

LIMITAÇÕES DO PROCESSO DE USINAGEM CNC PARA FERRAMENTAL RÁPIDO

Neri Volpato

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – PPGEM/DAMEC/NuFER
Av. Sete de Setembro, 3165, Curitiba – PR, CEP 80230-901
nvolpato@cefetpr.br

Joel Rodrigues de Amorim

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – PPGEM/NuFER
Av. Sete de Setembro, 3165, Curitiba – PR, CEP 80230-901
joeltec@pop.com.br

Resumo. A utilização de protótipo físico vem aumentando graças ao aparecimento das tecnologias de Prototipagem Rápida (PR), que constróem objetos por adição de camadas. Contudo, a qualidade dos protótipos obtidos pela PR geralmente não atende as exigências funcionais nos casos em que se exige testes de engenharia. Uma maneira de se obter uma quantidade reduzida de protótipos para análise, no mesmo material requerido no projeto, é recorrer a um molde protótipo. Os processos usados para fabricar molde protótipo são conhecidos como Ferramental Rápido (FR) e entre eles estão a própria PR e a usinagem CNC. A usinagem CNC se apresenta como opção para FR quando em conjunto com materiais de fácil usinabilidade como as resinas poliméricas. No entanto, algumas dificuldades têm sido relatadas em relação a detalhes que são de difícil usinagem. Este artigo realiza um estudo prático sobre a utilização da usinagem CNC como opção de FR, procurando identificar as limitações encontradas na usinagem de insertos (macho e cavidade). Duas geometrias de peças foram definidas e os processos e a usinagem dos insertos elaborados em sistema CAD/CAM e máquina CNC. Os resultados deste estudo auxiliam numa melhor definição sobre o campo de aplicação desta opção de FR.

Palavras-chave: Ferramental Rápido, Prototipagem Rápida, Usinagem CNC, Resina Poliméricas

1. INTRODUÇÃO

Apesar da utilização, cada vez mais freqüente, de sistemas CAD/CAE/CAM (*Computer Aided Design/Engeneering/Manufacturing*) no desenvolvimento de novos produtos, em muitos casos ainda se faz necessário o uso de protótipos funcionais para uma melhor análise das características dos mesmos. Muitas análises são feitas com o intuito de verificar o desempenho do produto em condições semelhantes àquelas em que ele será submetido quando em serviço.

No caso de peças injetadas, uma maneira de se obter a quantidade necessária de protótipos, no mesmo material requerido no projeto, é recorrer a um molde protótipo. Este tipo de ferramenta se caracteriza pela construção de insertos (macho e cavidade) feitos em material de baixo custo e a utilização de um porta-molde padrão (Volpato *et al*, 2003).

Existem diversos processos de fabricação para se obter insertos para um molde protótipo, contudo alguns processos como a Prototipagem Rápida (PR) e a usinagem CNC (*Computer Numeric Control*) tem se destacado por conseguirem insertos em um tempo relativamente baixo, sendo conhecidos então como processos para Ferramental Rápido (FR) (Mueller, 2000).

Um inserto feito por PR tem como principal vantagem a liberdade de formas geométricas que podem ser fabricadas devido ao próprio processo de construção (por camadas) (Kochan et al, 1999). Porém, insertos feitos por estas tecnologias são normalmente caros ou frágeis devido ao tipo de material permitido pelo processo. Outro inconveniente está na baixa precisão dimensional influenciada por reações químicas de polimerização e físicas de contração e empenamentos do próprio protótipo.

A usinagem CNC, em conjunto com sistemas CAD/CAM e materiais de fácil corte como algumas resinas poliméricas, tem se apresentado como uma opção para a fabricação de FR. Entre as vantagens deste processo esta o baixo custo dessa tecnologia, em relação a PR, a precisão dimensional oferecida aos insertos e a diversidade de materiais que podem ser usinados (Wohlers e Grimm, 2000). Assim mesmo, alguns problemas têm sido relatados principalmente se referindo a dificuldades na usinagem de pequenas cavidades para nervuras, usinagem de cantos retos e fabricação de detalhes como clips e torres para alojamento de parafusos (Wohlers e Grimm, 2000).

Apesar das dificuldades encontradas pela usinagem CNC, esta é ainda uma opção importante principalmente por se tratar de uma tecnologia conhecida e já bastante empregada pelos setores industriais. Assim sendo, este artigo relata um estudo prático de utilização deste processo como alternativa para FR, procurando identificar melhor as limitações encontradas durante a usinagem dos insertos.

