

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA FORÇA DE CORTE E DA RUGOSIDADE NO TORNEAMENTO DE COMPÓSITO DE POLIPROPILENO COM CASCA DE ARROZ

Eduardo Farias Ritter, eduardofarias@feevale.br¹
João Batista Sá de Farias, jsadefarias@feevale.br¹

¹Universidade Feevale, RS 239, 2755 – Bairro Vila Nova – Novo Hamburgo/RS

Resumo: *Este trabalho estuda a influência do avanço, da velocidade e da profundidade de corte na força de corte e na rugosidade superficial de produtos feitos a partir de compósitos poliméricos acrescidos de casca de arroz pelo processo de torneamento. Realizaram-se ensaios de usinabilidade de curta duração pelos critérios básicos da força de corte e do acabamento superficial. Conforme o critério da pressão específica de corte, a força de corte sofre influência de forma direta e linear quando variada a profundidade de corte e o avanço, porém, não sofre influência quando variada a velocidade de corte. Através de gráficos, os resultados obtidos foram condizentes com a descrição do método. A força de corte sofreu influência quando alterada a profundidade de corte e o avanço. O comportamento da rugosidade média Ra, pelo critério da rugosidade superficial, deve ser da seguinte forma: deve sofrer influência de forma direta e linear se variado o avanço e não sofrer influência significativa quando variada a profundidade e a velocidade de corte. A rugosidade média Ra apresentou resultados conforme o método, através de gráficos. Adotou-se a análise de variância (ANOVA) para tratamento estatístico dos resultados. Através dele, chegou-se aos mesmos resultados apresentados pela análise gráfica, porém, observou-se que a velocidade de corte influenciou a rugosidade Ra. Isto pode ter ocorrido pelo material em estudo ser um compósito de matriz polimérica amorfa, o qual não apresenta uma organização atômica ordenada e também pelo métodos aplicados neste estudo referirem-se à experimentos feitos com metais, que são homogêneos. Quando aplicados em materiais não homogêneos podem gerar resultados um pouco divergentes. A aplicação destes métodos se deveu pela inexistência de análises desta natureza para materiais como o estudado, mostrando-se, possíveis de serem aplicados para a análise de usinabilidade de compósitos de base polimérica com adição de casca de arroz.*

Palavras-chave: *usinabilidade, parâmetros de usinagem, reciclagem*

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de novos materiais em processos de usinagem tem aumentado de forma significativa, inclusive com a utilização de polímeros, tanto os conhecidos plásticos de engenharia, como a poliamida, bem como os plásticos chamados *commodities*, como o polietileno e o polipropileno.

Com a crescente oferta de polímeros no mercado global, de diferentes especificações para atender às expectativas do maior número de clientes, cresce junto à quantidade de material não aproveitado ou o que se chama de resíduo. Uma das alternativas encontradas para minimizar este grande aumento nos resíduos de polímero é a criação de subprodutos reciclados, fazendo com que estes materiais não aproveitados sejam utilizados como matéria-prima para novos produtos. Alguns destes subprodutos gerados a partir da reciclagem de polipropileno são barras feitas a partir do processo de extrusão às quais também é adicionado outro resíduo, a casca do grão do arroz. Estas barras são chamadas de perfis ecológicos. A casca é incorporada no resíduo de polipropileno, conferindo-lhe uma boa resistência mecânica. Esta nova matéria-prima pode ainda gerar novos produtos, sendo eles obtidos por meio de diversos processos de fabricação, como a usinagem.

Os processos de fabricação podem ser classificados de duas formas: processos que mudam a forma com remoção de material e processos que mudam a forma sem remover material. O grupo dos processos que remove material é composto basicamente pelas operações de usinagem. Os processos de usinagem são utilizados devido ao grande número de geometrias que podem ser obtidas, com uma elevada exatidão dimensional e acabamento superficial, e não promovendo mudanças significativas nas propriedades do material. Apesar de apresentar uma série de vantagens, a usinagem apresenta algumas desvantagens com relação a outros processos de fabricação, como a baixa velocidade de produção. Estas desvantagens fazem com que qualquer aprimoramento no sentido de aumentar a produção de um processo de usinagem represente um ganho significativo. Outra desvantagem são os custos envolvidos, que se devem aos custos dos maquinários e ferramental, além da capacitação das pessoas que trabalham diretamente ao processo, que

deve ser de alta qualidade e muito específica. Qualquer desenvolvimento aplicado ao processo de usinagem e transformado em redução de custo é importante em função da grande aplicação destes processos nas indústrias. Podem ser melhorias em máquinas, ferramentas ou materiais, cuja usinabilidade seja facilitada.

