

INFLUÊNCIA DO RAIO DE PONTA DAS FERRAMENTAS DE CORTE NA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DE PEÇAS DE POLÍMEROS USINADOS POR TORNEAMENTO

Francisco Glebson Valentim¹

Edson Roberto da Silva²

RESUMO

Os materiais polímeros são cada vez mais utilizados e se tornando muito úteis para a fabricação de peças industriais em todo mundo, substituindo diversos tipos de materiais de uso mecânico, reduzindo custos e tornando maior a vida útil das ferramentas na usinagem. As geometrias das ferramentas de usinagem têm grande influência no acabamento superficial das peças, principalmente na usinagem de materiais poliméricos. É muito importante conhecer o tipo de material a ser utilizado para melhor escolha das ferramentas de usinagem e dos parâmetros de corte. Pensando nisso, este trabalho teve como objetivo analisar a influência do raio de ponta da ferramenta, juntamente com o avanço no acabamento superficial de dois diferentes polímeros (poliacetal e tecnil) usinados por torneamento. Para o torneamento foi utilizado um torno mecânico convencional, marca NARDINI, modelo ND 325. Os parâmetros que foram variados neste trabalho foram, o raio de ponta da ferramenta uma com raios de 1 mm e outro 4 mm e dois diferentes avanços de 0,079 mm/rot e 0,254 mm/rot. A rotação e a profundidade de corte foram mantidas constantes. Após a usinagem dos corpos de prova foram realizadas medidas de rugosidade nas peças torneadas e seus valores foram tabulados, e então uma análise de variância (ANOVA) foi feita para verificação da influência de cada parâmetro estudado. Foi verificado que o raio de ponta da ferramenta assim como o avanço e o material das peças influenciaram de forma parecida no acabamento superficial das peças usinadas.

Palavras chave: Acabamento superficial. Usinagem de não metais. Parâmetro Ra. Análise de Variância.

¹ Graduando de Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Mecânica.

² Orientador, Professor Mestre da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde – UniRV.

1 INTRODUÇÃO

O estudo da usinagem desenvolve-se e se aprimora, desde muitos anos, necessitando cada vez mais de mão de obra especializada mediante ao grande avanço tecnológico das máquinas e dos processos de usinagem. Os processos de usinagem podem produzir peças das mais variadas formas e tamanhos como eixos, engrenagens, suportes hastes, anéis, discos, parafusos, etc. Se comparado com outros processos de fabricação, tais processo tem como características importantes o bom acabamento superficial, tolerância de forma e tolerância dimensional.

A geometria da ferramenta de corte é de grande importância para usinagem, através dela são encontradas as condições necessárias, para potência e força de corte, acabamento superficial, desgaste da ferramenta, temperatura de usinagem forma, tipo de saída de cavaco entre outros. Sendo assim, quanto maior e preciso for o processo de usinagem mais específica e adequada poderá ser a geometria da ferramenta para que a mesma ofereça melhores condições ao corte (METAL HANDBOOK, 1989 apud REIS, 2015).

Os parâmetros que influenciam no processo de usinagem, no estudo da vida das ferramentas e da rugosidade de superfícies usinadas, são: o avanço, a profundidade de usinagem e a velocidade de corte. Essa influência é analisada convencionalmente a esses fatores durante o processo de usinagem, e estudada isoladamente para cada um deles, utilizando necessariamente horas-máquinas, que torna o custo da experimentação proibitiva (PEREIRA, 2006).

Segundo Machado et al. (2015), o raio de ponta das ferramentas cortantes de usinagem afeta no acabamento superficial das peças e na resistência da aresta de corte da própria ferramenta. Geralmente, é recomendado que o raio de ponta seja duas vezes maior que o avanço usado, de modo que torne menor as consequências das marcas de avanço. Quanto maior for o raio de ponta da ferramenta maior será sua a resistência mecânica e menor será a rugosidade superficial das peças, no entanto, raios de ponta muito grandes podem aumentar a vibração durante o processo de usinagem prejudicando o acabamento superficial das peças.

A usinagem está presente em diversas qualidades e tipos de materiais. Segundo Gutiérrez et al. (2014), com sua elevada massa molecular os polímeros são macromoléculas, que resultam de reações químicas de polimerização e são formados por pequenas unidades que recebem o nome de monômeros.

