



FERRAMENTAL RÁPIDO – UMA NOVA TECNOLOGIA NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Jean P. Garcia¹, Jonas de Carvalho²

Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Mecânica

(1) jeanpg@bol.com.br, (2) prjonas@sc.usp.br - São Carlos, SP, Brasil

Resumo. Nos últimos anos tem se verificado um aumento considerável na demanda pelas tecnologias de produção de baixos lotes e alta diversificação, fruto da competição global no desenvolvimento de novos produtos. As empresas estão sendo pressionadas a reduzir o tempo de introdução de seus produtos no mercado (“time to market”), bem como os custos de produção, em um esforço contínuo para ganhar competitividade. Tais pressões tem levado à um aumento na busca dos processos de produção de ferramental em tempos menores. O desenvolvimento da tecnologia de Ferramental Rápido (“Rapid Tooling”) é uma das respostas a esta necessidade. Em linhas gerais pode-se definir Ferramental Rápido como qualquer método ou tecnologia que habilita a produção de ferramental em um tempo menor do que seria necessário utilizando-se técnicas convencionais. Um conceito mais focalizado para Ferramental Rápido é o uso de Prototipagem Rápida direcionada à produção de ferramental. Este trabalho traz uma revisão bibliográfica enfocando o conceito de Ferramental Rápido, visando detalhar as principais técnicas existentes, a aplicabilidade de cada processo e as respectivas vantagens na sua aplicação no desenvolvimento de produtos em relação aos processos convencionais.

Palavras-chave: Ferramental Rápido, Prototipagem Rápida, Desenvolvimento de Produtos, Manufatura Rápida

1. INTRODUÇÃO

Os ciclos de desenvolvimento de produtos estão tornando-se cada vez menores, trazendo como consequência um menor tempo para testar-se um produto em seu estágio de protótipo. Tais protótipos tem que satisfazer diferentes necessidades, ou seja existem os protótipos virtuais, os protótipos para *design* e finalmente os protótipos funcionais. O protótipo ideal é aquele que possui características muito próximas das peças de produção.

As tendências de tecnologias de produção na indústria estiveram centradas nas últimas décadas no desenvolvimento e aperfeiçoamento de processos automatizados. Atualmente, observa-se como tendência atual, a produção de baixos lotes com uma diversificação elevada de produtos. Segundo (Nakagawa, 1998) um dos maiores avanços em nossa sociedade industrial foi a obtenção da maioria dos produtos industrializados de forma rápida e fácil podendo-se definir esta fase da nossa história como a era de diversificação de nosso desejo.

As pressões de tempo, qualidade e custos junto com o aumento da variedade de produtos e o processo de competição mundial entre as empresas, tem tornado a tecnologia de Prototipagem Rápida (RP de *Rapid Prototyping*), parte integrante dos processos de negócios e tecnologias de planejamento de processos sendo vista como uma das mais importantes estratégias industriais da última década segundo (Mieritz e Dickens, 1996)

Mais recentemente a aplicação das tecnologias de RP no desenvolvimento de ferramentas (Ferramental Rápido – RT de *Rapid Tooling*) é vista como um dos maiores avanços nesta área. A fase de produção de ferramental é considerada, no processo de desenvolvimento de um novo produto, uma das fases mais demoradas e que demanda maiores custos. Entre as principais vantagens da tecnologia de RT pode-se citar a redução nos custos de produção de ferramentas ou de alteração destas trazendo repercussões diretas na indústria de manufatura.

Devido aos fatores supracitados, onde se destaca a atual diversificação de produtos, pode-se afirmar que algumas ferramentas que até alguns atrás eram projetadas para produzirem milhões de componentes atualmente destinam-se a lotes de milhares de componentes. Tal tendência tem tornado a tecnologia de Ferramental Rápido (RT) um poderoso instrumento no ciclo de desenvolvimento de produtos.

Como consequência, as repercussões e avanços destas tecnologias, reduzindo custos e tempo de produção tem originado um novo conceito de desenvolvimento de Produtos denominado de Manufatura Rápida.