2. ESTUDO DE CASO

2.1. Geometria das Peças e Insertos

Para se avaliar o potencial da usinagem CNC foram propostos dois modelos de peças com características geométricas distintas. No primeiro modelo foi escolhida uma geometria de forma piramidal com três degraus e uma pequena cavidade na extremidade superior (Figura 1). Esta peça possui dimensões de 94x49mm em sua base, altura total de 14mm (com 4mm para cada degrau) e uma espessura de parede constante igual a 2mm. Esta geometria é considerada simples e, a princípio, não deve apresentar grandes dificuldades na usinagem de seus insertos.

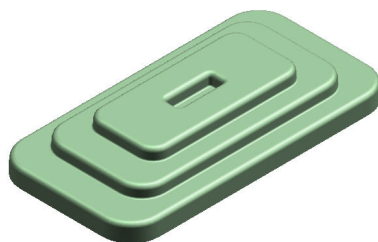


Figura 1. Pirâmide

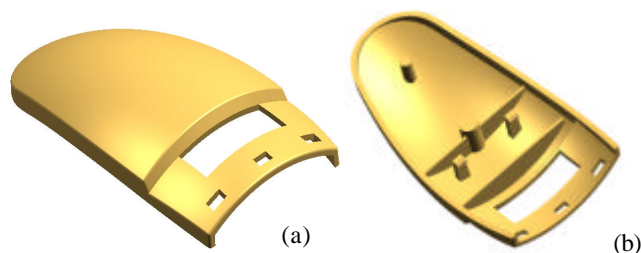


Figura 2. Mouse

A segunda geometria proposta é a de uma casca externa de um mouse para computador (metade superior), com dimensões semelhantes a da pirâmide (Figura 2 (a) e (b)). Nesse caso, pode-se observar que a complexidade geométrica é bem maior do que a primeira, uma vez que apresenta alguns detalhes como nervuras de 1mm de largura e 12mm de profundidade, clips de fixação e torres para alojamentos de parafusos com 4mm e 6mm de diâmetro.

As duas geometrias foram modeladas no *software* Solidedge, da empresa Unigraphics Solution Inc. Logo após a modelagem os insertos foram extraídos usando para isto operações *booleanas* do próprio *software*. A Figura 4 (a) e (b) apresenta os insertos da pirâmide e a Figura 4 (c) e (d) mostra os insertos do mouse. As geometrias dos insertos foram então enviadas ao *software* de CAM PowerMill, da empresa Delcam International plc, em formato STL (*Stereolithography*).

O material selecionado para a usinagem foi a resina poliméricas Ren Shape 460 da fornecedora Vantico. Esta resina não é indicada para a produção de FR (Volpato *et al*, 2003), contudo, a intenção deste trabalho é de apenas verificar as dificuldades que possam haver na fabricação de moldes protótipo usando o processo de usinagem CNC.

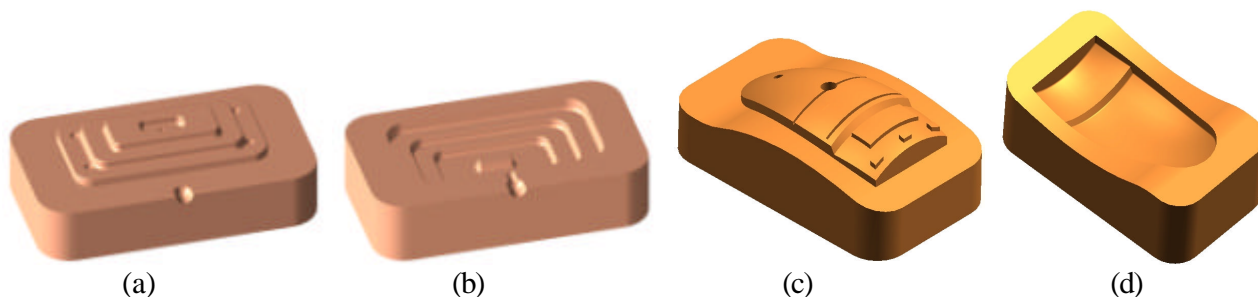


Figura 3. Insertos Pirâmide e Mouse

É possível notar na Figura 3 (c) que não existe nenhuma cavidade para moldagem dos clips de fixação. Isto porque, detalhes deste tipo não são usinados diretamente no inserto, mas são necessárias partes móveis conhecidas como gavetas ou mandíbulas para que esses componentes se movam durante a abertura do molde permitindo a extração da peça (Blass, 1990). Este tipo de solução aumentaria consideravelmente o tempo de obtenção de um molde protótipo. Como a geometria deste detalhe apresenta profundidade relativamente grande e cantos retos, no momento não podem ser obtidas. Este tipo de detalhe representa uma limitação atual para a usinagem. No entanto, está se estudando alternativas para solucionar este tipo de limitação, através da alteração da geometria da região do clip inserindo-se pequenos postigos. Porém, esta solução ainda se encontra em fase inicial de testes.