Quando se realizam estudos de materiais voltados para usinagem, eles se traduzem numa grandeza chamada usinabilidade. Ela expressa a facilidade de usinar um material de acordo com determinado critério. A usinabilidade qualifica o material a ser usinado de acordo com um determinado critério, que reflete os interesses do usuário. Os critérios mais utilizados são o tempo de vida da ferramenta, as forças e potências necessárias na usinagem e a rugosidade das peças produzidas por este processo. Quando se trata de usinabilidade deve se ter bem claro quais os critérios que serão escolhidos, devido ao grande número de variáveis relacionadas à usinabilidade de um material.

Com base nisto, este trabalho analisa a usinabilidade do polipropileno com adição de casca de arroz em relação aos critérios de forças de usinagem e rugosidade superficial. Por meio deste estudo será determinada a influência dos diversos parâmetros de corte nas forças de usinagem bem como na rugosidade superficial das peças produzidas a partir deste material. Para tanto, será realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o tema bem como procedimentos experimentais e posterior análise dos resultados.

2. ENSAIOS DE USINABILIDADE

2.1. Critérios baseados na força de usinagem

Segundo Ferraresi (2003), nos ensaios de usinabilidade que se levam em conta a força de usinagem, alguns critérios são analisados. Podemos dizer que o método da pressão específica de corte, o método da tensão de cisalhamento, o método da força de avanço constante são os mais importantes e mais utilizados

Neste estudo será utilizado o método da pressão específica de corte, porém será apenas analisada a influência dos parâmetros de usinagem na força de corte.

2.1.1. Método da pressão específica de corte

Denomina-se força específica de corte a força de corte F_c por unidade de área de secção de corte (Ferraresi, 2003). Conhecendo-se a pressão específica de corte, pode-se, então, calcular facilmente a potência do motor necessária. A força principal de corte F_c é a base para o cálculo da potência de usinagem.

2.2. Critérios baseados no acabamento superficial

Uma das grandezas importantes na usinagem de materiais é a rugosidade superficial da peça usinada (Ferraresi, 2003).

A qualidade das superfícies das peças é caracterizada pelo acabamento obtido na usinagem e pelas propriedades físicas e mecânicas do material na camada superficial. Estas propriedades são modificadas durante o processo de usinagem. Aspectos como pressão da ferramenta contra a peça, atrito da superfície de incidência da ferramenta com a peça, atrito interno do material na região de deformação plástica, calor gerado no processo de corte, fenômenos específicos do processo de formação do cavaco, vibração da ferramenta e da máquina são responsáveis pelas alterações nas propriedades do material.

3. FATORES QUE INFLUENCIAM A FORÇA DE CORTE E A RUGOSIDADE MÉDIA (R_a)

Fatores que influenciam a força de corte

O conhecimento das variáveis que afetam as forças de usinagem, principalmente a força de corte, segundo Amorim (2002), é importante para o correto projeto do processo, levando em consideração principalmente os aspectos econômicos envolvidos na usinagem. Os mais importantes são:

Material da peça – como o corte dos metais depende da deformação plástica e ruptura por cisalhamento destes, quanto maior a resistência do material maior serão as forças de usinagem e a resistência ao cisalhamento. Também a dureza do material afeta a força de corte, que geralmente cresce com o aumento desta. Porém, fatores como o acabamento superficial e um baixo atrito cavaco-ferramenta e ferramenta-peça tendem a reduzir a força de corte, podendo dificultar a observação do aumento causado pela dureza da peça.

Velocidade de corte – dentro dos valores empregados industrialmente, a velocidade exerce pouca influência na força de corte. Segundo Ferraresi (2003), para velocidades com valores até 50m/min e ausência de aresta postíça de corte, o aumento na velocidade corte (V_c) causa uma grande redução nas forças de corte, considerando-se os metais. Isto acontece devido à redução da resistência ao cisalhamento do material, gerado pelo aumento da temperatura nas zonas de cisalhamento. Já em faixas mais altas de velocidade corte (até 100m/min) a força de corte tende a estabilizar.

Avanço e profundidade de corte – o aumento destes dois parâmetros aumenta a força de corte de forma direta e linear. Através do produto do avanço e da profundidade de corte, obtêm-se a área da seção de corte (A_s).

Geometria da ferramenta – O ângulo mais influente na força de corte é o ângulo de saída. Uma redução neste

ângulo gera um aumento da área de contato maior e impõe uma maior restrição ao escorregamento do cavaco sobre a superfície de saída, elevando a força de usinagem. O ângulo de posição também influencia a força de corte. O aumento deste ângulo, desde que o ângulo de posição lateral não se torne pequeno ao ponto da aresta lateral de corte entrar em ação, promove uma pequena redução nas forças de usinagem.

