

Estudo da vibração e da qualidade superficial de compósitos poliméricos usinados por fresamento tangencial

Sarah David Müzel, muzel@feg.unesp.br¹

Eduardo Pires Bonhin, eduardo.bonhin@gmail.com¹

Larissa Ribas de Lima Soares, larissa.ribas.lima@gmail.com¹

Júlio César Molina, molina@itapeva.unesp.br²

Manoel Cléber de Sampaio Alves, manaelcsa@feg.unesp.br¹

Marcos Valério Ribeiro, mvalerio@feg.unesp.br¹

¹Universidade Estadual Paulista (Unesp) Escola de Engenharia, Av. Ariberto P. Cunha, 333, Guaratinguetá/SP, Brasil

²Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus Experimental de Itapeva, Rua Geraldo Alckmin, 519, Itapeva/SP, Brasil

Resumo: A produção da madeira plástica e do plástico madeira, em geral, são realizadas via extrusão de perfis pré-definidos, porém, através da usinagem seria possível a produção de peças mais complexas em termos geométricos, dimensionais e superficiais, bem como, ampliar a utilização desses materiais na construção civil e na movelaria. Sendo assim, a presente proposta teve por objetivo o estudo da usinagem destes materiais. Para o estudo da usinagem da madeira plástica e do plástico madeira, foi realizado o processo de fresamento tangencial utilizando um arranjo ortogonal L18 de Taguchi, tendo como fatores estudados o sentido de corte (concordante e discordante), o tipo de material (madeira plástica e plástico madeira), a velocidade de corte (4000, 6000 e 8000rpm), a velocidade de avanço (3, 5 e 7m/mim) e a profundidade de corte (4, 5 e 6mm). Para cada material foi utilizada uma fresa de metal duro revestida com TiAlN, com 3 arestas de corte. As variáveis de saída analisadas foram a vibração média do sistema máquina-peça e a rugosidade das peças usinadas. Após os dados serem coletados foi realizada uma análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 5%, para testar a existência de diferenças significativas entre as médias. Através dos resultados obtidos observou-se que os fatores, que tiveram o ajuste em comum, tanto para a qualidade superficial quanto para uma menor vibração do sistema foram a velocidade de corte e de avanço em 8000 rpm e 3 m/min respectivamente, bem como a usinagem da madeira plástica. O sentido de corte discordante proporcionou uma menor vibração, enquanto o concordante uma menor rugosidade. A profundidade de corte foi divergente entre as variáveis resposta, sendo significativa somente para a rugosidade, com o ajuste em 5mm. Conclui-se com esse trabalho que os materiais estudados apresentaram boa usinabilidade.

Palavras-chave: Usinagem, Rugosidade, Compósito plástico madeira, Madeira plástica, Taguchi.

1. INTRODUÇÃO

Os compósitos poliméricos são materiais formados por polímeros distintos ou por um polímero e outra classe de material. Atualmente existem diversos tipos e aplicações para compósitos poliméricos, desde molde de injeção até decks, por isso, esses materiais vêm ganhando mais espaço dentro das indústrias (XIAO; ZHANG, 2002; SCHNEIDER et al., 2008). Porém, devido à alta competitividade é determinante que as empresas atuem no desenvolvimento de novos materiais, bem como, na otimização dos métodos de fabricação e dos sistemas de manufatura, a fim de produzirem produtos de melhor qualidade, num menor tempo e com menor custo (WESTRUPP, 2008).

Nessa busca, procura-se processos que favoreçam uma maior produtividade com menores custos e que atendam aos requisitos de uso final de cada peça, porém os compósitos podem ser aplicados nos mais diversos tipos de componentes e cada qual possui suas especificidades, bem como uma geometria diferente, tornando assim, cada vez mais difícil a sua fabricação. Nesse contexto a usinagem pode ser um processo, que se executado corretamente, se torna um aliado na manufatura dos compósitos (REZENDE, 2007; GAITONDE et al., 2012).

A usinagem de compósitos poliméricos vem crescendo devido a necessidade de se produzir peças com alta exatidão, bem como, quando a quantidades de peças produzidas não justifica a utilização de moldes de injeção ou extrusão por matriz, devido ao alto custo monetário. Para se obter sucesso no processo de usinagem de peças poliméricas é necessário que se conheça muito bem o material que está sendo usinado, pois cada um apresenta características bastante particulares, bem como um comportamento diferenciado durante a usinagem. Portanto, os parâmetros de usinagem devem ser adequados para cada tipo de polímero. (SCHNEIDER et al., 2008; FERNANDES et al., 2007).

Como exemplo, tem-se o compósito plástico madeira e a madeira plástica, produzidos principalmente pelo processo de extrusão, contudo através de um processo de usinagem, seria possível produzir peças mais complexas em termos geométricos, dimensionais e superficiais (BUEHLMANN; SALONI; LEMASTER, 2001; SALONI; BUEHLMANN; LEMASTER, 2011; SOMSAKOVA et al., 2012; HUTYROVÁ et al., 2014).