Para a fabricação dos insertos foi utilizado um centro de usinagem Cincinnati Arrow 500, que faz parte dos laboratórios ligados ao NuFER (Núcleo de Pesquisa em Projeto e Fabricação de Ferramentas) do CEFET-PR.

2.2. Usinagem da pirâmide

O processo de usinagem da pirâmide foi dividido em duas etapas, desbaste e acabamento, sem a utilização de pré-acabamento. Para ambas foram usados parâmetros de corte extraído de um estudo feito por Volpato *et al* (2003) para a usinagem da mesma resina, uma vez que os parâmetros indicados pelo fabricante não são possíveis de serem alcançados com o equipamento disposto.

A etapa de desbaste foi feita com duas fresas de topo: uma de 20mm de diâmetro para o desbaste geral e uma de 6mm de diâmetro para o desbaste da cavidade na parte superior do inserto macho. Ambas as ferramentas usaram uma estratégia de desbaste de varredura, conhecida como *raster*, na qual o material em excesso é usinado em diversos planos paralelos subsequentes. No caso da usinagem da cavidade na parte superior do inserto a entrada com a ferramenta de 6mm, foi feita através de uma rampa com uma inclinação de 10°.

Para a usinagem de acabamento das faces planas e das laterais dos degraus foram usadas as estratégias de *raster* de acabamento e Z constante, respectivamente. Estas estratégias foram planejadas de modo a evitar qualquer tipo de pós-operação de lixamento ou polimento depois da usinagem CNC.

Por último, foi realizado a usinagem dos cantos com uma fresa de bola 3mm de diâmetro. Como os raios internos dos insertos eram de 1,5mm e a profundidade dos mesmos não era muita elevada (máximo de 14mm), a ferramenta de bola não precisou ser de comprimento especial. Esta foi a menor ferramenta requerida a usinagem destes insertos, não oferecendo problemas quanto à obtenção da geometria. Observa-se que uma das regras básicas no projeto de componentes de plástico injetados é o uso sempre que possível de cantos arredondados, desta forma, torna-se plausível o uso de ferramentas de corte na sua fabricação.

A Tabela 1 apresenta um sumário do processo de usinagem dos insertos, descrevendo as ferramentas e os parâmetros de corte, tanto para o desbaste quanto para o acabamento das peças. Além disso é possível verificar o tempo de usinagem gasto por cada ferramenta. Este tempo foi calculado pelo PowerMill levando em consideração os parâmetros de corte: rotação e avanço

Tabela 1. Sumário do processo de usinagem dos insertos da Pirâmide

Inserto	Denominação	Ferramenta	Estratégia	Parâmetros de corte				Tempo teórico (min)
				Rotação (rpm)	Avanço (mm/min)	Stepdown (mm)	Stepover (mm)	
Macho	Desbaste	FT Ø20	Raster	3000	2500	-	-	3
	Acab superf fechamento	FT Ø10	Raster acabamento	3000	1000	-	1	4,5
	Contorno 1º degrau	FT Ø10	Raster	3000	1000	-	-	0,3
	Desbaste Cavidade	FT Ø6	Raster	3500	2500	-	-	0,2
	Acab faces planas	FT Ø4	Raster acabamento	4000	750	-	1	4
	Acab laterais dos degraus	FB Ø3	Z Constante	4000	750	0,05	-	69
	Acab de cantos	FB Ø3	Corner	4000	750	-	-	5
Cavidade	Desbaste geral	FT Ø20	Raster	3000	2500	-	-	2
	Desbaste dos degraus	FT Ø6	Raster	3500	2500	-	-	1,5
	Acab superf fechamento	FT Ø10	Raster acabamento	3000	1000	-	1	1,5
	Acab faces planas	FT Ø4	Raster acabamento	4000	750	-	1	3
	Acab laterais dos degraus	FB Ø3	Z Constante	4000	750	0,05	-	84
	Acab de cantos	FB Ø3	Corner	4000	750	-	-	3,5

FB = Fresa de Bola, FT = Fresa de topo

2.3. Usinagem do mouse

Apenas o inserto macho do mouse foi usinado, uma vez que a maior parte dos detalhes do produto está inserida nesta peça. Na cavidade, ficariam somente os raios internos a serem obtidos que podem oferecer alguma dificuldade em termos de ferramentas, Figura 3(d). Neste caso específico, o raio da cavidade era de 1mm, sendo possível de ser obtido por uma ferramenta de bola de 2mm de diâmetro. Os parâmetros de corte escolhidos foram os mesmos utilizados na geometria anterior.