3.1. Fatores que influenciam a rugosidade média (Ra)

Com relação aos parâmetros de corte, pode-se dizer que, segundo Amorim (2002, apud Diniz, 2000), o avanço é o mais significativo dos parâmetros de usinagem. Este é utilizado para a determinação teórica da rugosidade média, segundo Machado e Silva (1999), juntamente com o raio de ponta da ferramenta. Em relação à profundidade de corte, esta não apresenta grande influência na rugosidade, exceto que, para profundidades de corte superiores a 1 mm, ocorre um pequeno decréscimo na rugosidade. (Amorim, 2002 apud Diniz, 2000).

Também se pode analisar a velocidade de corte que, para valores baixos, mostra forte relação com a rugosidade média, devido à formação da aresta postiça de corte. Para velocidades de corte superiores a 100 m/min a rugosidade torna-se praticamente estável em relação à velocidade de corte. (Amorim, 2002 apud Ferraresi, 1970).

4. PROCESSO EXPERIMENTAL

4.1. Materiais

Para a realização deste estudo, foi utilizado um corpo de prova Fig. (1) composto por 80% de polipropileno reciclado e 20% de casca de arroz, com diâmetro de 80 mm e comprimento de 600 mm.

Os ensaios realizados adotaram os critérios baseados na força de corte e no acabamento superficial. Para a determinação da força de corte (FC), utilizou-se o ensaio de torneamento e para o método da rugosidade superficial, foi realizada a medição da rugosidade de todos os comprimentos usinados.



Figura 1. Corpo de Prova
Fonte: Próprio Autor

4.2. Torneamento

Para se obter uma reprodutibilidade de resultados, bem como a adequação aos padrões de ferramentas, adotou-se neste ensaio um inserto de metal duro sem cobertura, com características para usinagem de alumínio, além do suporte para torneamento para este inserto, conforme Fig. (02).

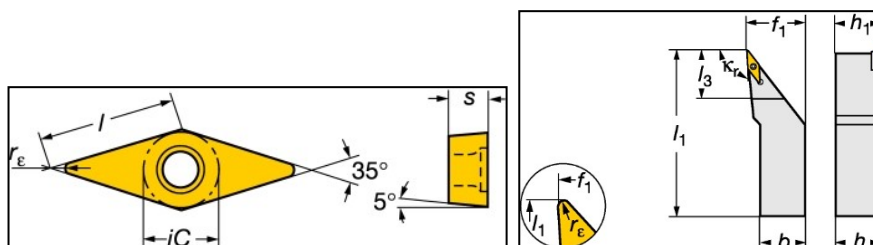


Figura 2. Sistema Suporte-Inserto
Fonte: Catálogo de Insertos e Suportes – Sandvik do Brasil

A escolha de um inserto com composição própria para aplicação em alumínio deve-se ao fato do alumínio apresentar características mecânicas (ductibilidade) próximas as dos polímeros. Além disso, o ensaio foi realizado em um torno marca Romi, modelo IH 40, ligado a um sistema de análise de esforço de corte conforme Fig. (3).



Figura 3. Sistema de Medição de Forças de Usinagem
Fonte: Próprio Autor

4.3. Medição de Rugosidade

Para a análise da qualidade superficial (rugosidade) foi utilizado um rugosímetro marca Taylor Hobson, modelo Surtronic 3++, operado pelo software Taylor Lite, com raio da ponta de medição igual $0,5\mu\text{m}$. Neste estudo, usou-se para as análises a rugosidade média (R_a), conforme a norma NBR ISO 4287, a qual é a mais utilizada industrialmente.

Na primeira etapa foram definidos três valores diferentes para a velocidade de corte, sendo eles: 50, 100 e 200m/min. Manteve-se o avanço em 0,205mm/rot e a profundidade de corte em 1 mm. Já na segunda etapa, foram definidos três valores diferentes para o avanço, sendo eles: 0,102; 0,205 e 0,410mm/rot. Manteve-se a velocidade de corte no valor de 100m/min e a profundidade de corte em 1 mm. E, finalmente, na terceira etapa foram definidos três valores diferentes para a profundidade de corte, sendo eles: 1,000; 2,000 e 4,000mm. Manteve-se a velocidade de corte no valor de 100m/min e o avanço em 0,205mm/rot. A escolha de um avanço maior que o raio de ponta foi realizado para se analisar o comportamento do material da rugosidade, a qual está muito ligada a esta parte construtiva da ferramenta.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio dos ensaios obtiveram-se os resultados da influencia dos parâmetros de usinagem sobre a força de corte e a rugosidade média R_a . Estes dados deram origem a estudos comparativos, por meio de gráficos e análise estatística.

5.1. Forças de Corte

Por meio do ensaio de usinabilidade realizado, obtiveram-se os resultados apresentados para a força de corte com a variação da velocidade de corte (V_c), conforme a Tab. (1).

