

Usinagens de Polímeros - A Determinação dos Parâmetros de Corte

Ismael Emílio de Oliveira Júnior, ismael.junior@pro.unifacs.br¹

Karoline Conceição da Fonseca Santos, karoline.conceicao27@hotmail.com¹

Laise Caldas Tavares, laise.tavares@outlook.com¹

¹Universidade Salvador, Unifacs, Rua Dr. José Peroba, 251, Salvador, BA – 41770-235

Resumo: Este trabalho mostra os resultados de usinagens realizadas com polímeros e faz uma comparação destes com os dados de usinagens de metais. Como relatado por vários autores, tradicionalmente não há muitos dados sobre usinagem de polímeros, o que dificulta a definição dos parâmetros para que se possa fazer este tipo de trabalho. Dentre os dados importantes em uma usinagem, a rugosidade tem grande importância no processo, pois muitas vezes é especificado um valor de rugosidade superficial máxima que deve ser atingido pelo processo. Os cavacos, produtos inevitáveis da usinagem, podem ser muito prejudiciais ao processo e ao operador da máquina. Isso faz com que seu estudo ganhe uma importância grande para se otimizar um processo de usinagem. Assim, este trabalho tem o objetivo de ser uma referência ou guia para se usinar um polímero.

A escolha da melhor velocidade de corte, da penetração e do avanço são dúvidas no trabalho com polímeros, bem como a escolha da melhor ferramenta e do fluido de corte. Para este trabalho é utilizado um torno universal e são feitas usinagens em poliamida (náilon), polipropileno, poliacetal e PVC. Também são feitas algumas usinagens em Celeron (compósito). Para efeitos de comparação são feitas as usinagens também em alumínio e em aço 1045. São mostradas as diferenças nos resultados entre os usos destas variáveis, considerando como parâmetros de comparação o tipo de cavaco gerado na usinagem e a rugosidade superficial das peças obtidas. São levantadas as curvas de “Rugosidade x Velocidade de corte”, variando-se o avanço da ferramenta como terceira variável dos gráficos. Em alguns casos, também são variadas a ferramenta (metal duro e aço rápido) e o fluido de corte (presente ou ausente). Para os mesmos parâmetros variantes são levantadas as curvas “Tipo do cavaco x Velocidade de corte”.

Em uma análise dos resultados, nota-se que alguns polímeros têm cavacos em pó, ao invés de “pedaços”. Isso é notado particularmente no Celeron (compósito). Outro dado relevante: quanto maior a velocidade de corte, maior o grau de “enrolamento” do cavaco em alguns polímeros. Quanto ao fluido de corte, também há conclusões interessantes: de um modo geral o fluido de corte não faz diferença, mas para náilon, a partir de uma certa velocidade de corte, ele tende a derreter sem fluido de corte, o que torna seu uso desejável. Com os resultados obtidos fica claro que este trabalho pode ser usado como referência para a usinagem de polímeros.

Palavras-chave: Usinagem de polímeros, Parâmetros de usinagem, Ensaio de polímeros

1. INTRODUÇÃO

Quando se fala em usinagem, normalmente se pensa em trabalhar com metais (principalmente aços e alumínio). Com isso, quando se necessita de uma usinagem de polímeros normalmente se tem muitos problemas na escolha da ferramenta e de seus parâmetros de corte, pela falta de literatura específica. Isto implica com frequência na perda da matéria-prima ou em baixa qualidade da usinagem.

Polímeros são materiais de baixo ponto de fusão, com pouca dureza e alta flexibilidade. Isso torna os parâmetros utilizados para metais totalmente inadequados para eles. Velocidades de corte elevadas normalmente derretem o polímero, ao invés de usiná-lo mais rápido. Também os cavacos produzidos são diferentes: não há cavacos longos e cortantes como acontece com os metais. Por outro lado há os cavacos em pó, o que é um problema sério para o sistema respiratório dos operadores da máquina.

A título de comparação foram feitas usinagens também em aço 1045 e alumínio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Procedimento Experimental

O material usinado era em forma de cilindros, denominados tarugos, tanto para os metais, como para os polímeros.

O procedimento em cada usinagem era o seguinte: depois de fixar bem o tarugo no torno era feita a medição do seu diâmetro. Em seguida era regulada a rotação do torno e seu avanço (em mm/rot). Depois ativava-se o automático e a usinagem acontecia. A usinagem era feita em um comprimento de 100 mm.

Terminada a usinagem era colhido o cavaco e feita sua análise, atribuindo-se-lhe uma categoria, conforme explicado no item 2.3.

O próximo passo era medir a rugosidade da superfície usinada do tarugo. Para diminuir os erros a rugosidade era medida em 3 pontos ao longo do eixo da peça e com uma rotação de aproximadamente 120° entre elas. A Fig. 1 ilustra essas medições.

O primeiro ponto era próximo ao final da usinagem, o ponto 2 era próximo ao meio e o ponto 3 próximo à extremidade do tarugo. Entre as medições girava-se o cabeçote aproximadamente 120°.

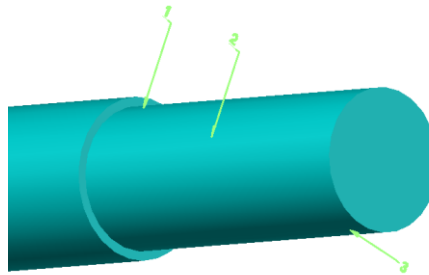


Figura 1 – Posições Aproximadas das Medições da Rugosidade.
Fonte: Próprios autores

Feitas as 3 medidas tomava-se a média entre elas.