2. DEFINIÇÃO DA TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA E FERRAMENTAL RÁPIDO

2.1 Prototipagem rápida

Prototipagem Rápida (RP) engloba uma série de tecnologias que possibilitam gerar o modelo físico de uma peça (protótipo) diretamente a partir do modelo sólido gerado no sistema CAD. Uma abordagem bastante comum consiste em subdividir as tecnologias de prototipagem rápida em dois grandes grupos: aquelas que trabalham com deposição por camadas e aquelas baseadas em usinagem com altíssimas velocidades de corte (*High Speed Cutting – HSC*). Neste trabalho estaremos focando especificamente o primeiro grupo, ou seja, as tecnologias baseadas em deposição por camadas. O elo entre o modelo CAD e a máquina de Prototipagem Rápida é o arquivo STL. Um arquivo STL é nada mais que uma lista de coordenadas x, y e z que descrevem um conjunto de triângulos. Um vez que o arquivo STL é gerado, as demais operações são geralmente executadas por software próprio específico para cada tecnologia. Tais dados são então transferidos para a máquina que irá depositar as camadas sucessivamente até que a peça seja gerada.

Muitos trabalhos tem sido desenvolvidos no sentido de determinar-se a possibilidade do uso das tecnologias de Prototipagem Rápida (RP) na produção de componentes em grandes lotes (Wohlens, 2000). Entre as principais conclusões pode-se citar que:

- As tecnologias de Prototipagem Rápida não estão “aptas” do ponto de vista comercial a competir com as tecnologias de injeção para grandes lotes de produção.
- O custo de produção de um componente utilizando-se Prototipagem Rápida é de aproximadamente 100 vezes maior em comparação com os custos do mesmo componente injetado.
- As tecnologias de Prototipagem Rápida podem ser utilizadas de forma competitiva para lotes pequenos e médios de produção.

Finalmente pode-se afirmar que a Prototipagem Rápida é um conjunto de processos e técnicas que auxiliam no desenvolvimento de produtos tornando-os tecnologicamente superiores a um preço menor.

2.2 Ferramental rápido

A denominação de Ferramental Rápido (RT) é usada em diversas categorias e formas, todavia um consenso geral entre os pesquisadores da tecnologia é a de que Ferramental Rápido é a combinação de tecnologias de Prototipagem Rápida com as tecnologias de produção de ferramentas para moldagem por injeção (Lück, 1997). Tomando este conceito como base, pode-se afirmar que a tecnologia de Ferramental Rápido é a denominação dada para a produção rápida de ferramentas e de insertos de moldes, direta ou indiretamente, através de Prototipagem Rápida (RP).

A categoria de RT que envolve uma aproximação indireta é aquela que utiliza um modelo mestre produzido por alguma técnica de RP para produzir o molde. Exemplos de métodos indiretos são ferramentas de alumínio preenchidas com resina epoxy (Injeção de Poliuretano) e *3D Keltool* da empresa *3D Systems*.

A segunda categoria é a de aproximação direta, o que significa a construção da cavidade do molde diretamente na máquina de Prototipagem Rápida. Exemplos deste tipo de tecnologia de Ferramental Rápido o *RapidTool (DTM – Corp.)*, *Direct Metal Laser Sintering - DMLS (EOS)* e *Direct Aim* da *3D Systems*.

No estágio atual de pesquisas e aplicações da tecnologia de Ferramental Rápido (RT) um novo conceito de divisão das diversas técnicas está sendo utilizado. Neste novo conceito o fator fundamental de divisão é a aplicação a que se destina as peças. Com base neste conceito pode-se afirmar que as técnicas de Ferramental Rápido podem ser divididas em:

- análise conceitual;
- série de protótipos;
- produção.

Um exemplo de tal classificação aplicada a ferramental de injeção é apresentada na Figura 1 (Willians, 1999).