Tabela 1. Primeira Etapa Ensaio de Usinabilidade – Força de Corte (F_c)

| Velocidade de Corte (V_c) (m/min) | 50 | 100 | 200 |
|---------------------------------------|--|--------|--------|
| | <i>Força de corte - F_c - (N)</i> | | |
| Medida 1 | 21,000 | 14,000 | 17,000 |
| Medida 2 | 20,000 | 23,000 | 21,000 |
| Medida 3 | 20,000 | 16,000 | 21,000 |
| Medida 4 | 21,000 | 24,000 | 19,000 |
| Média | 20,500 | 19,250 | 19,500 |
| Desvio Padrão | 0,500 | 4,323 | 1,658 |

Avanço: $f = 0,205\text{mm/rot}$

Profundidade de corte: $a_p = 1\text{mm}$

Com base nos resultados da Tab. (1), será apresentada a análise gráfica do comportamento da força de corte em relação à velocidade de corte e a Figura (4) apresenta a influência da velocidade de corte na força de corte.

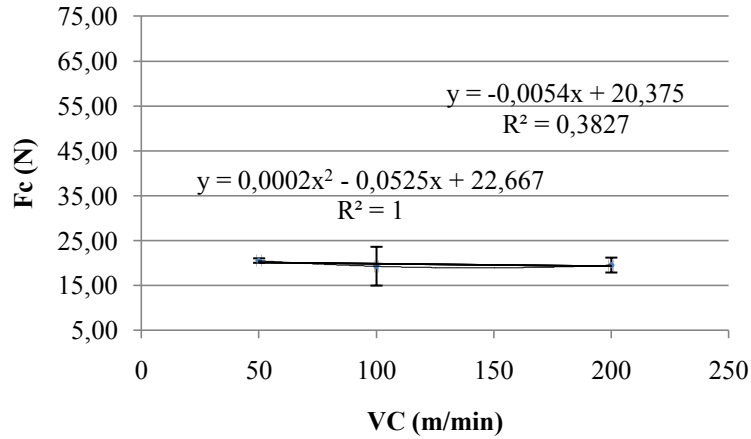


Figura 4. Influência da Velocidade de Corte na Força de Corte
 Fonte: Próprio Autor

Os resultados apresentados na Fig. (4) mostram que para o material em estudo a velocidade de corte não apresentou influência significativa sobre a força de corte, sendo ela em torno de 5%, o que concorda com os resultados apresentados por Amorim (2002, apud Feraresi, 1970). Na Fig. (4) foram estabelecidas duas linhas de tendências juntamente com suas equações. Esta medida foi tomada em função do valor R2 da equação linear ser muito baixo, demonstrando uma baixa correlação entre os dados, o que não acontece na equação polinomial de segunda ordem, onde o valor R2 é igual a 1, demonstrando uma perfeita correlação entre os dados. A baixa influência da velocidade de corte sobre a força de corte pode ter ocorrido em função de o experimento ter se dado em velocidades acima de 50m/min, onde a força de corte tende a se estabilizar. Nesta faixa de velocidade a resistência ao corte diminui, em função do aumento da temperatura na zona de corte, o que faz a força de corte estabilizar e até sofrer uma pequena diminuição. O aumento da velocidade de corte também atua na redução ou eliminação da aresta postiça, uma das responsáveis pelo aumento da força de corte. Para Bezerra e Machado (2007) o aumento da velocidade de corte ocasionou uma redução no valor da força de corte.

Por meio do ensaio de usinabilidade realizado, obtiveram-se os resultados para a força de corte com a variação da profundidade de corte (a_p), conforme a Tab. (2). O ensaio de usinabilidade também avaliou os resultados do comportamento da força de corte com a variação do avanço (f), que estão apresentados na Tab. (3). Para um estudo consistente da força de corte com relação ao avanço e a profundidade de corte, foi elaborada a Fig. (5(a)) e a Fig. (5(b)), respectivamente.

Tabela 2. Segunda Etapa Ensaio de Usinabilidade - Força de Corte (Fc)

| Profundidade de Corte (a_p) (mm) | 1,000 | 2,000 | 4,000 |
|--------------------------------------|----------------------------------|--------|--------|
| | <i>Força de corte - Fc - (N)</i> | | |
| Medida 1 | 13,000 | 20,000 | 33,000 |
| Medida 2 | 12,000 | 16,000 | 33,000 |
| Medida 3 | 9,000 | 19,000 | 35,000 |
| Medida 4 | 13,000 | 20,000 | 32,000 |
| Média | 11,750 | 18,750 | 33,250 |
| Desvio Padrão | 1,639 | 1,639 | 1,090 |