Para Fernandes et al. (2007), a usinagem de materiais poliméricos é fundamentalmente a mesma dos metais. A velocidade de corte e a geometria da ferramenta devem ser ajustadas corretamente. É de grande importância ter o conhecimento do material a ser usinado, pois, cada tipo de polímero terá uma reação diferente durante o processo de usinagem. O material usinado corre o risco de aquecimento demasiado, com baixa condutividade térmica e os materiais poliméricos requerem cuidados, durante a seleção da velocidade de corte, na geometria e no tipo da ferramenta, assim também como no fluido de corte e no avanço.

De acordo com Shneider et al. (2015), a usinagem de poliméricos é bastante utilizada para produção de materiais e peças. Durante o processo de usinagem o atrito da ferramenta com a deformação do cavaco é responsável por gerar calor.

Segundo Salles et al. (2003), devido à baixa condutividade térmica na usinagem dos polímeros, a ferramenta é responsável por remover a maior parte do calor gerado, prejudicando a superfície da ferramenta aumentando o desgaste da mesma. O aumento da temperatura influencia também na qualidade superficial da parte usinada mudando sua qualidade. O mecanismo de corte dos materiais poliméricos varia devido ao aumento da temperatura no momento em que são usinados, de modo que, a relação entre a tensão de deformação mude com a temperatura. A fratura torna-se frágil com a diminuição da temperatura e dúctil com a elevação da mesma.

Este trabalho tem como objetivo verificar a influência do material da peça, do raio de ponta da ferramenta e do avanço no acabamento superficial das peças usinadas. Para tanto, foi usinado dois diferentes polímeros, um em poliacetal e outro em nylon, com duas diferentes ferramentas em aço rápido, uma com raio de ponta de 1 mm e outra com raio de ponta de 4 mm e dois diferentes avanços, um com 0,079 mm/rot e 0,254 mm/rot. Foram utilizados 16 corpos de prova, para que cada combinação de parâmetros, juntamente com os materiais das peças, seja usinada pelo menos duas vezes.

1.1 USINAGEM DE MATERIAIS POLIMÉRICOS

De acordo com Gutiérrez et al. (2014) os polímeros são produzidos a partir de produtos petroquímicos ou silicões. Normalmente são classificados em dois grupos: termorrígidos e termoplástico. Os termoplásticos são caracterizados por possibilitar sua fundição por várias vezes, sendo dissolvidos por igual, com uso dos solventes, responsáveis por facilitar a sua

reciclagem. Devido às reações irreversíveis de polimerização os termorrígidos se caracterizam, por elevada rigidez dureza e fragilidade. O material sofre decomposição provocada pelo aquecimento, dificultando assim, a sua reciclagem.

Conforme apontado por Shneider et al. (2015), a usinagem de materiais poliméricos é muito utilizada e vem se tornando cada vez mais necessária. Quanto ao número de produtos e peças produzidas não são justificados o custo da usinagem com ferramentas para extrusão por matriz ou por moldagem. Durante a usinagem de materiais polímeros a velocidade de rotação oferecida pela máquina-ferramenta produz um calor que influencia o aumento da temperatura na zona de corte. A mobilidade molecular do material de longo alcance também aumenta reduzindo os esforços de tensão cisalhante e o limite de resistência à tração.

Os estudos de Fernandes et al. (2007) mostram que a usinagem de materiais poliméricos em relação aos metais apresenta algumas vantagens durante o processo, proporcionando maior vida útil a ferramenta, menor custo de aquisição, possibilita a utilização de ferramentas de aço rápido com bom desempenho e a utilização de ferramentas com perfis variados. Durante a usinagem são utilizadas ferramentas de metal duro ou aço rápido que são adequadas á usinagem de alumínio e latão. Ela oferece maior controle do cavaco, possui ângulo de saída positivo além de garantir um corte suave com baixa temperatura e menor força de corte, favorecendo um melhor acabamento superficial das peças, o que é de grande importância para a usinagem dos materiais poliméricos. Nota-se que, durante a usinagem de materiais poliméricos, a capacidade de absorção da umidade e da dilatação térmica na qual as variações dimensionais dos materiais poliméricos são superiores aos dos materiais metálicos. É de grande importância que se leve em consideração as variações dimensionais durante a usinagem. Porém, após o resfriamento a peça pode alterar suas dimensões em relação às dimensões obtidas no devido momento da usinagem.