2.2 Máquinas e Ferramentas Empregadas

Para este trabalho foi utilizado um torno universal AtlasMaq modelo TM-310 e ferramentas de aço rápido e metal duro. Essas últimas eram da marca Iscar, classe P, designação IN830.

Em todas as usinagens a profundidade de corte adotada foi de 0,6 mm.

As velocidades de rotação foram: 100, 290, 500, 860, 1100, 1400 e 1800 rpm. Os avanços automáticos foram: 0,052, 0,081, 0,104, 0,162, 0,208, 0,325, 0,418 e 0,650 mm/rot.

Também foram feitas usinagens com e sem fluido de corte.

Os procedimentos adotados foram: para cada valor de avanço foi variada a rotação do torno para obter diversas velocidades de corte e efetuar torneamentos cilíndricos externos nos tarugos cilíndricos. Após cada usinagem era analisada a rugosidade da superfície e o tipo de cavaco obtido.

2.3 Embasamento Teórico

Para as usinagens é necessário converter a velocidade de rotação do torno em velocidade de corte da ferramenta em contato com a peça.

Conforme Machado (2015), a equação que rege esta relação é:

$$V_c = \frac{\pi \cdot n \cdot D_i}{1000} \quad (1)$$

Onde: V_c = Velocidade de corte (m/min)

n = Rotação do torno (rpm)

D_i = Diâmetro inicial da peça (mm)

Note que as unidades não são do SI, mas são as mais utilizadas nos processos de usinagem.

Outro fator necessário para este trabalho é a rugosidade das superfícies usinadas. Conforme Piratelli (2011), a rugosidade medida, R_a , é mostrada na Figura 2, a seguir, na qual l_m representa o comprimento de medição:

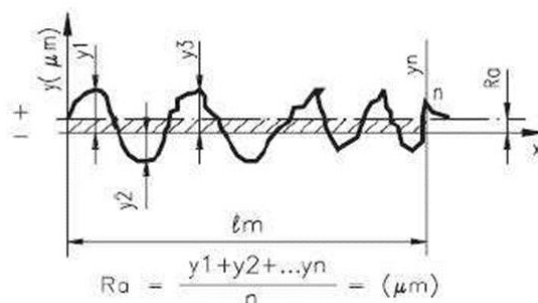


Figura 2 – Exemplo de Medição de Rugosidade R_a .
Fonte: Piratelli (2011)

A rugosidade R_a é calculada como a média dos afastamentos dos picos e vales do perfil da superfície encontrados ao longo de um comprimento de medição.

Foi utilizado na medição das rugosidades um rugosímetro Time TR-100, que era calibrado diariamente, antes do início dos trabalhos, para garantia de sua exatidão.

Outro conceito utilizado é o grau de “enrolamento” ou tipo do cavaco formado. Esta medição foi subjetiva, estabelecida pela equipe responsável pelo trabalho durante as usinagens. Segundo nosso conceito o grau de enrolamento vai de 1 (cavaco praticamente linear ou pequeno) até 5 (cavaco totalmente enrolado ou longo). Cavacos pequenos (como os obtidos em usinagem de materiais muito duros) recebem o grau 1. Cavacos em fita (como os obtidos com materiais muito dúcteis e macios recebem o grau 5).

Em nova revisão deste trabalho este fator deverá ser menos subjetivo e atrelado a um “tamanho médio” e “raio médio” dos pedaços de cavaco extraídos das peças. Neste caso o cavaco obtido será comparado com as dimensões de referência e será classificado de acordo.

3. RESULTADOS OBTIDOS

Com base nos procedimentos descritos no capítulo anterior foram realizadas usinagens, que serão separadas por material.

3.1 Aço 1045

O aço 1045 é um material bastante duro e resistente e sua usinagem deve ser feita com cuidado devido ao desgaste da ferramenta e ao aumento da temperatura do conjunto peça-ferramenta.

Após a montagem do tarugo no torno foi feito um faceamento e posteriormente foi feita uma usinagem cilíndrica em todo o comprimento de trabalho para ajuste das dimensões. A ferramenta usada foi de metal duro e a usinagem foi com vazão baixa de fluido de corte, da ordem de 1,5 l/min. O fluido usado foi o semissintético.

Depois desta preparação foram feitas as várias usinagens para coleta dos dados necessários. Anotados os dados, foram levantadas curvas que indicassem a dependência da rugosidade e do enrolamento do cavaco em função da velocidade de corte. A Figura 3 mostra a rugosidade em função da velocidade de corte e do avanço.

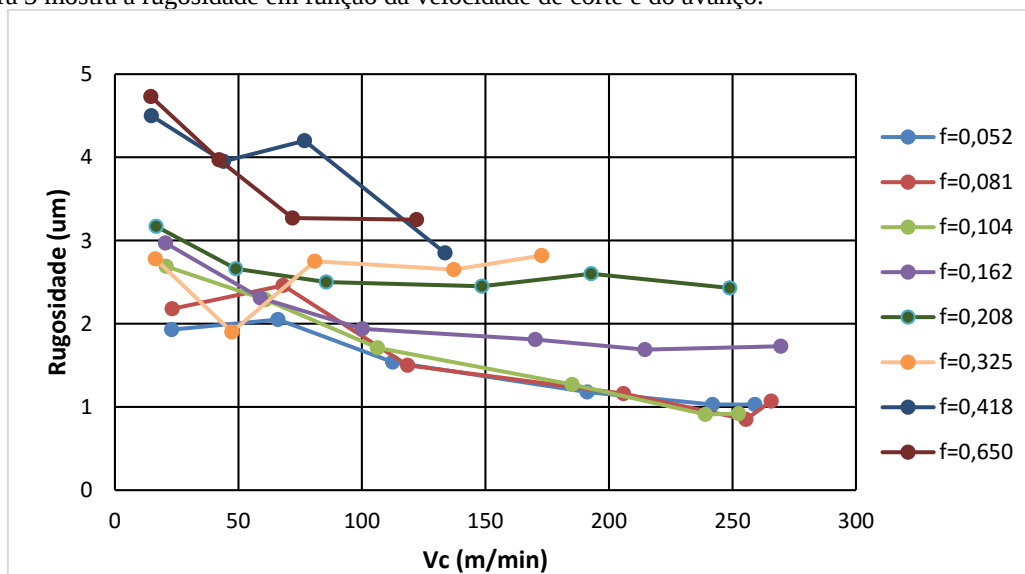


Figura 3 – Aço 1045: Rugosidade em Função da Velocidade de Corte e do Avanço.
Fonte: Próprios autores