Velocidade de corte: $V_c = 100\text{m/min}$

Avanço: $f = 0,205\text{mm/rot}$

Tabela 3. Terceira Etapa Ensaio de Usinabilidade - Força de Corte (Fc)

| Avanço (f) (mm/rot) | 0,102 | 0,205 | 0,410 |
|-------------------------|----------------------------------|--------|--------|
| | <i>Força de corte - Fc - (N)</i> | | |
| Medida 1 | 21,000 | 41,000 | 65,000 |
| Medida 2 | 15,000 | 33,000 | 72,000 |
| Medida 3 | 23,000 | 33,000 | 68,000 |
| Medida 4 | 17,000 | 34,000 | 70,000 |
| Média | 19,000 | 35,250 | 68,750 |
| Desvio Padrão | 3,162 | 3,345 | 2,586 |

Avanço: $f = 0,205\text{mm/rot}$

Profundidade de corte: $a_p = 1\text{mm}$

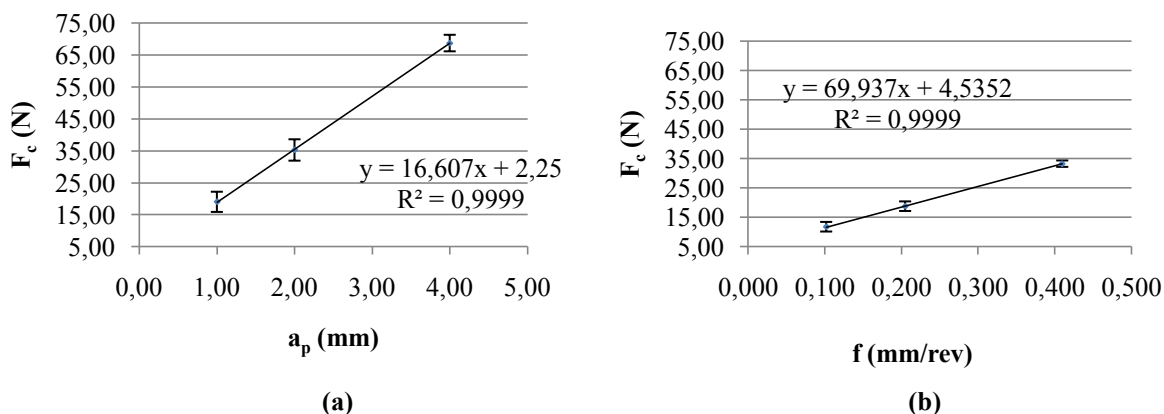


Figura 5. - Influencia da Profundidade de Corte e do Avanço na Força de Corte

Fonte: Próprio Autor

Por meio da Fig. (5(a)), nota-se que a profundidade de corte (a_p) exerce uma grande influência sobre a força de corte, sendo esta em torno de 27%. A influência que o avanço (f) exerce sobre a força de corte, gira em torno de e 35%, conforme pode ser visto na Fig. (5(b)). Conforme Amorim (2002, apud Ferraresi, 1970), o aumento do avanço e da profundidade de corte gera um aumento de forma linear na força de corte. A pesquisa feita por Sampaio et al. (2008), utilizando o mesmo método adotado neste estudo, também confirmou, para o aço ABNT 12L14, que a força de corte é influenciada de forma linear pela profundidade de corte e pelo avanço, e não muda em função da alteração da velocidade de corte.

5.2. Rugosidade Média (R_a)

O ensaio de usinabilidade também foi realizado para avaliar o comportamento da rugosidade média (R_a) com a variação dos parâmetros de usinagem. Os resultados obtidos para a influência da velocidade de corte sobre a rugosidade média (R_a) estão apresentados na Tab. (4). Por meio da Tab. (5), estão sendo apresentados os resultados da força de corte quando variada a profundidade de corte.

Tabela 4. Primeira Etapa Ensaio de Usinabilidade – Rugosidade Média (R_a)

| Velocidade de Corte (V_c) (m/min) | 50 | 100 | 200 |
|---------------------------------------|---|-------|-------|
| | <i>Rugosidade R_a (μm)</i> | | |
| Medida 1 | 3,80 | 4,12 | 3,89 |
| Medida 2 | 3,76 | 3,84 | 3,64 |
| Medida 3 | 3,71 | 4,15 | 3,98 |
| Medida 4 | 3,78 | 4,13 | 3,68 |
| Média | 3,76 | 4,06 | 3,80 |
| Desvio Padrão | 0,033 | 0,127 | 0,142 |

Avanço: $f = 0,205\text{mm/rot}$

Profundidade de corte: $a_p = 1\text{mm}$

Tabela 5. Segunda Etapa Ensaio de Usinabilidade – Rugosidade Média (R_a)

| Profundidade de Corte (a_p) (mm) | 1,000 | 2,000 | 4,000 |
|--------------------------------------|---|-------|-------|
| | <i>Rugosidade R_a (μm)</i> | | |
| Medida 1 | 3,88 | 3,75 | 3,83 |
| Medida 2 | 3,75 | 3,98 | 4,18 |
| Medida 3 | 3,38 | 4,00 | 3,89 |
| Medida 4 | 3,59 | 3,83 | 4,07 |
| Média | 3,65 | 3,89 | 3,99 |
| Desvio Padrão | 0,187 | 0,104 | 0,14 |

Velocidade de corte: $V_c = 100\text{m/min}$

Avanço: $f = 0,205\text{mm/rot}$

A seguir, será apresentada a análise gráfica do comportamento da rugosidade média (R_a) com a variação da velocidade de corte (V_c), sendo este visto na Fig. (7(a)) e com a variação da profundidade de corte (a_p), visualizado por meio da Fig. (7(b)).