O termo compósito plástico madeira (*Wood Plastic Composites-WPC*), refere-se a qualquer compósito que contenha madeira, em qualquer geometria e, uma resina termofixa ou termoplástica, entretanto os termoplásticos são os mais utilizados para a fabricação do WPC (CLEMONS, 2002; CAULFIELD et al., 2005; CHINDAPRASIRT et al., 2015). Já a madeira plástica (*Plastic Lumber-PL*) é um produto fabricado com 100% de polímero virgem ou reciclado, não contendo madeira em sua composição (YAMAJI; BONDUELLE, 2004). Ambos são produtos modernos e ecologicamente corretos, visto que são manufaturados a partir de resíduos plásticos e da indústria madeireira, dois setores que geram toneladas de resíduos anualmente.

Esses materiais são utilizados como substituto da madeira serrada e atualmente no Brasil também são empregados como substituto de peças de ferro fundido em aplicações urbanas e sanitárias, sendo que neste caso é adicionado reforço de fibras de vidro na madeira plástica, tornando-a um compósito polimérico. No âmbito da construção civil, eles podem ser perfeitamente utilizados como *decks*, *pallets*, batentes, portões, cercas, dormentes, cruzetas, mourões, fachadas, bancos, lixeiras, pergolados, placas, *playgrounds*, entre outros. (TRIGUEIRO; BOCARDI, 2014; WISEWOOD, 2014; MOLINA; CARREIRA; CALLIL JR, 2007; KLYOSOV, 2007; YAMAJI; BONDUELLE, 2004)

Devido ao aumento da utilização desses materiais, haverá também uma maior necessidade de processamento secundário dos mesmos, em virtude de uma variedade de razões. Exemplos para tais processos poderiam ser a necessidade de criar aberturas em superfícies sólidas, de mudar o perfil de uma peça já produzida, de melhorar o acabamento superficial ou até mesmo a modelagem /desbaste e aplainamento de um bloco bruto de material. No entanto, até agora existe pouco conhecimento quanto às propriedades do plástico madeira e da madeira plástica, quando submetidos ao processamento secundário (BUEHLMANN; SALONI; LEMASTER, 2001; HUTYROVÁ et al., 2014).

Contudo, o fato desses materiais serem compostos por constituintes distintos entre si (matriz e reforço) torna sua usinagem bastante complexa, dificultando a obtenção de superfícies de boa qualidade e de tolerâncias dimensionais e geométricas estreitas (GAITONDE et al., 2012). Portanto, há a necessidade de se gerar conhecimento acerca do comportamento dessa categoria de materiais durante operações de usinagem, visando obter um desempenho satisfatório durante o corte, além de produzir componentes que atendam aos requisitos estabelecidos (GUTIÉRREZ et al., 2014).

Um dos parâmetros do processo de usinagem que deve ser avaliado é a vibração do sistema pois, os processos de usinagem são influenciados tanto pela operação de corte como pelo sistema dinâmico máquina/ ferramenta/ peça, nos quais ocorrem o fenômeno vibratório, desencadeando a variação nas forças produzidas durante a usinagem (TOBIAS, 1961 apud SANTOS, 2011). Esse sistema apresenta características de rigidez e de amortecimento de vibrações, as quais são essenciais para a qualidade das operações. Um dos fenômenos mais importantes é a vibração entre a ferramenta e a peça usinada, pois acaba influenciando na qualidade do processo (TRENT; WRIGHT, 2000).

Quando há o excesso de vibrações no sistema pode ocorrer o desgaste prematuro e avarias da ferramenta de corte que se ocorrerem de forma persistente por longos períodos, podem danificar a integridade e reduzir a vida útil dos rolamentos do eixo-arvore da máquina-ferramenta (TRENT; WRIGHT, 2000; KING, 1985 apud SANTOS, 2011). Além disso, altas vibrações causam baixa qualidade superficial e perda dimensional da peça usinada, ruídos indesejáveis e desagradáveis e aumento do consumo de energia elétrica (TRENT; WRIGHT, 2000; SIDDHPURA; PAUROYALLY, 2012).

Em usinagem, as vibrações podem ser causadas por uma fonte externa, pela própria máquina ou devido à ação de forças geradas durante o corte do material (ALTINTAS; WECK, 2004; STEPHENSON; AGAPIOU, 2006; QUINTANA; CIURANA, 2011; SIDDHPURA; PAUROYALLY, 2012). Segundo Altintas e Weck (2004), Stephenson e Agapiou (2006) e Siddhpura e Paurobally (2012) a vibração é um fenômeno complexo, estudado a mais de cem anos, que pode ser dividido em três formas básicas livre, forçada e autoexcitada, também conhecida por *chatter* (trepidação).

Dentre os três tipos de vibração, uma das mais estudadas é a vibração por trepidação, a qual é um fenômeno complexo que depende da concepção e configuração da estrutura da máquina e da ferramenta, dos materiais da peça de trabalho e da ferramenta de corte e dos parâmetros de corte, por isso, a rigidez da máquina, da ferramenta e da fixação da peça de trabalho são fatores importantes. A profundidade, largura e velocidade de corte, são os parâmetros de usinagem que mais influenciam na vibração autoexcitada. Por ser um fenômeno complexo e tipicamente não-linear, a vibração pode ocorrer apenas sob certas condições aparentemente aleatórias, podendo ir e vir esporadicamente (STEPHENSON; AGAPIOU, 2006).