Um análise do gráfico mostra o seguinte:

- Um aumento na velocidade de corte, mantendo o avanço, provoca uma redução discreta da rugosidade da superfície.
- Um aumento do avanço, para uma mesma velocidade de corte, provoca um aumento da rugosidade da superfície.

Os resultados acima podem ser explicados como segue: se for mantido o avanço e for aumentada a velocidade de corte, o conjunto passará pela sua “frequência natural”, na qual há um aumento da vibração e, portanto, aumento da rugosidade obtida; depois deste ponto a vibração tende a diminuir e a rugosidade tende a diminuir junto. Quanto à variação do avanço, mantendo-se a velocidade de corte, um aumento no avanço faz com que a ferramenta passe em cada volta mais distante de sua posição na volta anterior, o que tende a aumentar a rugosidade, criando sulcos.

Note-se que, como o objetivo do trabalho era a usinagem de polímeros, a matéria-prima neste caso foi um tarugo apenas, o que limitou os testes. O gráfico acima mostra vários pontos aparentemente mal posicionados, mas não foi possível refazer os testes devido ao término da matéria-prima.

De qualquer maneira podemos supor que para uma usinagem de aço 1045, para obtermos baixa rugosidade o ideal é configurarmos o torno para uma velocidade de corte grande e um pequeno avanço.

No que diz respeito à análise do cavaco, os autores atribuíram graus de enrolamento (conforme descrito acima) e foi feita uma média (por ser fator subjetivo). Com base nisso foi levantado o gráfico mostrado na Figura 4 a seguir.

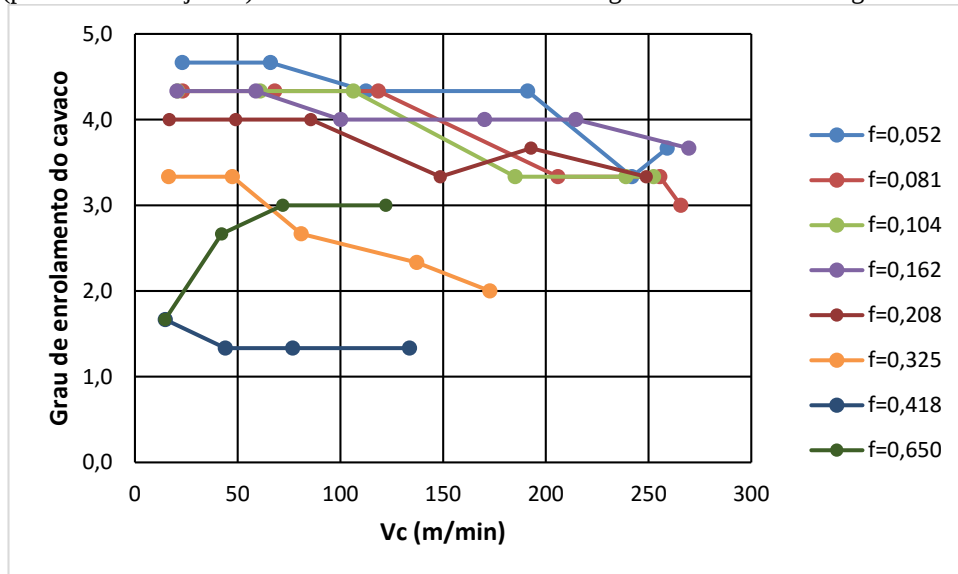


Figura 4 – Aço 1045: Tipo de Cavaco em Função da Velocidade de Corte e do Avanço.
Fonte: Próprios autores

Uma análise dos gráficos mostra que com exceção do avanço de 0,650 mm/rot, para todos os demais avanços há uma leve tendência de diminuição no grau de enrolamento com o aumento da velocidade de corte. Isso pode ser explicado porque um aumento da velocidade tende a aumentar a temperatura, o que aumenta a ductilidade do material, tornando o cavaco mais longo. Também se pode ver que um aumento no avanço diminui o grau de enrolamento do cavaco. Isso pode ser explicado porque aumentando o avanço há a tendência de aumentar a largura do cavaco, o que torna mais difícil a ele enrolar-se. Não houve condições para repetir testes e entender o que aconteceu com o avanço de 0,650 mm/rot.

3.2 Alumínio

A usinagem de alumínio foi feita apenas com uma ferramenta de metal duro classe P. Também foi feita toda sem fluido de corte, pois o aquecimento não foi um problema. Assim foram levantados dados de rugosidade e tipo de cavaco em função da velocidade de corte e do avanço. A Figura 5 mostra o resultado da rugosidade obtida para o alumínio.

Como para cada valor de rugosidade foram tomadas três medidas, foi calculado o desvio padrão dividido pela média e multiplicado por 100, para ter um número percentual. Estes valores variaram entre 4% e 40%, o que mostra uma grande variabilidade das leituras. Isso sugere que as medidas devem ser feitas com mais rigor, para diminuir esta variabilidade.