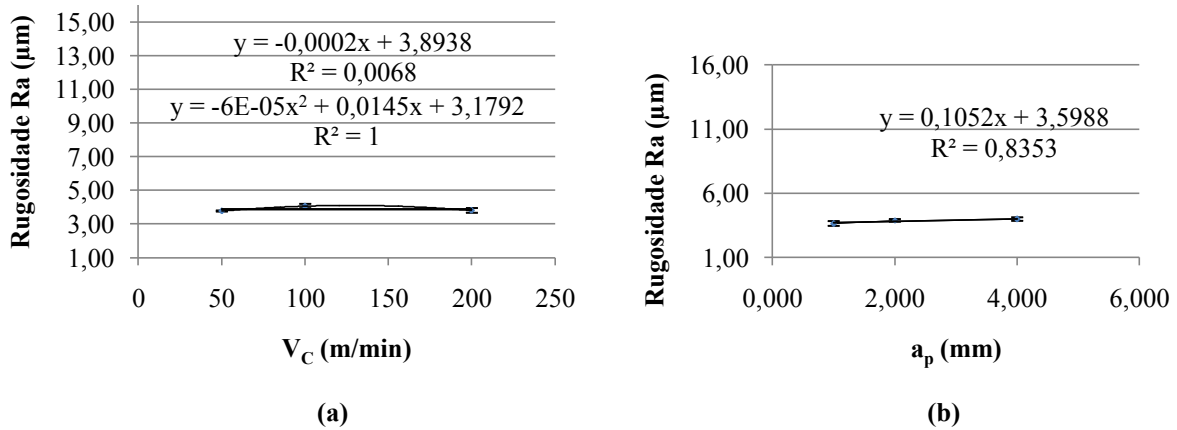


Figura 7. Influencia da Velocidade e da Profundidade de Corte na Rugosidade Média (Ra)
Fonte: Próprio Autor

Na Fig. (7(a)) foram estabelecidas duas linhas de tendências juntamente com suas equações. Esta medida foi tomada em função do valor R2 da equação linear ser muito baixo, demonstrando uma baixa correlação entre os dados, que não acontece na equação polinomial de segunda ordem, onde o valor R2 é igual a 1, demonstrando uma perfeita correlação entre os dados. Por meio da Fig. (7(a)) e da Fig. (7(b)), constata-se que a velocidade e profundidade de corte não exercem grande influência na rugosidade média (Ra). A ocorrência deste fato está de acordo com o que é dito por Amorim (2002, apud Ferraresi, 1970). Ainda conforme o mesmo autor, a velocidade de corte só exerce influência em valores mais baixos (menores que 100m/min), o que é apresentado pela Fig. (7(a)). Porém, para a velocidade de 50m/min a rugosidade foi muito próxima ao valor da rugosidade obtida na velocidade de 100m/min. Este fato pode ter ocorrido devido ao processo não ter apresentado aresta postiça sob a ferramenta, causada pelas características do material da peça e/ou do material e geometria da ferramenta.

Os resultados obtidos para a influencia do avanço sobre a rugosidade média Ra estão apresentados na Tab. (6).

Tabela 6. Terceira Etapa Ensaio de Usinabilidade – Rugosidade Média (Ra)

| Avanço (f) (mm/rot) | 0,102 | 0,205 | 0,410 |
|---------------------|---|-------|-------|
| | <i>Rugosidade R_a (μm)</i> | | |
| Medida 1 | 1,65 | 3,68 | 12,90 |
| Medida 2 | 1,36 | 3,87 | 14,60 |
| Medida 3 | 1,32 | 3,70 | 16,60 |
| Medida 4 | 1,46 | 3,76 | 15,80 |
| Média | 1,45 | 3,75 | 14,98 |
| Desvio Padrão | 0,128 | 0,074 | 1,394 |
| Máximo | 1,65 | 3,87 | 16,6 |
| Mínimo | 1,32 | 3,68 | 12,9 |
| Amplitude | 0,33 | 0,19 | 3,7 |

Avanço: $f = 0,205\text{mm/rot}$

Profundidade de corte: $a_p = 1\text{mm}$

Através dos dados da Tab. (6), gerou-se a Fig. (8), onde pode ser analisada a influencia exercida pelo o avanço sobre a rugosidade média Ra.