A vibração ocorre porque o amortecimento do sistema da máquina-ferramenta não é suficiente para absorver parte da energia de corte transmitida ao sistema. A relevância da presença de vibração no sistema irá depender do tipo de operação realizada (acabamento ou desbaste), dos requisitos de acabamento superficial, das características de desgaste da ferramenta, do ruído acústico admissível e da sua propagação ao equipamento circundante. A eliminação da vibração, de um processo de usinagem, é uma tarefa difícil (STEPHENSON; AGAPIOU, 2006; QUINTANA; CIURANA, 2011).

O objetivo deste estudo foi avaliar a influencia da vibração do sistema na qualidade superficial das peças usinadas, durante o processo de fresamento tangencial do compósito plástico madeira e da madeira plástica, visando um maior conhecimento do processo de usinagem desses materiais, para que se possa produzir peças mais complexas em termos geométricos, dimensionais e superficiais, e como consequência, maior utilização desses materiais na construção civil e na movelaria.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foram utilizados dois tipos de compósito polimérico. O primeiro é o compósito plástico madeira, o qual foi fabricado na China, importado e doado pela empresa Econs- Ecologia na Construção, situada na cidade de São José do Rio Preto- SP. Segundo o fornecedor, o material foi produzido com matriz de polipropileno (30%), reforço de farinha de madeira (60%) e aditivos (10%).

O segundo é a madeira plástica, a qual foi produzida e doada pela empresa Wisewood Soluções Ecológicas S.A., localizada na cidade de Itatiba- SP. De acordo com o fornecedor o material foi produzido com matriz de polietileno e polipropileno e reforçada com fibra de vidro curta orientada aleatoriamente.

2.1. Processo de usinagem

Para esse estudo os materiais foram submetidos ao processo de fresamento tangencial, em um Centro de Usinagem marca DMG modelo DMU50ECO. Após os ensaios preliminares foram determinadas três velocidades de corte (4000 rpm, 6000 rpm e 8000 rpm), três velocidades de avanço (3, 5 e 7 m/mim) e três profundidades de corte (4, 5 e 6 mm). Para cada material foi utilizada uma fresa de metal duro, com 16mm de diâmetro, revestida com TiAlN (Nitreto de Titânio e Alumínio) com 3 arestas cortantes da empresa Seco Tools.

Para a aquisição dos valores de vibração foi utilizado um sensor piezelétrico (acelerômetro), marca Vibro Control modelo TV100 (Fig. 1a) e um amplificador de sinal com saída retificada em RMS. O sensor piezelétrico foi acoplado na peça, como apresentado na Fig. (1b).

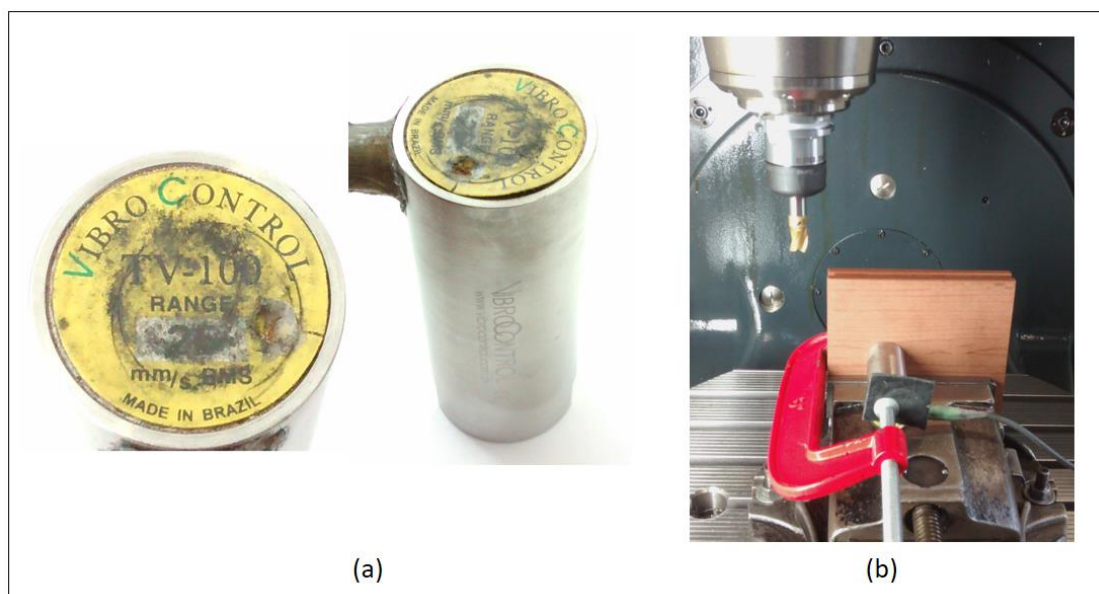


Figura 1- (a) Sensor piezelétrico, marca Vibro Control e (b) acoplamento do sensor para usinagem

Os valores obtidos em VCC foram convertidos depois para valores de velocidade em mm/s através da Eq. (1), fornecida pelo fabricante.

$$V = \frac{25 \cdot VCC}{8} \quad (1)$$

A avaliação da qualidade superficial das peças foi realizada através da rugosidade e da análise topográfica. Para a rugosidade foi utilizado um rugosímetro da marca Mahr modelo Marsurf M300, com ponta apalpadora em formato de cone esférico feita de diamante e com raio de ponta de 2 µm, sendo analisado o parâmetro de rugosidade média (Ra). O comprimento de amostragem adotado (*cut-off*) foi de 2,5 mm e 0,8mm para o WPC e LP respectivamente.