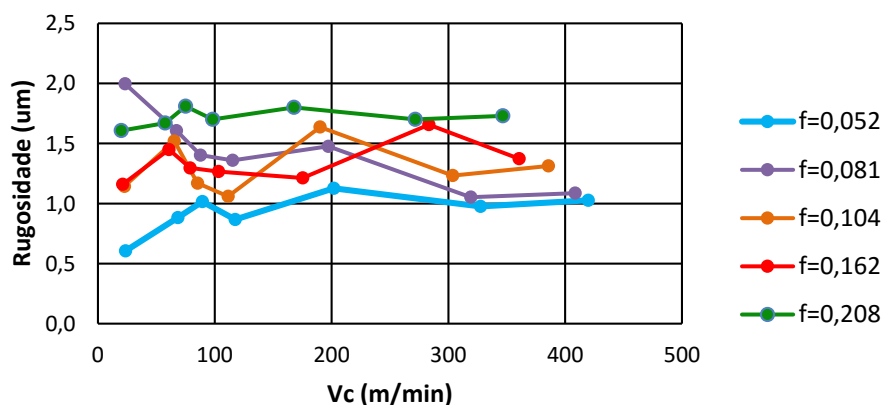


Figura 5 – Alumínio: Rugosidade em Função da Velocidade de Corte e do Avanço.
Fonte: Próprios autores

Uma análise das curvas da figura acima mostra que não há uma tendência nítida de influência da rugosidade pela velocidade de corte. Entretanto, fica claro que um aumento no avanço produz um aumento da rugosidade.

Note-se que há vários pontos com coordenadas “suspeitas” nos gráficos. Uma forma de resolver este problema é repetir o ensaio (neste caso a usinagem), mas não foi possível. Pretendemos repetir todas as usinagens no futuro para eliminar estas dúvidas sobre o comportamento da rugosidade.

Outro gráfico levantado foi o do tipo de cavaco. Este estudo pode ser visto na Figura 6.

Segundo a figura, há uma leve tendência de reduzir o grau de enrolamento do cavaco desde velocidades de corte baixas até cerca de 100 m/min e, a partir daí, há um leve aumento no grau. Vale salientar que o grau do cavaco foi um fator subjetivo, sujeito ao cansaço dos autores e a sua falibilidade.

Uma análise mais rigorosa talvez indicasse que não há uma tendência nítida que relacione o tipo de cavaco com a velocidade de corte.

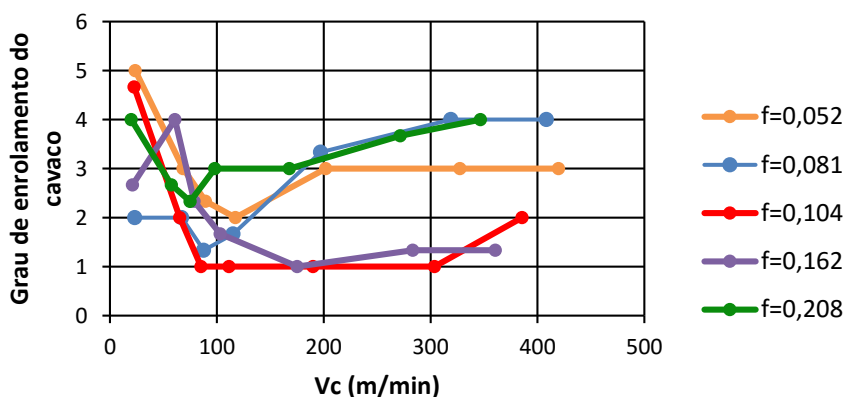


Figura 6 – Alumínio: Tipo de Cavaco em Função da Velocidade de Corte e do Avanço.
Fonte: Próprios autores

Conforme foi dito a respeito da rugosidade, outras repetições das usinagens deverão ser efetuadas para que os dados sejam mais confiáveis.

3.3 PVC

Para a usinagem de PVC foi usada a ferramenta de metal duro e sem fluido de corte. A penetração foi mantida constante no valor de 0,6 mm. A Figura 7 mostra a rugosidade e a Figura 8 representa o tipo de cavaco em função da velocidade de corte e do avanço.

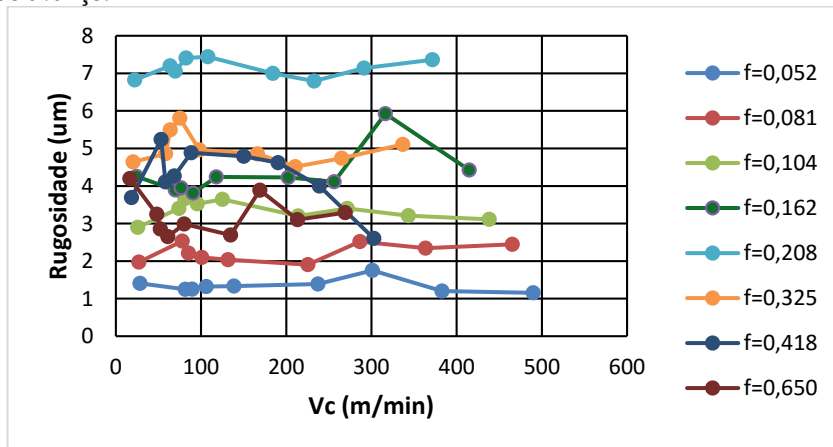


Figura 7 – PVC: Rugosidade em Função da Velocidade de Corte e do Avanço.
Fonte: Próprios autores

Uma análise dos gráficos obtidos mostra que não há uma tendência nítida de dependência da rugosidade com a velocidade de corte. Por outro lado tem-se um resultado no mínimo curioso: ao analisar a influência do avanço verificou-se que partindo de 0,052 mm/rot, ao aumentar o avanço a rugosidade tende a aumentar também, mas isso só acontece até o gráfico de 0,208 mm/rot. A partir daí a rugosidade tende a diminuir novamente. Infelizmente não houve condições de repetir os testes para confirmar a tendência, nem mesmo de variar outros parâmetros.