Shneider et al. (2015) pesquisaram o comportamento durante o fresamento de dois diferentes materiais um Nylon tipo 66 e um Poliuretano. Para os testes foram mantidos constantes o diâmetro da ferramenta com 3 mm e a profundidade de usinagem em 1 mm, foram feitos 6 ensaios para esses materiais variando a rotação (10000 e 20000 rpm) e o avanço (500; 1500; e 3000 mm/min). Durante a usinagem foi observado que as temperaturas de usinagem do poliuretano na zona de corte da ferramenta foram superiores ao nylon e que sua condutividade térmica foi pior. Como consequência os acabamentos superficiais das peças de nylon foram melhores do que as peças de poliuretano.

1.2 GEOMETRIA DAS FERRAMENTAS DE USINAGEM

Segundo Machado et al. (2015), a geometria das ferramentas cortante é muito importante e exerce grande influência no desempenho da usinagem com a sua geometria preparada adequadamente, sem isso as operações não terão êxito. Os ângulos da cunha de corte se fazem necessários da forma mais conveniente possível.

A geometria da ferramenta de corte apresenta uma variável de grande relevância no estudo da ferramenta de usinagem, uma vez que, pequenas alterações angulares e dimensionais causam resultados diferentes quanto ao comportamento do material da peça através da aresta da ferramenta de corte. A geometria da ferramenta é constituída por vários elementos podendo ser alterados, tendo em vista a melhoria para seu desempenho. Os elementos seguintes da cunha de corte podem ser combinados: ângulo de saída, raio de ponta, ângulo de folga, ângulo de posição, ângulo de inclinação, chanfro da aresta de corte, raio da aresta de corte, quebra cavaco (RODRIGUEZ, 2005).

Para (Nascimento e Abrão, 2000), na geometria das ferramentas de corte um dos elementos mais influente é a presença e a forma do quebra-cavaco. O quebra-cavaco é de grande importância na divisão da temperatura na peça e na ferramenta, desenvolvendo a atividade de quebrar o cavaco, provocando mudanças nas forças de corte durante o processo de usinagem.

O quebra-cavaco é uma mudança da geometria da ferramenta que tem a intenção de causar a quebra periódica do cavaco (MACHADO et al., 2015).

A principal característica do raio de aresta é tornar maior a resistência da própria aresta de corte. Variam de centésimos a décimos de milímetros. Dependendo da magnitude do raio e do tipo de material usinado, a geometria produz microestrutura alterada na superfície da peça além de produzir tensões residuais maiores de compressão favoráveis à superfície de trabalho (RODRIGUEZ, 2005).

Para Machado et al. (2015), o parâmetro de rugosidade R_a é muito utilizado nas indústrias e aplicado em várias áreas de processo de fabricação, o mesmo representa o valor médio da rugosidade. O parâmetro R_a é teoricamente calculado. No entanto, seu verdadeiro valor depende de vários outros fatores como: desgaste da aresta de corte e vibrações. Se o raio de ponta (r_e) da ferramenta for maior que o avanço (f) os valores de R_a serão calculados pela equação (1).

$$Ra = \frac{f^2}{3,12 * re} \quad (1)$$

Como observado pela equação (1), quanto maior o raio de ponta da ferramenta e quanto menor for avanço utilizado durante a usinagem, menor será a rugosidade superficial média calculado. Porém, se o raio de ponta for aumentado isso tornará a ponta da ferramenta ainda mais resistente. Além disso, as vibrações na ferramenta aumentarão correspondente ao aumento do atrito causado através da maior área de contato entre a peça e a ferramenta. A relação entre o avanço e raio de ponta são responsáveis pelo acabamento superficial e também contribuem geometricamente na rugosidade superficial da peça (DINIZ et al., 1999).

1.3 INTEGRIDADE SUPERFICIAL DAS PEÇAS USINADA

O termo conhecido por integridade superficial teve a sua primeira aparição em 1964 por Field e Kahles, como a explicação do conjunto de alterações que ocorrem na superfície das peças por causa das operações da ferramenta de corte ou de outros tipos de processo de usinagem (SANTOS e SALES, 2004).

Ruptura da peça, deformação plástica, recuperação elástica, geração de calor, tensões residuais, vibração, e, às vezes, reações químicas são fatores que estão envolvidos em um processo que resulta no estado final de uma superfície usinada. Além disso, esses fatores podem causar resultados diferentes em uma nova superfície usinada. Esse termo é usado para representar a qualidade superficial de uma peça. Esse conceito não determina apenas uma dimensão e não abrange apenas a textura da superfície ou sua aparência geométrica, ele engloba outras qualidades da superfície durante uma função e de outras faixas abaixo desta. Geralmente, as superfícies são classificadas por alterações na superfície (acabamento) e mudanças em faixas internas da peça (alterações subsuperficiais) (MACHADO et al., 2015).