Assim como na pirâmide, a primeira operação foi um desbaste geral, utilizando para isto a estratégia de *raster* e uma ferramenta com 12mm de diâmetro. Após a usinagem de desbaste, na qual a geometria da peça foi aproximada, preferiu-se dividir o inserto em três diferentes áreas: 1 Superfície de fechamento, 2 Casca traseira e 3 Casca frontal. Esta divisão está mostrada na Figura 4 e foi feita com o intuito de facilitar a criação das estratégias de pré-acabamento e acabamento final empregadas na geometria. Para tanto, utilizou-se fronteiras (*boundaries*) delimitando as áreas desejadas, fazendo com que a ferramenta escolhida usinasse somente a região indicada. Na Figura 4 também é possível verificar as geometrias que darão origem aos detalhes do produto.

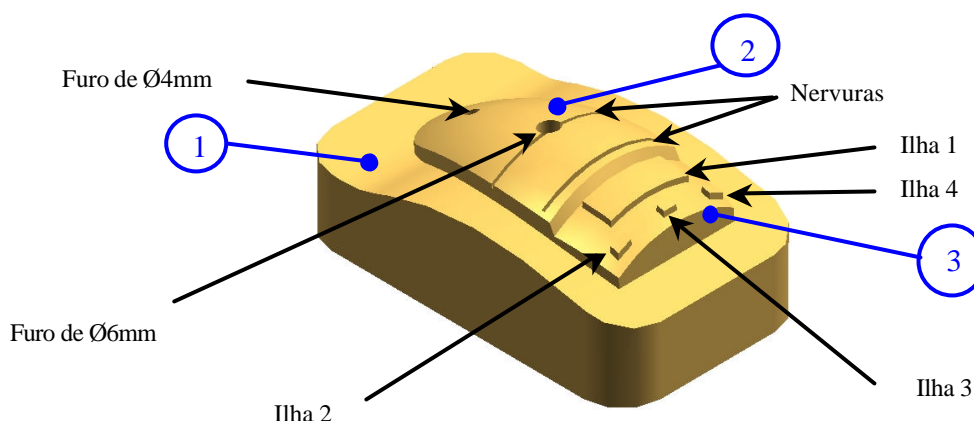


Figura 4. Áreas de usinagem do Mouse

Diferente da usinagem dos insertos da pirâmide, para esta geometria optou-se pelo uso de uma estratégia de pré-acabamento após o desbaste e antes do acabamento final. Esta estratégia foi utilizada com a finalidade de minimizar a quantidade de material a ser deixado para a ferramenta final. Contudo, observou-se durante a fabricação do inserto, que esta etapa poderia ter sido suprimida uma vez que a resina não apresentou nenhuma dificuldade durante o seu corte, podendo então ser empregada diretamente uma estratégia de acabamento após o desbaste.

Na área 1 foram usadas 4 estratégias para a usinagem de pré-acabamento, acabamento final, usinagem de cantos e usinagem da parede. Para a usinagem da superfície de fechamento foi realizado, inicialmente, um pré-acabamento com uma ferramenta de bola de 8mm de diâmetro e em seguida um acabamento mais refinado usando a mesma ferramenta. A usinagem dos cantos entre a superfície de fechamento e a parede do macho, foi feita com uma ferramenta de topo de 4mm de diâmetro e o acabamento da parede com uma ferramenta de bola, também de 4mm. As usinagens da superfície de fechamento e da parede não apresentaram problemas. No entanto, a estratégia criada para usinar os cantos entre estas duas regiões não apresentou um resultado satisfatório, uma vez que foram observadas sobras de material em algumas regiões.