No que diz respeito ao cavaco, foi feita uma verificação pelos autores e cada um atribuiu um grau de enrolamento para os cavacos. Depois foi feita uma média, que foi considerada para as análises. O gráfico obtido está na Figura 8.

Note-se que não há uma tendência óbvia para as curvas. Isso significa que o avanço e a velocidade de corte têm pouca influência no tipo do cavaco. Vale salientar que o grau de enrolamento é subjetivo e, portanto, sujeito a erros. O ideal seria que os cavacos coletados fossem medidos em largura e comprimento e com base nestes números se obteria o grau de enrolamento.

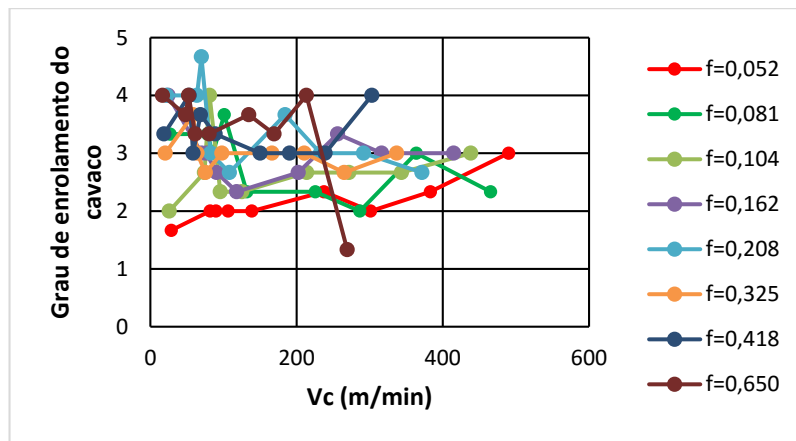


Figura 8 – PVC: Tipo de Cavaco em Função da Velocidade de Corte e do Avanço.
Fonte: Próprios autores

A fim de fazer uma comparação foi feita uma bateria de testes de usinagem do PVC com ferramenta de aço rápido. A Figura 9 mostra a rugosidade desta usinagem.

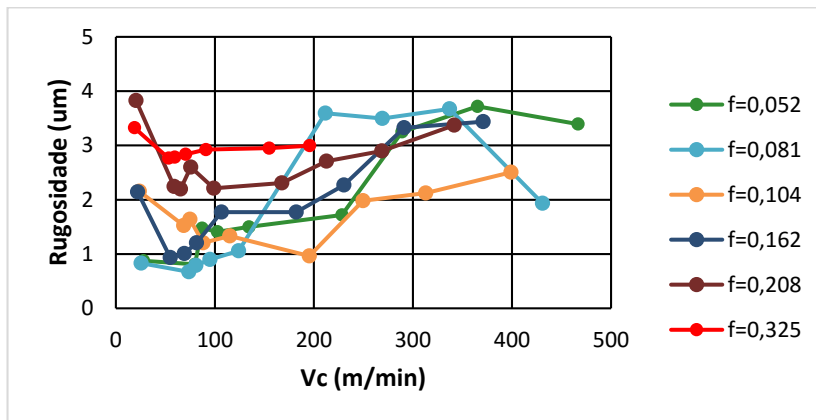


Figura 9 – PVC: Rugosidade em Função da Velocidade de Corte e do Avanço para Aço Rápido.
Fonte: Próprios autores

As curvas mostram que não há uma tendência nítida de influência da velocidade de corte na rugosidade. Note-se que não houve grandes diferenças nos valores de rugosidade ao se trocar a ferramenta de metal duro para aço rápido.

3.4 Poliacetal

A usinagem do poliacetal foi feita com ferramenta de metal duro e sem fluido de corte. A Figura 10 mostra os resultados para a rugosidade.

Nota-se que não há uma dependência nítida entre a rugosidade e a velocidade de corte. Com relação ao avanço, por outro lado, vê-se nitidamente que um aumento neste fator aumenta a rugosidade. Vale salientar que um torneamento que provoque uma rugosidades acima de 20 μm , já está produzindo uma rosca no material.

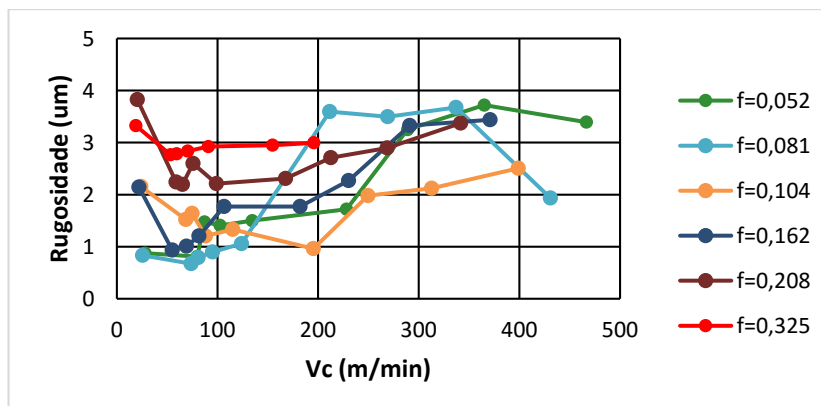


Figura 10 – Poliacetal: Rugosidade em Função da Velocidade de Corte e do Avanço.
Fonte: Próprios autores

3.5 Náilon

A usinagem de náilon foi feita com ferramenta de metal duro e sem fluido de corte. A Figura 11 mostra os resultados para a rugosidade.

