modelos de Vida de Ferramenta e Rugosidade no Torneamento do Aço ABNT 52100 Endurecido Utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta (DOE)**. 2006. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, 2006.
- ROSSI, G. C.; BATALHA, G. F.; KANENOBU, A. A. **Relação entre os parâmetros de corte e a rugosidade da superfície usinada numa operação de fresamento de topo**. São Paulo, EDUSP, 2003. p. 1-18. Disponível em: < http://www.abcm.org.br/anais/cobef/2005/COF_012006215.pdf >. Acesso em 01 maio 2017.
- SANDVIK COROMANT. **Materiais da peça**. Disponível em: < http://www.sandvik.coromant.com/pt/knowledge/materials/workpiece_materials/workpiece_material_groups >. Acesso em 09 junho 2017.

SOARES, C. L.; RUBIO, J. C. C. **Torneamento do ferro fundido nodular GGG40: estudo sobre a influência de variáveis essenciais.** In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2015, Ponta Grossa, PR. p. 1-12. Disponível em: < www.aprepro.org.br/conbrepro/2015/down.php?id=822&q=1 >. Acesso em 02 junho 2017.