Por mais lisa que seja a superfície de uma peça, a mesma apresentará irregularidades devido a processos de fabricação. As superfícies apresentam características, que se determinam em três níveis: rugosidade, ondulação, e erros de forma. A rugosidade é caracterizada devido a irregularidades de pequenos intervalos, já a ondulação, devido a irregularidades de maiores intervalos (SANTOS e SALES, 2004).

Normalmente, nas superfícies das peças usinadas, as falhas e ondulações devem ser evitadas, porém, são fatores que se caracteriza como erros de fabricação. Já a rugosidade

superficial é um parâmetro que é identificado de acordo com sua aplicação durante a superfície usinada. Em algumas situações a rugosidade é usada para fazer controle do processo de fabricação através de diversos parâmetros: propriedade do material da peça, máquina ferramenta, material da ferramenta, geometria da ferramenta e processo de usinagem. As superfícies usinadas são estudadas sobre termos de rugosidade e de dimensões superficiais, a peça deve ser examinada após ou durante o processo de acordo com as rugosidades ou tolerâncias dimensionais específicas do projeto. Entretanto, a rugosidade é medida por diversos tipos de parâmetros. Os erros dimensionais dependem especialmente da rigidez e do processo da máquina ferramenta. Porém, esses erros são fáceis de medir e de controlar. Além do mais, a rugosidade superficial é desenvolvida pela definição de parâmetros, obtidos através do perfil superficial da peça, eles são classificados em: parâmetros de espaço, parâmetro de amplitude, e parâmetro híbridos. Entre esses parâmetros de amplitude, o mais empregado é o desvio aritmético médio (Ra). Esse parâmetro é utilizado para o controle de processo, caso seu valor altere, isso significa que o processo de fabricação também será alterado (MACHADO e SILVA, 2004).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Para a realização deste trabalho foram utilizados 16 corpos de prova de diâmetro 30 mm, por 150 mm de comprimento, sendo metade dos corpos de prova em Nylon (Tecnil) e a outra metade em poliacetal.

Os corpos de prova foram torneados com uma ferramenta de aço rápido (Bits) de 9,525 mm de secção quadrada que possui duas diferentes afiações. A Figura 1 mostra a geometria típica da ferramenta utilizada no torneamento das peças. A mesma foi afiada pelo próprio operador com dois diferentes raios de ponta, uma com raio de 1 mm e outra com raio de ponta de 4.

FIGURA 1 – Ferramenta de corte utilizada durante a usinagem dos materiais poliméricos



Fonte: Francisco Glebson Valentim (2017).

As apresentações dos resultados de usinagem foram feitas por meio de um rugosímetro da marca Mitutoyo, modelo SJ-210, do Laboratório de Metrologia da Unidade Integrada SESI/SENAI de Rio Verde - Goiás.

Todos os testes de usinagem foram realizados, em uma oficina na cidade de Rio Verde - Goiás. O torno mecânico utilizado durante o processo da usinagem foi um torno da marca NARDINI, modelo ND 325.

2.2 MÉTODOS

Cada tipo de material foi usinado com dois diferentes raios de ponta da ferramenta combinado com dois diferentes avanços de 0,079 mm/rot e 0,254 mm/rot, totalizando 4 ensaios para cada material, como foram dois diferentes materiais e duas réplicas para cada combinação de parâmetros, foram um total de 16 ensaios.

A velocidade de corte (V_c) utilizada foi de 30 m/min, esse valor foi definido de acordo com a experiência do operador. Com base na velocidade de corte e no diâmetro a ser torneado foi determinada a rotação em que os ensaios foram feitos de 353,68 RPM. Porém, o torno mecânico utilizado não dispõe dessa rotação assim, a rotação escolhida para os testes foi de 400 RPM, a rotação mais próxima, que o torno fornecia. A profundidade de usinagem foi mantida constante, em todos os testes no valor de 3 mm.

Antes da realização dos testes de usinagem, todas as peças foram faceadas e feitos furos de centro para auxiliar no processo de fixação com contra ponta, durante os ensaios. Após a preparação dos corpos de prova foram iniciados os testes de usinagem da seguinte maneira: os corpos de prova foram fixados (um de cada vez) na placa universal de três castanhas com o auxílio do contra ponta para melhorar a rigidez do sistema MPF (Máquina, Peça, Ferramenta) e então foi dado um único passe de profundidade de 3 mm por um comprimento de 50 mm. Esse processo foi repetido em todos os corpos de prova e a ordem de realização dos testes levando em consideração os diferentes tipos de combinação de parâmetros foram feitos de maneira aleatória.