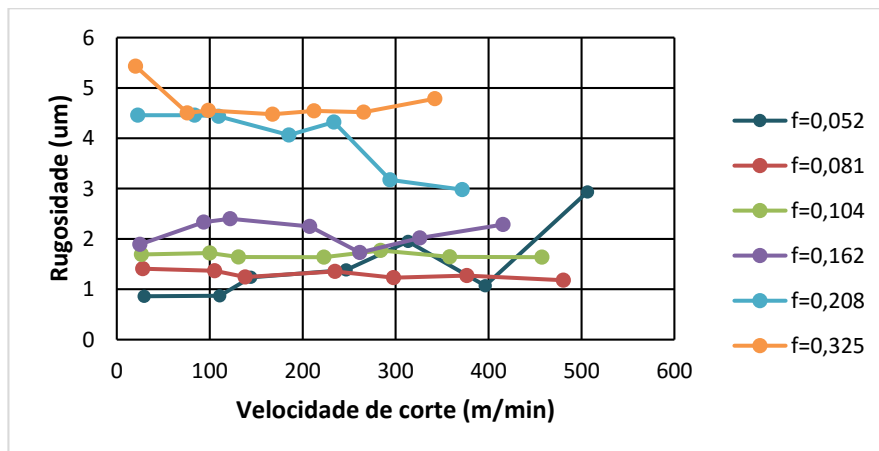


Figura 11 – Náilon: Rugosidade em Função da Velocidade de Corte e do Avanço.
Fonte: Próprios autores

Note-se que as usinagens feitas com avanços de 0,162 mm/rot e superiores apresentaram problemas de fusão do cavaco. Para evitar isso estas usinagens foram feitas com fluido de corte. Uma análise das curvas acima mostra que não há grande dependência da rugosidade em função da velocidade de corte, mas sim, do avanço. Assim resolvemos incluir o gráfico da rugosidade em função do avanço, mostrado na Figura 12.

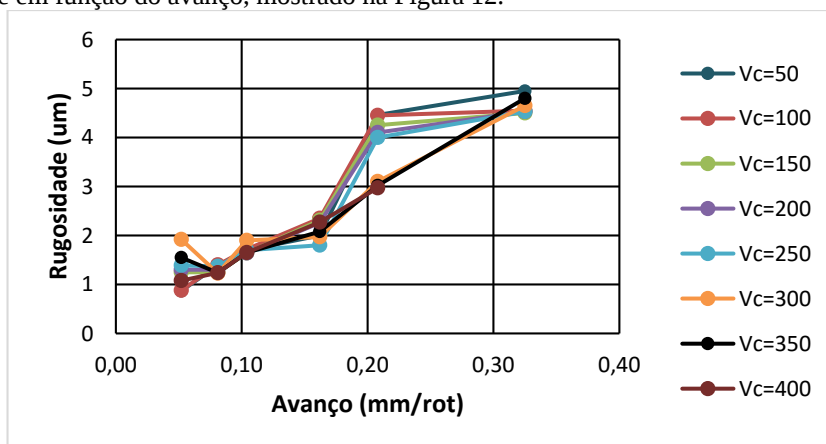


Figura 12 – Náilon: Rugosidade em Função do Avanço e da Velocidade de Corte.
Fonte: Próprios autores

Neste gráfico nota-se nitidamente que a rugosidade cresce com o aumento do avanço, mas como as curvas são bem próximas, fica clara a não dependência da rugosidade em relação à velocidade de corte.

Para o tipo de cavaco na usinagem do náilon o resultado é mostrado na Figura 13.

Uma análise do tipo de cavaco mostra que o grau de enrolamento aumenta com a velocidade de corte. Isso pode ser explicado com o aumento da temperatura do material com o aumento da velocidade, o que tende a “derreter” mais o cavaco, tornando-o mais enrolado.

Entretanto, não se nota uma dependência nítida do grau de enrolamento com o avanço.

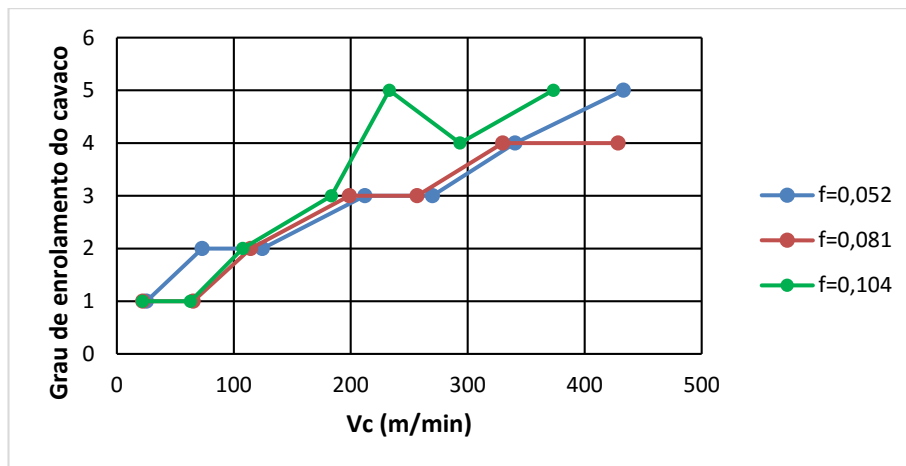


Figura 13 – Náilon: Tipo de Cavaco em Função da Velocidade de Corte e do Avanço.
Fonte: Próprios autores

3.6 Polipropileno

Para o polipropileno também a usinagem foi feita com ferramenta de metal duro e sem fluido de corte. Os resultados de rugosidade estão mostrados na Figura 14.