Os furos que formam as torres de fixação, localizados na casca traseira (área 2), foram feitos utilizando uma broca de 3,5mm de diâmetro, para início da usinagem, e uma fresa de bola de 3mm para o acabamento das paredes dos mesmos. As nervuras foram usinadas diretamente com uma fresa de topo de 1mm de diâmetro não sendo usado nenhum passe de pré-acabamento ou acabamento final. Além desses detalhes, toda a superfície dessa área foi submetida a um pré-acabamento, com uma fresa de bola de 12mm e um acabamento final com uma fresa de bola de 6mm de diâmetro. Nenhuma das estratégias utilizadas nesta região apresentou dificuldades para a sua criação. Mesmo assim, a ferramenta de 1mm não apresentou um resultado totalmente positivo, devido principalmente ao seu diâmetro.

A usinagem da área 3 foi feita primeiramente por uma fresa de bola de 6mm de diâmetro, que possibilitou uma melhor formação das quatro ilhas e uma aproximação da dimensão final da superfície. Após este pré-acabamento cada uma das ilhas e a superfície foram acabadas de forma individual, sendo usadas para isto a própria fresa de bola de 6mm, uma fresa de topo de 2mm e uma fresa de bola de 3mm. A dificuldade na criação das estratégias para esta região se concentrou no acabamento das ilhas, principalmente das suas paredes devido à complexidade da própria geometria.

A Tabela 2 apresenta um sumário do processo de usinagem com detalhes das ferramentas utilizadas, das estratégias criadas e dos parâmetros de corte considerados. Além disso, é possível verificar o tempo teórico gasto em cada uma das ferramentas para a usinagem das regiões. É importante salientar que a usinagem não seguiu necessariamente a ordem mostrada no sumário, sendo que esta divisão foi feita apenas para melhor ilustrar o processo.

Tabela 2. Sumário do Processo de usinagem do inserto do Mouse

Área	Denominação	Ferramenta	Estratégia	Parâmetros de corte				Tempo teórico (min)
				Rotação (rpm)	Avanço (mm/min)	Stepdown (mm)	Stepover (mm)	
Total	Desbaste	FT Ø12	Raster	3300	2500	-	5	6
1	Pré-acabamento da superf de fechamento	FB Ø8	Raster Acabamento	4000	1500	-	1	3,5
	Acabamento da superf de fechamento	FB Ø8	Raster Acabamento	4000	1000	-	0,05	96,5
	Acab cantos	FT Ø4	Corner	5000	1000	-	-	3
	Acab parede ext	FB Ø4	Z Constante	5000	1000	0,05	-	52,5
	Desbaste furos	BR Ø3,5	Drill	5000	1500	-	-	-
2	Pré-acabamento casca traseira	FB Ø12	Raster Acabamento	5000	1500	-	1	2,5
	Acab. Casca tras.	FB Ø6	Raster Acabamento	5000	1000	-	0,05	65,5
	Nervuras	FT Ø1	Z Constante	5500	800	0,05	-	58,5
	Acab furo 1	FB Ø3	Z Constante	5000	1000	0,05	-	3
	Acab furo 2	FB Ø3	Z Constante	5000	1000	0,05	-	1
3	Pré-acabamento casca frente	FB Ø6	3D Offset	1500	5000	-	1	1
	Acab. Face ilha 1	FB Ø6	Raster Acabamento	5000	1500	-	0,3	1
	Acab face frente	FB Ø3	Raster Acabamento	5000	1000	-	0,05	15
	Acab parede ilha 1	FT Ø2	Z Constante	5000	1000	0,05	-	5,5
	Acab ilha 2	FT Ø2	Z Constante	5000	1000	0,05	-	2
	Acab ilha 3	FT Ø2	Z Constante	5000	1000	0,05	-	1,5
	Acab ilha 4	FT Ø2	Z Constante	5000	1000	0,05	-	2

BR = Broca, FB = Fresa de Bola, FT = Fresa de topo

3. RESULTADOS

3.1. Usinagem da pirâmide

A fabricação do macho e da cavidade da pirâmide não apresentaram problemas, e o tempo de usinagem CNC para os dois insertos foi de aproximadamente 4 horas. Como esperado, a maior contribuição para o tempo de usinagem foi à etapa de acabamento. Parte disso é devido às refinadas condições de corte utilizadas na estratégia de Z constante para a usinagem das laterais dos degraus (vide Tabela 1). É importante lembrar que houve durante todo o processo tempos de preparação de máquina, definição de ferramentas, definição das estratégias de corte operações de usinagem feitas manualmente (abertura de rosca com macho para fixação dos insertos no porta molde) que não fazem parte do escopo deste estudo. Na Figura 5 é possível ver os insertos da pirâmide, macho e cavidade, após a usinagem. Todos os detalhes previstos foram usinados não havendo a necessidade de pós-processamento. Terminada a usinagem CNC os insertos puderam ser enviados diretamente para a injeção dos protótipos.