Para a análise topográfica foi utilizado um microscópio ótico da marca Zeiss, modelo Axio Imager Z2m. A análise ocorreu através de reconstrução por extensão de foco.

2.2. Delineamento experimental

A escolha do arranjo ortogonal mais adequado para a situação foi baseada na quantidade de fatores estudados (Tab. 1). Como, neste caso, seria necessário estudar cinco fatores, sendo dois com 2 níveis e 3 com três níveis, foi escolhido o arranjo ortogonal L18 de Taguchi, o qual possui uma coluna com dois níveis e sete colunas com três níveis (Tab.2). Porém como era necessário a utilização de duas colunas com 2 níveis, a coluna B foi altera, tornando o nível 2 como nível 1 e o nível 3 como nível 2 (Tab. 3).

Tabela 1- Fatores e níveis dos experimentos

Fatores	Nível		
	1	2	3
Direção de corte (A)	Concordante	Discordante	-
Tipo de material (B)	WPC	PL	-
Velocidade de corte (C)	4000 rpm	6000 rpm	8000 rpm
Velocidade de avanço (D)	3 m/mim	5 m/mim	7 m/mim
Profundidade de corte (E)	4 mm	5 mm	6 mm

Tabela 1- Matriz do arranjo ortogonal L18

Exp.	FATORES				
	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2
3	1	1	3	3	3
4	1	2	1	1	2
5	1	2	2	2	3
6	1	2	3	3	1
7	1	3	1	2	1
8	1	3	2	3	2
9	1	3	3	1	3
0	2	1	1	3	3
11	2	1	2	1	1
12	2	1	3	2	2
13	2	2	1	2	3
14	2	2	2	3	1
15	2	2	3	1	2
16	2	3	1	3	2
17	2	3	2	1	3
18	2	3	3	2	1

Tabela 2- Matriz L18 modificada

Exp.	FATORES				
	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2
3	1	1	3	3	3
4	1	1	1	1	2
5	1	1	2	2	3
6	1	1	3	3	1
7	1	2	1	2	1
8	1	2	2	3	2
9	1	2	3	1	3
10	2	1	1	3	3
11	2	1	2	1	1
12	2	1	3	2	2
13	2	1	1	2	3
14	2	1	2	3	1
15	2	1	3	1	2
16	2	2	1	3	2
17	2	2	2	1	3
18	2	2	3	2	1

De acordo com a configuração experimental do arranjo ortogonal L18, mostrado na Tab. (3), foram feitas 18 rodadas de experimentos e para assegurar a exatidão dos resultados, foram realizadas três repetições para cada configuração experimental.

Para o tratamento das variáveis resposta foi escolhida a modalidade “menor melhor”, no qual o ajuste final é caracterizado pelos menores valores de cada variável resposta. Para a análise estatística foi realizada uma análise de variância (ANOVA) através do teste F, com nível de significância de 5% para testar a existência de diferenças significativas entre as médias.

Para identificar as variáveis influentes, foram utilizados dois critérios. Inicialmente foi verificado os valores de $F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}}$ na tabela de distribuição $F_{5\%}$, onde $F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}}$ existe a influência significativa do fator. O segundo foi o critério proposto por Phadke (1989), onde um $F_{\text{calculado}} > 2$ já deve ser considerado, pois isso significa que o valor obtido é no mínimo duas vezes maior que o erro.

3. Resultados e Discussão

3.1. Vibração do sistema

Analizando graficamente (Fig. 2), observa-se que o ajuste dos parâmetros de corte que proporcionou menor vibração média do sistema, para o processo de fresamento estudado, foi sentido de corte no nível 2 (discordante), o tipo de material no nível 2 (madeira plástica-PL), a velocidade de corte no nível 3 (8000rpm), a velocidade de avanço no nível 1 (3 m/mim) e a profundidade de corte no nível 1 (4 mm).

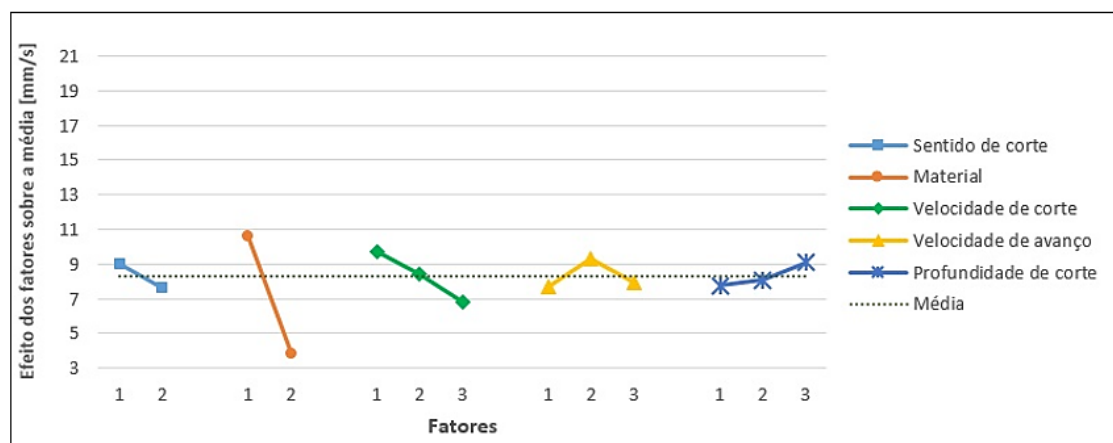


Figura 2. Gráfico do efeito dos fatores sobre a média da vibração no fresamento tangencial

Através da análise estatística (Tab. 4), verificou-se que tanto a velocidade de avanço como a profundidade de corte são fatores que não influenciam significativamente na vibração durante o processo de fresamento tangencial e que o tipo de material usinado é o fator de maior influência no processo.