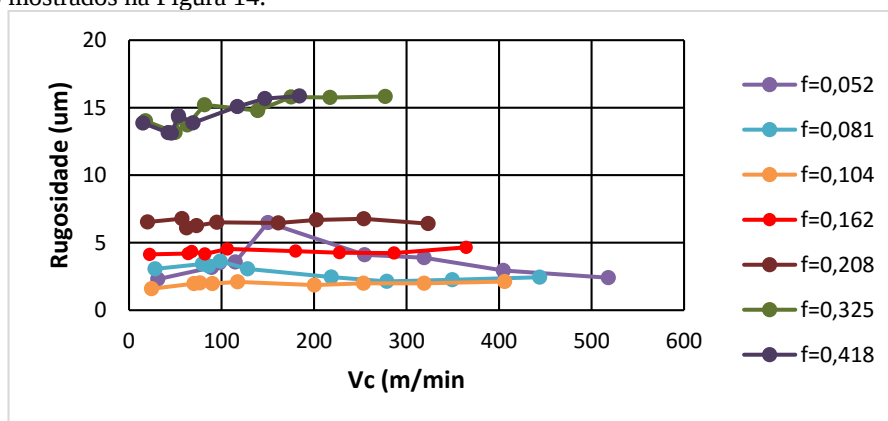


Figura 14 – Polipropileno: Rugosidade em Função da Velocidade de Corte e do Avanço.
Fonte: Próprios autores

A figura mostra que não há uma tendência nítida da rugosidade em função da velocidade de corte. Entretanto, o avanço tem influência sobre a rugosidade. Nota-se que partindo do valor de 0,052 mm/rot, aumentando o avanço a rugosidade tende a cair até o avanço 0,104 mm/rot. A partir daí a rugosidade tende a crescer novamente. Para o tipo de cavaco, os resultados estão mostrados na Figura 15.

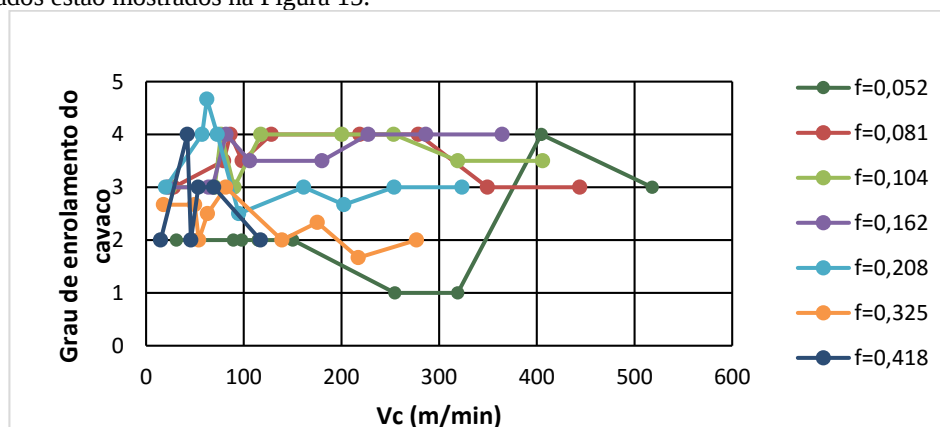


Figura 15 – Polipropileno: Tipo de Cavaco em Função da Velocidade de Corte e do Avanço.
Fonte: Próprios autores

Ao analisar estes gráficos nota-se que não há relação entre a velocidade de corte e o enrolamento do cavaco. Também o avanço não parece ter uma influência nítida sobre o tipo de cavaco.

3.7 Celeron

O celeron não é exatamente um polímero, mas um compósito obtido de tecidos de algodão impregnados com resinas sintéticas laminados a altas pressões e temperaturas. Como este material é muito utilizado nas indústrias em aplicações semelhantes às dos polímeros fizemos algumas usinagens com este material apenas a título de comparação.

A usinagem do Celeron não gera cavacos como se obtém com outros polímeros, mas produz cavaco em pó. Este pó pode ter granulação fina ou grosseira, em função dos parâmetros de usinagem.

As usinagens foram feitas com ferramenta de metal duro e sem fluido de corte. Em uma bateria de testes foram empregadas as velocidades de rotação do torno de 100, 290, 500, 860, 1100, 1400 e 1800 rpm. Para cada rotação foi feita uma usinagem e a rugosidade foi medida. A Figura 16 a seguir mostra os resultados obtidos quanto à rugosidade.

Na segunda bateria de testes foi mantido o avanço em 0,052 mm/rot e foi variada a velocidade de rotação do torno, desde 500 até 1800 rpm (conforme valores acima). Neste caso foi verificada a granulação do “cavaco”, sendo-lhe atribuído um número de 1 a 5, onde 1 indica granulação muito fina e 5, granulação muito grossa.

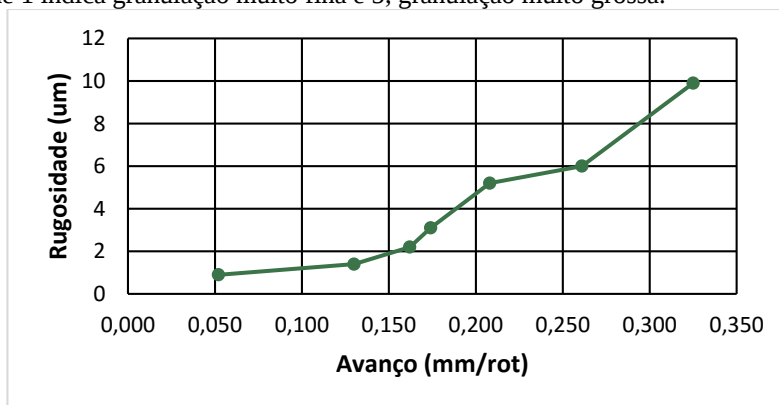


Figura 16 – Rugosidade do Celeron em Função do Avanço.