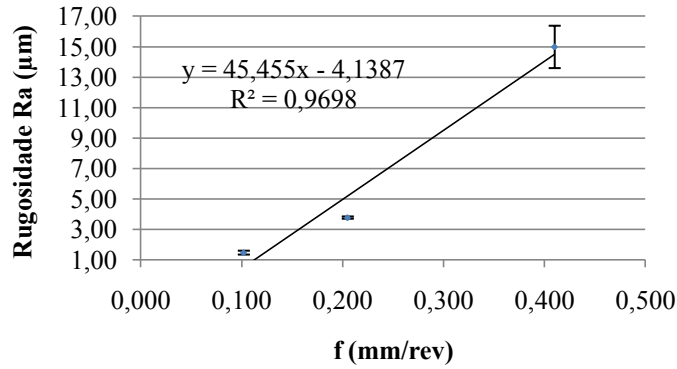


Figura 8. Influência do Avanço na Rugosidade Média (Ra)
Fonte: Próprio Autor

Com relação ao avanço, Amorim (2002, apud Diniz, 2000) diz que este parâmetro, junto com o raio de ponta da ferramenta, é o parâmetro que mais influencia na rugosidade média R_a . Através da análise do Fig. (8), pode-se concluir o que foi descrito anteriormente, ou seja, o avanço apresentou uma variação significativa na rugosidade média Ra, sendo ela em torno de 90%.

6. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Com o intuito de assegurar o respaldo científico às conclusões e com a necessidade de comparação dos dados pesquisados, foi utilizado o teste estatístico de análise de variância (ANOVA). Tal análise serve para determinar se existem diferenças significativas entre os grupos de medidas e, se existir, quais grupos são significativamente diferentes um do outro. Conforme Martinazzo (2009), para que se confirme esta diferença, é necessário que o *valor-P* seja menor que o intervalo de significância, que neste caso é de 0,05 (intervalo de confiança de 95%). Se isto não for verificado, ou seja, se ele for maior ou igual, ainda assim devem-se analisar os valores de F e F crítico. Se F for maior que F crítico considera-se que há diferença entre os grupos. A seguir, a Tab. (10) apresenta a análise ANOVA para a força de corte e a Tab. (11) apresenta a análise ANOVA para a rugosidade média (Ra).

Tabela 10. ANOVA para Força de Corte (F_c)

| Fonte da variação | | SQ | gl | MQ | F | valor-P | F crítico |
|-------------------|--------------|---------|------|---------|--------|-----------------------|-------------|
| Velocidade | Entre grupos | 3,50 | 2 | 1,75 | 0,18 | 0,837 | 4,26 |
| Avanço | Entre grupos | 962,00 | 2 | 481,00 | 164,91 | $8,11 \times 10^{-8}$ | 4,26 |
| Profundidade | Entre grupos | 5148,50 | 2 | 2574,25 | 207,79 | $2,94 \times 10^{-8}$ | 4,26 |

SQ , soma dos quadrados; gl , graus de liberdade; MQ , média dos quadrados; F e F crítico, testes estatísticos; *valor-P*, porcentagem de contribuição.

Tabela 11. ANOVA Para Rugosidade Média (Ra)

| Fonte da variação | | SQ | gl | MQ | F | valor-P | F crítico |
|-------------------|--------------|--------|------|--------|--------|-----------------------|-------------|
| Velocidade | Entre grupos | 0,21 | 2 | 0,11 | 6,35 | 0,019 | 4,26 |
| Avanço | Entre grupos | 419,00 | 2 | 209,50 | 240,06 | $1,55 \times 10^{-8}$ | 4,26 |
| Profundidade | Entre grupos | 0,25 | 2 | 0,12 | 4,26 | 0,050 | 4,26 |

SQ , soma dos quadrados; gl , graus de liberdade; MQ , média dos quadrados; F e F crítico, testes estatísticos; *valor-P*, porcentagem de contribuição.

Na Tabela (10), constata-se que o avanço (*valor-P* = $8,11 \times 10^{-8}$) e a profundidade (*valor-P* = $2,94 \times 10^{-8}$) alteram o grupo de valores da força de corte, ou seja, estes parâmetros alteram a força de corte, o que concorda com as definições de Amorim (2002, apud Ferraresi, 1970).

Na Tabela (11), pode ser visto que o avanço (*valor-P* = $1,55 \times 10^{-8}$) altera os valores do grupo de rugosidades, ou seja, este parâmetro altera o valor da rugosidade média R_a , o que é dito como verdade por Amorim (2002, apud Diniz, 2000). De acordo com o mesmo autor, a velocidade de corte não influencia na rugosidade média (Ra), o que pode ser constatado na Fig. (9). Porém, na análise de variância (ANOVA), observa-se que a velocidade de corte influenciou na rugosidade média (Ra). Esta influencia pode estar relacionada ao fato do material em estudo ser um compósito de matriz polimérica amorfa, o qual não apresenta uma organização atômica ordenada. Como os conceitos

aplicados neste estudo referem-se a experimentos feitos com metais, os quais são homogêneos, os resultados podem se apresentar divergentes quando aplicados em materiais não homogêneos, que é o caso de alguns polímeros. Para Davim e Mata (2006), os realizaram os mesmos estudos que este artigo para um compósito de poliéster com reforço de fibra de vidro, a velocidade de corte também apresentou certa influência sobre a rugosidade média Ra, quando os dados experimentais foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA).