Tabela 4. Análise de variância (ANOVA) dos efeitos das médias na vibração no fresamento tangencial

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados do Fator	Graus de Liberdade	Soma Média Quadrática	F _{calculado}	F _{crítico}
Sentido de corte	7,96	1	7,96	3,03	5,12
Material	182,82	1	182,82	69,62	5,12
Velocidade de corte	25,30	2	12,65	4,82	4,26
Velocidade de avanço	9,43	2	4,72	1,80	4,26
Profundidade de corte	5,69	2	2,85	1,08	4,26
Soma dos Quadrados do Erro	23,64	9	2,63		
Soma Total do Quadrado	254,84				

Analizando cada um dos fatores e a sua influência na vibração do sistema nota-se que o tipo de material que apresentou melhores resultados, para os processos de fresamento, foi a madeira plástica, cuja hipótese para esse fato, é devido ao arrancamento das fibras, fato observado durante a análise microscópica (Fig. 3), na qual notou-se que durante o processo de usinagem as fibras de vidro foram arrancadas da matriz polimérica, acarretando em menores vibrações durante a usinagem desse material. Isso ocorreu devido à ausência de agente compatibilizante na produção da PL, o que ocasiona uma baixa interação entre a fibra e a matriz. Além disso se comparados os materiais estudados, observa-se que a madeira plástica apresenta uma alta porosidade, em comparação como WPC (Fig. 4), o que ajudaria na absorção do impacto.



Figura 3. Aspecto dos materiais (a) WPC e (b) PL

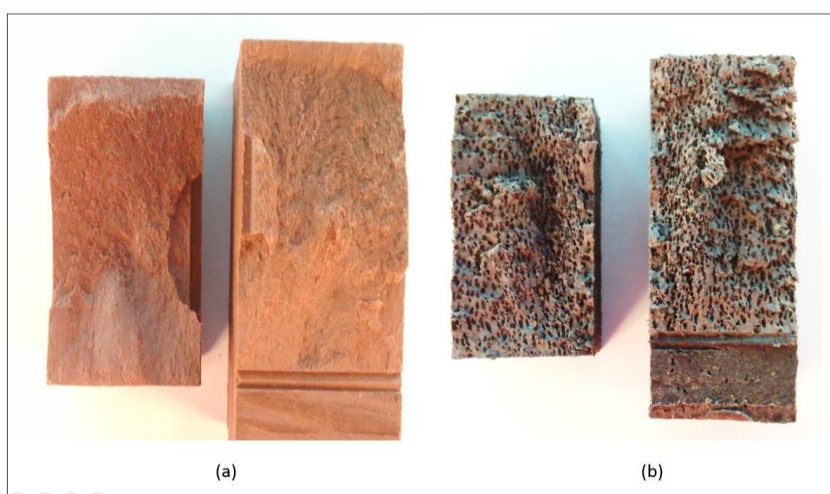


Figura 4. Imagem topográfica do arrancamaneto de fibras de vidro da madeira plástica

Com relação ao sentido de corte, assim como no consumo de potência, o sentido discordante proporcionou uma menor vibração do sistema, durante os processos de fresamento tangencial. Em geral, o sentido discordante gera maiores vibrações, devido a alternância da componente vertical da força de usinagem (ora empurra a peça contra a mesa e ora tentar arrancar a peça da mesa). Porém outro fator é o comprimento de cada peça, que nesse estudo não eram longas e eram bem fixadas, o que atenua o efeito das forças geradas.

Com relação a velocidades avanço e profundidade de corte, observou-se que os menores valores empregados proporcionaram uma menor vibração do sistema durante a usinagem. Esses resultados já eram esperados, pois assim como uma baixa profundidade de corte, uma baixa velocidade de avanço proporciona a retirada de um menor volume de material (cavaco), evitando que haja grandes oscilações da ferramenta (MACHADO et al., 2009).

Já para a velocidade de corte as altas taxas proporcionam a diminuição da seção transversal de corte o que diminui a vibração (quando usando avanço em mm/min). Segundo Stemmer (1993) com a diminuição da velocidade de corte há a diminuição da força de corte, o que acarreta no aumento das vibrações. De acordo com o autor, a ferramenta ao tocar em um ponto mais duro do material é forçada a fletir para baixo de sua posição de equilíbrio, iniciando assim a vibração, ou seja, ao descer a ferramenta causa a redução da velocidade de corte e consequentemente um aumento da força de deflexão. A ferramenta como um sistema vibratório recebe energia em cada ciclo (volta), aumentando progressivamente a amplitude até que se estabelece um equilíbrio entre a energia oferecida ao sistema e a distribuída por amortecimento. O autor conclui que em altas velocidade de corte há o desaparecimento das causas das vibrações.