3.2. Usinagem do mouse

A geometria do inserto macho do mouse foi usinada em aproximadamente 5 horas das quais grande parte está ligada as operações de pré-acabamento e acabamento final. Assim como na pirâmide os tempos de preparação não são mostrados neste estudo.



Figura 5. Insertos da pirâmide após a usinagem

Como descrito anteriormente, em uma primeira etapa o macho foi usinado por inteiro com uma estratégia de *raster*, que não apresentou problemas durante a sua execução. Contudo para as áreas nas quais a geometria foi dividida, algumas particularidades puderam ser observadas quanto ao resultado após a usinagem. Estas particularidades estão explicadas por áreas e podem ser vistas abaixo:

Superfície de fechamento. A usinagem da superfície de fechamento foi considerada aceitável para um molde protótipo. Porém a usinagem dos cantos entre esta superfície e as paredes do inserto não obtiveram um resultado completamente positivo. Foi observado que em algumas regiões ao redor da peça houve uma pequena sobra de material, indicando que a fresa de topo de 4mm desviou nestes pontos. Este problema pode ter ocorrido devido à dificuldade de cálculo que o Powermill apresentou nesta e em outras regiões nas quais buscou-se usinar usando uma estratégia específica para acabamento de cantos (*corner*). Provavelmente este fato esteja ligado a desatualização do *software* e a complexidade da geometria.

Casca traseira. Nos furos de fixação dos parafusos optou-se por apenas uma usinagem de acabamento uma vez que a broca de 3,5mm deixou uma quantidade de material que foi considerada aceitável para acabamento, mesmo para a torre de 6mm de diâmetro.

As nervuras foram feitas em usinagem única, não sendo usado passes de pré-acabamento ou de acabamento, por causa da utilização de uma ferramenta com diâmetro igual à largura dos canais. A profundidade máxima alcançada pela ferramenta na usinagem das duas nervuras foi igual a 10mm, 2 mm a menos do que a profundidade requerida.

Na superfície da casca traseira as estratégias de pré-acabamento e acabamento final não demonstraram dificuldades durante a usinagem.

Casca frontal. Esta região foi usinada inicialmente com uma só estratégia de 3D *Offset*, que deu origem à superfície e as 4 ilhas. Na sequência, cada uma das ilhas foi acabada individualmente com uma estratégia de Z constante e a superfície com estratégia de *raster* de acabamento. Para esta última o resultado apresentado pela estratégia de *raster* de acabamento foi aceitável, não havendo nenhum problema durante a sua execução. O resultado da usinagem das ilhas não foi totalmente eficiente, uma vez que nas ilhas 2 e 4 foi possível observar que a fresa de 2mm não conseguiu usinar completamente alguns cantos. Este problema está relacionado à inclinação em que estas ilhas se encontram na geometria, fazendo com que a ferramenta escolhida não use inteiramente estes detalhes. Na Figura 6 é possível entender melhor esta dificuldade.

Durante a usinagem de pré-acabamento e acabamento da superfície de fechamento e da casca traseira ocorreram algumas marcações que podem ser vistas na Figura 7 (a) e (b). É possível verificar na Figura 8 o inserto do mouse após o término de todas as usinagens.

4. DISCUSSÃO

Como previsto anteriormente, a pirâmide não apresentou dificuldades em sua usinagem, devido à baixa complexidade da sua geometria. O tempo de fabricação dos dois insertos, aproximadamente 4 horas, foi considerado satisfatório para esta geometria, uma vez que foram usinados duas peças.

Geometrias deste tipo, que não apresentam detalhes pequenos, são bastante apropriadas para FR usinado. Como exemplos deste tipo de peças podem ser mencionados: hélices injetadas, potes tipo tapeware, espelhos para tomadas de luz entre outras.