7. CONCLUSÕES

Este estudo investigou a influência dos parâmetros de usinagem (velocidade de corte, avanço e profundidade de corte) na força de corte e na rugosidade média (Ra), no torneamento do compósito de polipropileno com adição de casca de arroz.

O método adotado se aplica geralmente aos metais, porém mostrou resultados bastante coerentes com os descritos pelas bibliografias, para o compósito. Constatou-se que o avanço e a profundidade de corte exercem uma influência significativa sobre a força de corte. Já a velocidade de corte apresenta pequena ou nenhuma influência sobre esta força.

Com relação à rugosidade média (Ra), os resultados também se mostram coerentes com as bibliografias adotadas. O estudo mostrou que o valor da rugosidade (Ra) é influenciado significativamente quando o valor do avanço é alterado. Já, os valores de velocidade e profundidade de corte influenciam menos na rugosidade, quando comparados aos valores obtidos com a variação do avanço. Porém, através da análise de variância ANOVA, constatou-se que a velocidade de corte influencia a rugosidade média (Ra) para o material em estudo. Uma hipótese desta variação é o fato do material ser um compósito com base polimérica amorfa, podendo haver uma não homogeneidade do corpo de prova.

Contudo, pode-se concluir que o método de ensaio de usinabilidade baseado nos critérios da força de usinagem e no acabamento superficial pode ser aplicado aos compósitos de matriz polimérica com adição de casca de arroz.

Como sugestão de trabalhos futuros, pretende-se estudar a usinabilidade deste compósito pelos critérios baseados na análise dimensional e baseados na produtividade, o que dará uma maior realidade sobre a aplicação deste material em escala comercial na fabricação de produtos utilizando processos de usinagem.

8. REFERÊNCIAS

- AMORIM, H. J., 2002, Estudo da Relação entre Velocidade de Corte, Desgaste de Ferramenta, Rugosidade e Forças de Usinagem em Torneamento com Ferramenta de Metal Duro. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 114 f.
- DINIZ, A. E.; MARCONDES F. C.; COPPINI N. L., 2006, Tecnologia da Usinagem dos Materiais. 5. ed. São Paulo, 255p.
- BEZERRA, D. C. e MACHADO, I. F., Avaliação do Efeito da Velocidade de Corte nos Esforços de Usinagem e no Acabamento Superficial de um Aço ABNT 1045. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 2., 2007, Uberlândia: Campus Novo da Uniminas. Anais Eletrônicos. Disponível em: <<http://www.grima.ufsc.br/cobef4/files/011060179.pdf>>. Acesso em: 16/set. 2009.
- COMITÊ BRASILEIRO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS MECÂNICOS. Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade: NBR ISSO 4287 :2002. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2002. Não paginado
- DAVIM, J. P. and MATA, F., 2006, A new machinability index in turning fiber reinforced plastics. Journal of Materials Processing Technology, p. 436-440.
- FERRARESI, D., 2003, Fundamentos da Usinagem dos Metais. 11.ed. São Paulo, SP: 288p.
- MACHADO, Á. R. e SILVA, M. B., 1999, Usinagem dos Metais. 4. ed. Uberlândia, MG: Universidade Federal de Uberlândia, 224 p.
- MAGALHÃES, L. A. S., 2008, Avaliação da Rugosidade no Processo de Torneamento do Aço de Corte Fácil ABNT 12L14. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Curso de Engenharia de Produção, Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG.
- MARTINAZZO, C. A., 2009, Análise de Dados Estatísticos com o Microsoft Office Excel 2007. Erechim, RS, 18 p.
- SAMPAIO, A. B.; SOUZA, M. N.; LUIZ, N. E.; SILVA, R. B. e MACHADO, Á. R., 2008, Influência do Teor de Carbono na Usinabilidade do Aço de Corte-Fácil ABNT 12L14. In: XII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA., 2008, Uberlândia. Anais Eletrônicos. Universidade Federal de Uberlândia, Disponível em: <<http://www.ic-ufu.org/anaisufu2008/PDF/IC2008-0524.PDF>>. Acesso em: 15 set. 2009
- SANDVIK DO BRASIL. Catálogo de Insetos e Suportes. Disponível em < www.coromant.sandvik.com/br>. Acesso em: 15 de out. de 2009).