3.2. Rugosidade

Analisando graficamente (Fig. 5), observa-se que o ajuste dos parâmetros de corte que proporcionou uma menor rugosidade média para o processo de fresamento tangencial foi o sentido de corte no nível 1 (concordante), o material no nível 2 (madeira plástica -PL), a velocidade de corte no nível 3 (8000 rpm), a velocidade de avanço no nível 1 (3 m/mim) e profundidade de corte no nível 2 (5 mm).

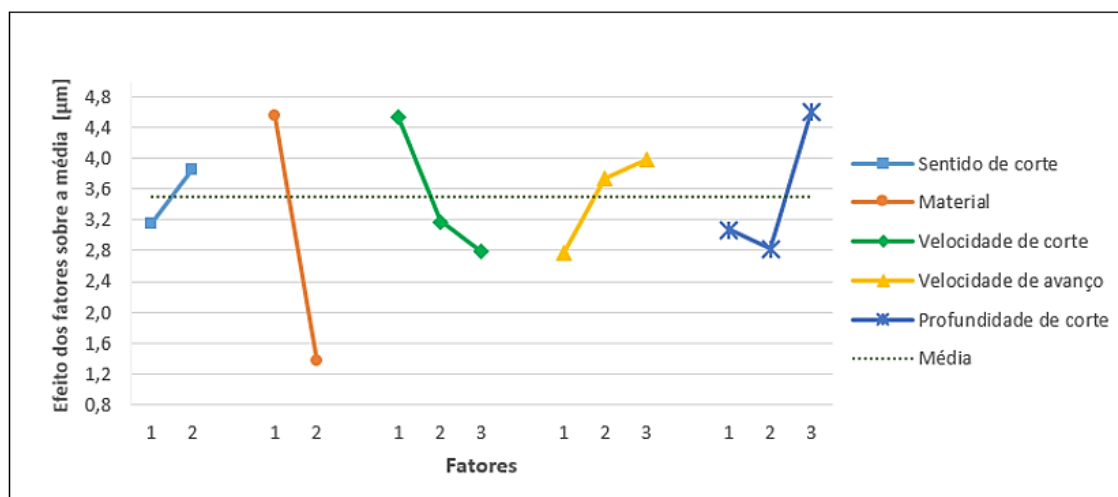


Figura 5. Gráfico do efeito dos fatores sobre a média da rugosidade média no fresamento tangencial

Através da análise estatística (Tab. 5), verificou-se que todos os fatores apresentaram influência significativa no processo de fresamento tangencial, sendo o fator de maior influência no processo, o tipo de material usinado.

Tabela 5- Análise de variância (ANOVA) dos efeitos das médias na rugosidade média no fresamento tangencial

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados do Fator	Graus de Liberdade	Soma Média Quadrática	F _{calculado}	F _{crítico}
Sentido de corte	2,28	1	2,28	3,29	5,12
Material	40,63	1	40,63	58,68	5,12
Velocidade de corte	10,12	2	5,06	7,31	4,26
Velocidade de avanço	4,96	2	2,48	3,58	4,26
Profundidade de corte	11,01	2	5,51	7,95	4,26
Soma dos Quadrados do Erro	6,23	9	0,69		
Soma Total do Quadrado	75,22				

Analisando cada um dos fatores e a sua influência no acabamento superficial dos materiais usinados, nota-se que o material que apresentou melhores resultados foi a madeira plástica. Uma hipótese, para o fato da PL ter apresentado menor rugosidade é a quantidade de reforço de cada material, pois através de análise topográfica percebeu-se que o WPC possui uma maior porcentagem de reforço que a PL (Fig. 6). Portanto mesmo havendo o arrancamento das fibras na PL, o que acarretaria em um maior número de cavidades no material, o plástico madeira possui maior transição entre a matriz e o reforço que a madeira plástica, o que ocasiona uma maior rugosidade.