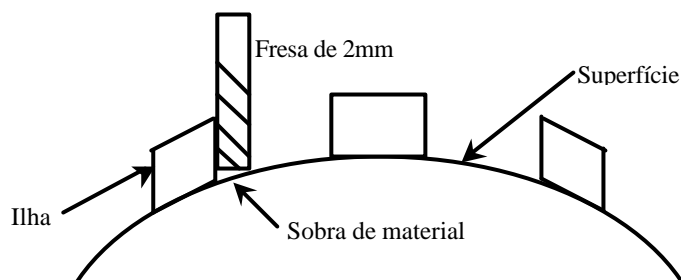
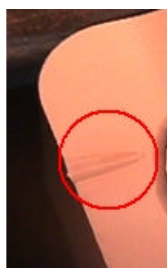
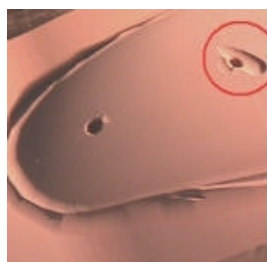


Figura 6. Sobra de material deixado pela fresa de 2mm



(a)



(b)



Figura 7. Marcas no inserto do mouse

Figura 8 - Inserto do mouse após a usinagem

O acabamento superficial de todos os insertos foi igual uma vez que foram usados parâmetros de corte equivalentes para ambas as geometrias. A usinagem das cavidades para as nervuras usando uma ferramenta pequena, como a de 1mm de diâmetro, se mostrou aceitável mesmo sem o uso de um passe de acabamento em suas paredes. A profundidade das nervuras, de aproximadamente 12mm, não foi alcançada devido ao ângulo de desmolde de $1,5^\circ$, que faz com que a largura dos canais, no seu ponto mais baixo, seja menor que 1mm não permitindo assim a entrada total da ferramenta. Dessa forma foi possível verificar o limite de usinagem de nervuras tão pequenas, usando para isto uma ferramenta especial.

Ferramentas especiais, com comprimento maior do que o padrão, são relativamente caras, chegando a custar o dobro do preço de uma ferramenta com o mesmo diâmetro porém com um comprimento padrão. Dessa forma, para a usinagem de nervuras com comprimento maiores do que este se faz necessário um investimento que deve ser avaliado antes da fabricação, principalmente em relação ao custo-benefício. Contudo, é possível antecipar que uma ferramenta especial usada somente para a usinagem de resinas poliméricas pode ter uma vida bastante elevada devido ao desgaste praticamente nulo.

A usinagem dos clips não foi possível devido à necessidade do uso de sistemas de acionamento mecânico para a seu desmolde. No caso de um molde protótipo, estuda-se um sistema que possibilite que a peça seja injetada e que a extração da parte móvel seja feita manualmente com a desmontagem

deste sistema. É importante observar que, no momento, a usinagem CNC não é uma opção viável para este tipo de situações.

O uso da estratégia de acabamento de canto (*corner*) não foi eficaz para a usinagem principalmente na área 1, uma vez que foi observado uma pequena sobra de material em algumas regiões ao redor da geometria. Como apresentado anteriormente, este fato pode estar ligado à versão do *software* utilizado ou mesmo ao grau de complexidade da geometria. No momento, estão sendo adquiridas versões atualizadas do PowerMill e se pretende realizar novos testes para verificar a viabilidade do uso dessa estratégia para a mesma geometria.

Os cantos retos nas ilhas 2 e 4 não puderam ser feitos devido à inclinação em que as mesmas estão localizadas. Como visto na Figura 6, a ferramenta não consegue retirar totalmente o material do detalhe. É possível verificar que neste tipo de caso seria necessário o uso de uma máquina com 5 eixos, fazendo com que a ferramenta fique em uma posição que seja possível alcançar totalmente o canto. Para o uso de máquinas CNC 3 eixos este tipo de problema pode ser apenas minimizado com o uso de uma ferramenta de menor diâmetro, mesmo assim é necessário um pós processamento para acabar o detalhe. No entanto, observa-se que para a geometria de um protótipo este tipo de problema pode ser insignificante.

Devido ao grande número de sentenças geradas no programa CNC foi necessário o uso de um sistema DNC (*Distributed Numerical Control*) para envio do programa para a máquina, uma vez que o centro de usinagem usado não dispunha de memória suficiente para arquivar todo o programa. Este fato deve ser levado em conta, pois, para a fabricação de FR o uso de sistemas CAD/CAM/CNC não é suficiente, necessita-se ainda de um gerenciador de programas para envio das sentenças a máquina. Geralmente, as ferramentarias que fabricam moldes com geometrias complexas possuem este tipo de sistema, no entanto, para as empresas que não utilizam DNC e possuem a intenção de fabricar insertos com este grau de complexidade, deve ser previsto mais este investimento.