Fonte: Próprios autores

A Figura 17 a seguir mostra os resultados quanto à granulação dos “cavacos” obtidos nas usinagens.

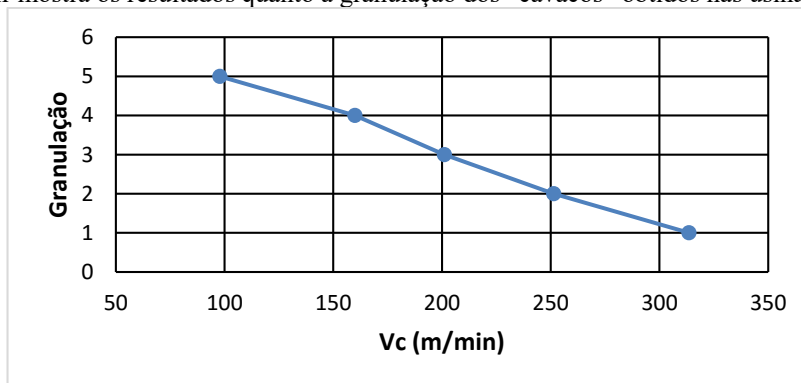


Figura 17 – Granulação do Celeron em Função da Velocidade de Corte.

Fonte: Próprios autores

Uma análise simples das figuras sobre o Celeron revela:

- A rugosidade superficial aumenta substancialmente com o aumento do avanço.
- A granulação diminui com o aumento da velocidade de corte.

Assim, para uma usinagem de boa qualidade de celeron, é recomendado utilizar grandes velocidades de corte com pequenos avanços.

4. CONCLUSÕES

Nota-se que para a usinagem de polímeros o fluido de corte não tem grande influência sobre a rugosidade das superfícies e nem sobre o tipo do cavaco. Apenas tem importância nos casos em que o polímero tenderia a fundir-se devido à alta temperatura. Nestes casos o fluido de corte evita este derretimento do polímero.

Quanto às ferramentas, nota-se que também não há grandes diferenças nos dois fatores mencionados para ferramentas de metal duro e de aço rápido.

Quanto aos parâmetros analisados, verifica-se que aumentos no avanço aumentam a rugosidade, chegando ao limite de não usinar mais superfícies “retas”, mas produzindo roscas. A velocidade de corte não apresentou grande influência nas rugosidades das peças. Apenas em alguns casos notou-se uma tendência, mas mesmo assim muito pequena. Estas conclusões são semelhantes às obtidas por Diniz (2006), que afirma: “a rugosidade oscila ... entre valores altos e baixos à medida que a velocidade de corte cresce”. Ele afirma ainda que isso ocorre devido à resposta do sistema de usinagem às vibrações devido à variação da velocidade de corte.

5. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer à direção da Escola de Arquitetura, Engenharia e TI da Unifacs e à Supervisão de Laboratórios da Unifacs por seu incentivo a este trabalho.

Também gostaríamos de agradecer aos técnicos, estagiários e colaboradores dos laboratórios pela grande ajuda na usinagem e preparação das peças.

6. REFERÊNCIAS

Diniz, Anselmo E. et al **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. Ed. ArtLiber, São Paulo, 2006.
Machado, Álisson R et al. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. Ed. Blucher. São Paulo, 2015.
Piratelli, Filho, Antônio **Rugosidade**. 3º Seminário de Metrologia, Brasília, 2011

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

Polymer Machining – Cutting Parameter Determination

Ismael Emílio de Oliveira Júnior, ismael.junior@pro.unifacs.br¹

Karoline Conceição da Fonseca Santos, karoline.conceicao27@hotmail.com¹

Laise Caldas Tavares, laise.tavares@outlook.com¹

¹Universidade Salvador, Unifacs, Rua Dr. José Peroba, 251, Salvador, BA – 41770-235

Abstract. *This work shows the results of turnings executed in polymers and compares these data with metal data. As stated by various authors, traditionally there is not much data on polymer turning, which makes it difficult for somebody who has to do this kind of job to determine turning parameters. Among the important data is surface roughness for many times a machining has a maximum roughness value established. Chips, inevitable products of machining, may be very dangerous to the process and to the operator, what makes its study important.*

So, this work has the goal of being a reference or simple guide for who has to turn polymers.

The choice of better values for turning speed, advance and penetration are doubts in work with polymers, and also are the kind of tool and the use of cutting fluid. For this work a universal lathe was used and turning was made in nylon, polypropilen, polyoxymethylene and PVC. Also some turning were made in Celeron. For comparison turnings were made in steel 1045 and aluminum. Differences are shown in results with variation of the variables, using as a parameter the kind of chip and surface roughness. Curves were made for roughness x cutting speed, varying the tool advance. In some cases tool material was changed (HSS and carbide) and also the cutting fluid (with and without).

In an analysis of results we verify that some polymers create chip as powder, particularly in celeron. Another relevant information: the grater the cutting speed, the greater the chip winding. About cutting fluid, it was noticed that is makes few difference in turning, but for nylon, when increasing cutting speed the polymer starts to melt, what makes the use of fluid recommended. With the results it is clear that this work can be used as a guide for machining polymers.

Keywords: *Polymer machining, Machining parameters, Polymer Testing*