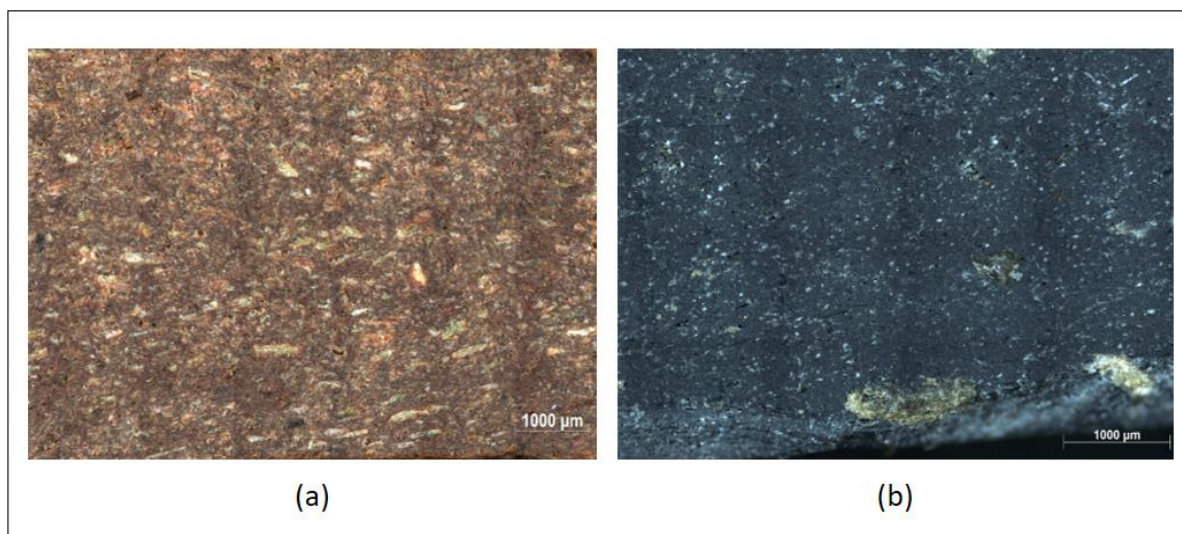


Figura 6. Imagem topográfica (a) WPC e (b) PL

De acordo com a literatura existem vários fatores que podem influenciar na rugosidade superficial das peças usinadas, tais como a velocidade de corte e de avanço, a profundidade de corte, o raio de curvatura da ponta da ferramenta de corte, ângulos de saída e de posição da ferramenta, entre outros.

Em seus estudos Rossi, Aninou e Batalha (2004) perceberam que o parâmetro que mais influencia na rugosidade é o avanço, seguido pela rotação do fuso (rotação da fresa) e pela profundidade de corte, nesta ordem. Em geral a literatura recomenda que se empregue: baixa velocidade de avanço, alta velocidade de corte e pequena profundidade de corte (STEMMER, 1993; ROSSI; KANENOBUE; BATALHA, 2004). Portanto, os resultados obtidos para a rugosidade estão de acordo com a literatura.

Essa combinação de valores resulta em um bom acabamento superficial, pois segundo Rossi, Kanenobu e Batalha (2004), enquanto o avanço e a profundidade de corte são diretamente proporcionais à rugosidade, a rotação da fresa (velocidade de corte) é inversamente proporcional a esta. Isso quer dizer, que com o aumento da velocidade de corte haverá uma diminuição na rugosidade enquanto que com o aumento do avanço ou da profundidade de corte, a rugosidade irá aumentar.

Com relação ao sentido de corte, pela literatura, já era esperado que o melhor sentido fosse o concordante, devido a finalização do corte de cada dente ser na mínima espessura, e com isso, gerar melhor acabamento, bem como pela utilização de uma máquina CNC.

Ainda existem outros fatores que irão influenciar no acabamento superficial como o desgaste da ferramenta de corte e a vibração. Com o aumento da vibração, a vida da ferramenta tende a diminuir com maior rapidez, pois microlascamentos são produzidos na aresta de corte (SOUZA e SCHROETER, 2007). O acabamento sofre também influência direta, diminuindo assim a qualidade da superfície com o aumento da vibração (STEMMER, 1993).

Com relação a vibração o sentido de corte foi contrário, pois o sentido que proporcionou menor vibração foi o discordante já uma menor rugosidade foi o concordante, um fato que pode ter gerado um leve acréscimo no valor médio da rugosidade.

4. CONCLUSÃO

Conclui-se com este trabalho que o fator que influencia em ambas as variáveis respostas analisadas é o tipo de material usinado, sendo em ambos os casos, a madeira plástica o tipo de material que obteve os melhores resultados. Além disso, o ajuste das velocidades de corte no nível 3 (8000 rpm) e a de avanço no nível 1 (3 m/mim), também proporcionam melhores resultados, tanto para a vibração do sistema como para a qualidade superficial. O sentido de corte discordante proporcionou uma menor vibração, enquanto o concordante uma menor rugosidade. A profundidade de corte foi divergente entre as variáveis resposta, sendo significativa somente para a rugosidade, com o ajuste em 5mm. Em geral os materiais estudados apresentaram boa usinabilidade.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço as empresas Econs e Wisewood, pela doação dos materiais de estudo, a empresa Seco Tools pela doação das ferramentas empregadas e a CNPq pela concessão da bolsa de mestrado.