As marcas deixadas no inserto do mouse, especificamente na superfície de fechamento e na parte superior da casca traseira, foram devidas a um erro na definição do plano de segurança, o qual permitiu a colisão da ferramenta com a peça. Com a ocorrência deste problema foi possível constatar que o processo de criação de um programa CNC, utilizando um aplicativo de CAM, não é totalmente automático e a prova de erros. O *software* utilizado não detectou esta falha e por isto ocorreram as marcações. Chama-se aqui a atenção para a necessidade de uma mão-de-obra especializada para o uso deste sistema, sendo que na usinagem de um molde em aço este tipo de colisão acarretaria em sérios prejuízos.

Dando continuidade a esta linha de pesquisa, pretende-se verificar qual a real possibilidade da fabricação de FR utilizando postigos para a moldagem de detalhes como os clips de fixação. Além disso, busca-se avaliar outras alternativas de resinas para FR.

5. CONCLUSÃO

Como esperado a usinagem dos insertos da pirâmide não apresentou dificuldades, demonstrando que para uma geometria, simples que não apresentam pequenos detalhes, a usinagem CNC pode ser indicada. O tempo de usinagem de aproximadamente 4 horas foi considerado satisfatório tendo em vista que foram usinados dois insertos. Contudo, não estão presentes neste estudo os tempos gastos com a preparação da máquina, a criação das estratégias de usinagem e demais tempos que fazem parte do processo. Estes tempos são considerados relativos, pois dependem, em grande parte, da experiência do processista e do operador além dos dispositivos e ferramentas que serão utilizados.

Como previsto, o processo de usinagem do mouse se mostrou bem mais difícil do que a da pirâmide. Em grande parte as dificuldades se concentraram na usinagem dos detalhes, uma vez que para cada um foi criada uma estratégia diferente, que buscou levar em consideração a geometria do mesmo. Foi verificado que o uso de um pré-acabamento era desnecessário, pois a resina Ren Shape 460

não apresentou resistência ao corte. No entanto, para a usinagem de outros materiais como alumínio ou resinas específicas para moldes protótipo, sugere-se o uso do pré-acabamento para minimizar a quantidade de material a ser deixado para a ferramenta de acabamento.

Foi verificado que o uso de uma ferramenta de pequeno diâmetro como a de 1mm é possível de ser usada, devendo-se apenas tomar precauções com os parâmetros de corte a serem usados, principalmente a profundidade de corte em cada passe. Além disso, foi observado que mesmo para ferramentas especiais existe uma relação comprimento/diâmetro que deve ser respeitada. Segundo o fabricante, é possível produzir ferramentas com no máximo dez vezes o seu diâmetro. Desse modo é possível limitar a usinagem de pequenas cavidades a esta relação.

6. REFERÊNCIAS

- Blass, A., 1988, "Processamento de Polímeros", Segunda Edição, Editora da UFSC.
- Kochan, D., Chua, C.K. and Du, Z., 1999, "Rapid Prototyping Issues in the 21st Century", Computers in Industry, n. 39, pp.3-10.
- Mueller, T., 2000, "Accuracy in Rapid Tooling", Time Compression Technologies Magazine, November.
- Volpato, N., Amorim, J.R. and Manente, M.M., 2003 "The Use of Epóxi Resins as Inserts for Injection Mould", Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, COBEM2003, São Paulo.
- Wohlers, T. and Grimm, T., 2003, "Is CNC Machining Really Better than RP?", Time Compression Technologies Magazine, Julho.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

LIMITATIONS OF CNC MACHINING AS A RAPID TOOLING PROCESS

Neri Volpato

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – PPGEM/DAMEC/NuFER
Av. Sete de Setembro, 3165, Curitiba – PR, CEP 80230-901, nvolpato@cefetpr.br

Joel Rodrigues de Amorim

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – PPGEM/NuFER
Av. Sete de Setembro, 3165, Curitiba – PR, CEP 80230-901, joeltec@pop.com.br

Abstract. *The use of prototype has increase with Rapid Prototyping (RP), which is based in layer manufacturing. However, the prototype quality does not comply with functional demand of some engineering tests. One way to obtain a small quantity of prototypes in the same production material is to use a prototype mould obtained via Rapid Tooling (RT). RT can use either RP or CNC machining. CNC machining is an option when combined with easy to machine material such as polymeric resins. However, some problems are reported related to features that are difficult to machine. This paper reports a case study of CNC machining to obtain mould inserts (core and cavity) for RT, seeking to identify some limitations of the process. Two parts were chosen and the machine process developed using CAD/CAM and CNC machining. The results of this work help to define a better field of application for this option of RT.*

Kywords: *Rapid Tooling, Rapid Prototyping, CNC Machining, Polymeric Resin*