Ao fim da usinagem, os corpos de prova foram envolvidos, em um papel para a proteção da parte usinada, durante o transporte, até o local em que foram feitos os ensaios de rugosidade. Além disso, foi separada uma quantidade de cavaco de cada material usinado, com os diferentes parâmetros e tipos de materiais, para a análise dos mesmos.

Após a realização de todos os testes de usinagem a rugosidade superficial das peças foram medidas e tabeladas. Para a apresentação dos resultados realizou-se uma análise de variância (ANOVA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na TABELA 1 são apresentados os valores da rugosidade obtida após os ensaios de usinagem para cada combinação de parâmetros.

Para análise estatística, os parâmetros estudados foram divididos em três diferentes fatores; material da peça, chamado de fator A, o avanço (f) chamado de fator B, e raio de ponta da ferramenta, chamado de fator C. Para o melhor entendimento da rugosidade superficial essa análise foi feita para verificar a influência de cada fator determinando qual deles teve maior influência no acabamento superficial das peças.

TABELA 1 – Valores da rugosidade superficial para cada combinação de parâmetros em μm

	Avanço 0,079				Avanço 0,254			
	Raio 01		Raio 04		Raio 01		Raio 04	
Tecnil	2,3	1,66	1,39	1,63	1,84	1,87	2,46	2,53
Poliacetal	0,52	0,71	1,34	1,24	0,79	0,86	2,67	2,51

Fonte: Francisco Glebson Valentim (2017).

Uma vez levantadas às hipóteses e realizados, todos os cálculos estatísticos, apresentou-se na TABELA 2 os valores da soma dos quadrados, o grau de liberdade, a média quadrática F0 calculado, F0 tabelado e o resultado. Se F0 calculado for maior que F0 tabelado o fator em estudo influencia na rugosidade superficial das peças usinadas.

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

Variável	SQ	Fi	MQ	F0cal	F0tab	Resultado
A	1,5876	1	1,5876	46,2183	5,32	Influencia
B	1,4042	1	1,4042	40,879	5,32	Influencia
C	1,7030	1	1,7030	49,5786	5,32	Influencia
AB	0,1056	1	0,1056	3,0750	5,32	Não influencia
AC	1,2882	1	1,2882	37,5029	5,32	Influencia
BC	1,2100	1	1,2100	35,2256	5,32	Influencia
ABC	0,0001	1	0,0001	0,0029	5,32	Não influencia
ERRO	0,2748	8	0,0344			
TOTAL	7,5736	15				

Fonte: Francisco Glebson Valentim (2017).

As variáveis demonstradas na Tabela 2 definem-se como SQ a soma quadrática, Fi grau de liberdade, e MQ média quadrática. Comparando os resultados obtidos entre os valores de F0 calculado e F0 tabelados presentes na TABELA 2, pode-se observar que para o fator A (tipo do material da peça), o F0 calculado é maior que F0 tabelado e que para um nível de significância $\alpha = 5\%$, o material da peça influencia no acabamento superficial. Neste caso, o poliacetal apresentou melhor acabamento em comparação ao tecnil, o que era esperado, pois, durante o processo de usinagem o tecnil se apresentou de forma pastosa e com cavacos longos, fatores que podem ter influenciado em seu pior acabamento.

Para o fator B (avanço), os valores presentes na Tabela 2 indica que F0 calculado é maior que F0 tabelado e que para um nível de significância $\alpha = 5\%$ o avanço utilizado influencia no acabamento superficial das peças usinadas, sendo que, os menores avanços proporcionaram um melhor acabamento. Também era um resultado esperado uma vez que o avanço é o parâmetro mais influente na rugosidade superficial das peças, as alturas dos picos provocadas pelas marcas de avanço e a profundidade dos vales crescem em proporção quadrática ao avanço (MACHADO et al., 2015).

Se o avanço for aumentado isso pode causar na superfície uma elevação da rugosidade da peça, prejudicando o acabamento (DINIZ et al., 1999).

Já para fator C (raio de ponta da ferramenta), o valor tabelado demonstra que F_0 calculado é maior que F_0 tabelado e que para um nível de significância $\alpha = 5\%$ o raio de ponta da ferramenta influencia no acabamento superficial das peças usinadas, nas condições em estudo o aumento do raio de ponta da ferramenta proporcionou uma maior rugosidade.