6. REFERÊNCIAS

- Buehlmann, U; Saloni, D; Lemaster, R. L., 2001, "Wood Fiber-Plastic Composites: Machining and Surface Quality". Proceedings of the 15th International Wood Machining Seminar, Anaheim, CA.
- Caulfield, D. F; Clemons, C; Jacobson, R. E; Rowell, R. M., 2005., "Wood thermoplastic Composites" Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. CRC Press, USA. 491p.
- Chindaprasirt, P; Hizirolu, S; Waisurasinha, C; Kasemsiri, P., 2015, "Properties of wood flour/expanded polystyrene waste composites modified with diammonium phosphate flame retardant". Polymer Composites, Vol. 36, No. 4, pp. 604-612.
- Clemons, C., 2002, "Wood-Plastic Composites in the United States: The Interfacing of Two Industries". Forest Products Journal, Vol.52, No.6, pp.10-18.
- Fernandes, M. O.;Corrê, M. M; Leite, W; Wiebeck, H; Valenzuela-Diaz, F. R; Toffoli, S. M. "Usinagem de plásticos de engenharia: Uma opção de processamento". In: 9º Congresso Brasileiro de Polímeros, São Carlos, 2007.
- Gaitonde, V. N; Karnik, S. R; Campos Rubio, J; Correia, A. E; Davim, J. P., 2012, "Surface roughness analysis in high-speed drilling of unreinforced and reinforced polyamides". Journal of Composite Materials, Vol. 46, No. 21, pp. 2659-2673.
- Gutiérrez, J. C. H; Rubio, J. C. C; Faria, P. E; Davim, J. P., 2014, "Usinabilidade de Materiais Compósitos Poliméricos para Aplicações Automotivas". Polímeros, Vol. 24, No. 6, pp. 711-719.
- Hutyrová, Z; Zajac, J; Michalik, P; Mital, D; Duplák, J; Gajdoš, S., 2015, "Study of Surface Roughness of Machined Polymer Composite Material" International Journal of Polymer Science, Vol. 2015.
- Klyosov, A. A., 2007, "Wood-plastic composites". John Wiley & Sons, 702 p.
- Molina, J. C; Carreira, M. R; Callil Jr, C., 2007, "Análise do comportamento mecânico de perfis retangulares de madeira plástica (Wood Plastic Composite)". Minerva, Vol.6, No.1, pp. 47-57.
- Phadke, M. S., 1989, "Quality engineering using robust design", 1st edition, ED. Prentice Hall, New York, USA 333 p.
- Rezende, M. C; Costa, M. L; Botelho, E. C., 2011, "Compósitos estruturais: tecnologia e prática" . 1ª ed, ED. Artliber, São Paulo, Brasil, 396p.
- Saloni, D; Buehlmann, U; Lemaster, R. L., 2011, "Tool wear when cutting wood fiber-plastic composite materials". Forest Products Journal, Vol. 61, No. 2, pp. 149.
- Schneider, E. L; Marques, A. C; Faller, R. R; Kindlein Jr, W., 2008, "Análise dos Parâmetros de Usinagem no Acabamento Superficial de Polímeros" Proceedings of the UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas, Vol. 7, No. 1, pp. 25-30.
- Somsakova, Z; Zajac, J; Michalik, P; Kasina, M., 2012, "Machining of wood plastic composite (pilot experiment)". Materiale plastice, Vol. 49, No. 1, pp. 55-57.
- Trigueiro, A; Bocardi, R (Ed.), 2012, "Madeira plástica evita derrubada de árvores para fabricar móveis". Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2012/09/madeira-plastica-evita-derrubada-de-arvores-para-fabricar-moveis.html>>. Acesso em: 12 maio 2014.
- Westrupp, F. L., 2008, "Análise da viabilidade da usinagem de compósito de matriz de epóxi com cargas de ferro visando a sua utilização em moldes de injeção. Ms. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Wisewood (São Paulo). Wisewood: soluções sustentáveis. Disponível em: <<http://www.wisewood.com.br/pecas.php>>. Acesso em: 25 dez. 2014.
- Xiao, K.Q.; Zhang, L.C., 2002, "The role of viscous deformation in the machining of polymers". International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 44, pp. 2317-2336.
- Yamaji, F. M; Bonduelle, A., 2004, "Utilização da serragem na produção de compósitos plástico-madeira". Revista Floresta, Vol.34, No.1, pp.59.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

Study of the vibration and surface quality of polymer composites machined by tangential milling

Sarah David Müzel, muzel@feg.unesp.br¹

Eduardo Pires Bonhin, eduardo.bonhin@yahoo.com.br¹

Larissa Ribas de Lima Soares, larissa.ribas.lima@gmail.com¹

Júlio César Molina, molina@itapeva.unesp.br²

Manoel Cléber de Sampaio Alves, manolcsa@feg.unesp.br¹

Marcos Valério Ribeiro, mvalerio@feg.unesp.br¹

¹São Paulo State University (Unesp), School of Engineering Av. Ariberto P. Cunha, 333, Guaratinguetá/SP, Brazil

²São Paulo State University (Unesp), Campus of Itapeva, Rua Geraldo Alckmin, 519, Itapeva/SP, Brazil

Resumo: Both the production of the plastic lumber and the wood plastic composite, in general, is carried out by extrusion of predefined profiles, however, with the machining it would be possible to produce more complex pieces in geometric, dimensional and superficial terms, as well as to extend the use of these materials in construction and furniture. Therefore, the purpose of this proposal was to study the machining of these materials. For the study of the machining of plastic and plastic wood, the tangential milling process was performed using an orthogonal arrangement L18 of Taguchi, having as factors studied the cutting direction (concordant and discordant), the type of material (plastic lumber and wood plastic composites), cutting speed (4000, 6000 and 8000rpm), feed rate (3, 5 and 7m / m) and cutting depth (4, 5 and 6mm). For each material, a carbide cutter coated with TiAlN with 3 cutting edges was used. The output variables analyzed were the average vibration of the machine-part system and the roughness of the machined parts. After the data is collected, an analysis of variance (ANOVA) with 5% significance level to test the existence of significant differences between the means. It was observed that the factors, that had the adjustment in common, for both the surface quality and the lower vibration of the system were the cutting and feed rate at 8000 rpm and 3 m / min respectively, as well as the machining of plastic lumber. The discordant cutting direction provided a lower vibration, while the concordant a lower roughness. The depth of cut was divergent between the response variables, being significant only for the roughness, with the adjustment in 5mm. It is concluded with this work that the studied materials presented good machining.

Palavras-chave: Machinability, Wood Plastic Composite, Plastic Lumber, Taguchi, Surface roughness