O que também era esperado para esta pesquisa, pois, o raio de ponta da ferramenta como explica Machado et al. (2015) influencia diretamente na rugosidade superficial das peças usinadas, onde o aumento do raio de ponta favorece o acabamento. No entanto, não pode ser grande a ponto de prejudicar o acabamento superficial devido à elevação dos esforços e conseqüentemente aumentar a vibração.

As combinações AC (tipo do material da peça + raio de ponta da ferramenta), BC (avanço + raio de ponta da ferramenta), os valores de F_0 calculado é maior que o F_0 tabelado, rejeitando a hipótese de H_0 , e, concluindo que, as combinações dos fatores AC e BC influenciam no acabamento superficial das peças, para um nível de significância de $\alpha = 5\%$.

Por fim, para o fator AB (tipo do material da peça + avanço) e ABC (tipo do material da peça + avanço + raio de ponta da ferramenta) os valores de F_0 calculado são menores que os valores de F_0 tabelado não rejeitando a hipótese H_0 , e, concluindo que, as combinações das variáveis AB e ABC não influenciam no acabamento superficial das peças usinadas, com o nível de significância de $\alpha = 5\%$.

CONCLUSÃO

Em resposta aos objetivos apresentados e nos resultados encontrados, conclui-se que:

- O material da peça influencia no acabamento superficial, sendo que o poliacetal teve um melhor acabamento, em relação tecnil;
- O raio de ponta da ferramenta influencia no acabamento superficial das peças, porém na maioria dos casos o menor raio de ponta de 1 mm teve o melhor acabamento que o raio de 4 mm.
- O avanço da ferramenta também influenciou na rugosidade superficial, onde, o menor avanço proporcionou menor rugosidade conseqüentemente melhor acabamento superficial das peças;

- As combinações do tipo do material da peça + raio de ponta da ferramenta, e do avanço + raio de ponta da ferramenta, influenciam no acabamento superficial das peças, para um nível de significância de $\alpha = 5 \%$;
- Para as combinações, tipo do material da peça + avanço, e tipo do material da peça + avanço + raio de ponta da ferramenta não influenciam no acabamento superficial das peças usinadas, com o nível de significância de $\alpha = 5 \%$.

REFERÊNCIAS

- DINIZ, A. E. et al. *Tecnologia da Usinagem dos Materiais*. Vol.1. São Paulo: MM Editora, 1999. 242 p.
- FERNANDES, M. O.; CORRÊA, M. M.; LEITE, W.; WIEBECK, H.; VALENZUELA-DIAZ, F. R.; TOFFOLI, S. M. *Usinagem de plásticos de engenharia. Uma opção de processamento*. Ln: 9º Congresso Brasileiro de polímeros, São Carlos, 2007.
- GUTIÉRREZ, J. C. et al. *Usinabilidade de materiais compósitos poliméricos para aplicações automotivas*. Polímeros. Ciência e Tecnologia, v. 24, n. 6, p. 711-719, 2014.
- MACHADO, A. R. et al. *Teoria da usinagem dos materiais*. 3.º ed. São Paulo: Blucher, 2015, 407 p.
- MACHADO, A. R.; SILVA, M. B. *Usinagem dos metais*. 8ª versão. LEPU–UFU. Uberlândia, 2004.
- NASCIMENTO, G.; ABRÃO, A. M. *Influência da Geometria da Ferramenta de Corte na Usinabilidade do Aço ABNT 1045*. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. 2000.
- 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)*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Itajubá. 2006.
- REIS, R. et al. *Estudo da influência da geometria da cunha da ferramenta de aço rápido na usinagem do aço ABNT 1045 em diferentes condições lubri-refrigerantes*. Universidade federal de Uberlândia. 2015.
- RODRIGUES, A. R. *Estudo da geometria de arestas de corte aplicadas em usinagem com altas velocidades de corte*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2005.
- SALLES, J. L. C.; GONÇALVES, M. T. T. *A influência da geometria da ferramenta de corte na qualidade superficial no torneamento do UHMWPE*. Uberlândia-MG. 2003.
- SANTOS, S. C.; SALES, W. F. *Fundamentos da usinagem dos materiais*. Belo Horizonte: CEFET-MG e PUC MINAS, Apostila, 2004.

SCHNEIDER, E. L. et a. *Análise dos Parâmetros de Usinagem no Acabamento Superficial de Polímeros*. UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 7, n. 1, 2015.