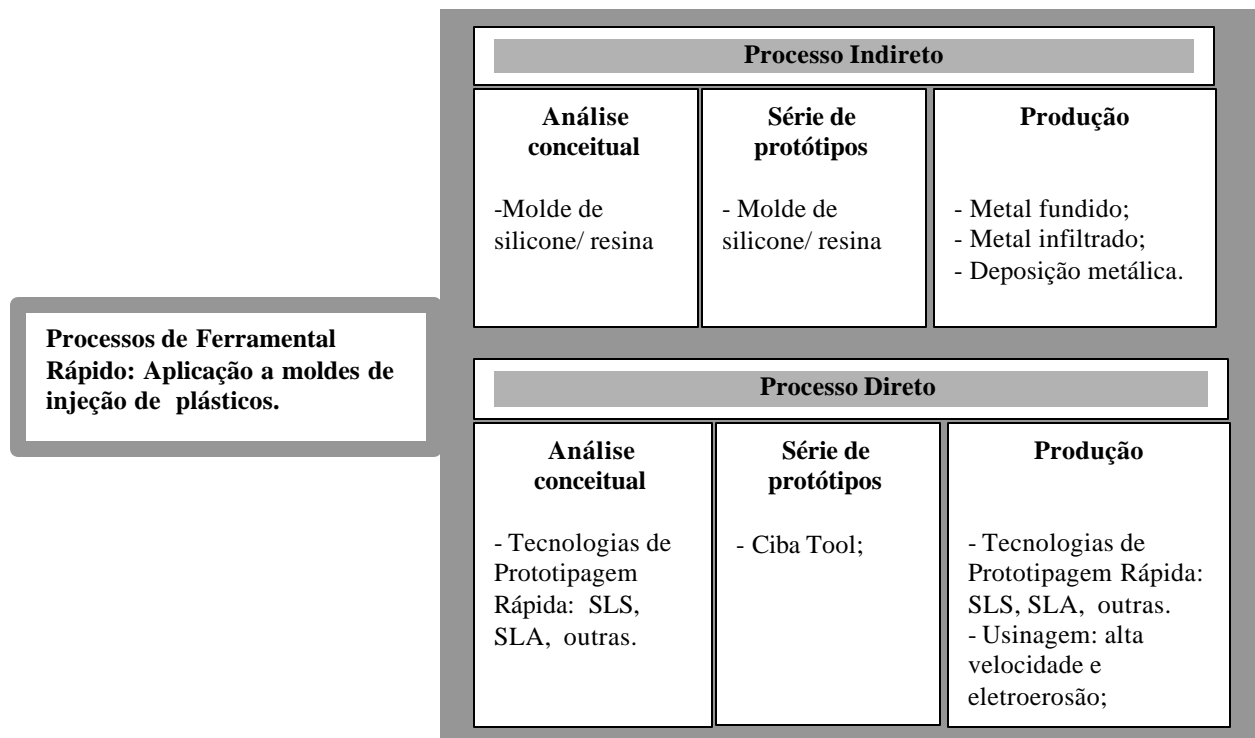


Figura 1- Principais tecnologias de Ferramental Rápido aplicados a moldagem por injeção de plásticos.

3 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA / FERRAMENTAL RÁPIDO

3.1 Prototipagem rápida

3.1.1 Estéreolitografia (*Stereolithography – SLA*)

Esta é a principal tecnologia, com mais de 500 máquinas SLA instaladas no mundo todo, desenvolvida pela 3D Systems Inc., EUA. As máquinas SLA criam modelos 3D a partir de um fotopolímero acrílico ou resina epóxica, por meio do traçado de um laser ultravioleta de baixa potência através de uma cuba cheia de resina. O material é curado pelo laser para criar uma fina camada sólida. Esta camada é então abaixada sob a superfície e a próxima camada é formada em cima da anterior, até que o objeto completo seja gerado.

Um recente desenvolvimento pela Zeneca é uma resina translúcida a qual muda para vermelho quando atingida por uma alta energia do laser. Isto pode ser utilizado para mostrar regiões de interesse, principalmente em aplicações na área médica.

3.1.2 Sinterização a laser seletivo (SLS)

Esta tecnologia é comercializada pela *DTM Corp.*, EUA. A *SLS* cria modelos 3D a partir de um pó que se funde, como policarbonato, pelo traçado de um laser modulado dirigido através de uma caixa coberta com o pó. O aquecimento das partículas causa a fusão ou sinterização das mesmas para criar uma fina camada sólida. Esta camada é coberta por mais pó e então, a próximas camadas formadas sucessivamente, até que o objeto seja completamente gerado.

O mesmo processo pode ser realizado a partir de uma combinação de aço de baixo carbono e uma pasta em pó termoplástico, resultando em uma peça em "estado verde". A pasta é então levada a um forno e as partículas de aço são sinterizadas. O esqueleto de aço resultante é subsequente infiltrado com cobre, resultando em uma peça de metal composto. Uma tecnologia similar é também utilizada pela EOS GmbH, da Alemanha, a qual pode fabricar peças de metal a partir de um pó de liga de bronze que pode ser sinterizado formando uma massa sólida (Wohlers, 2000) .

3.1.3 Modelagem por deposição de fundido (FDM)

Esta tecnologia foi desenvolvida pela Stratasys Inc., EUA. A FDM cria modelos 3D a partir de um material termoplástico aquecido, extrudado através de um bico posicionado sobre uma mesa numericamente controlada na direção x-y. A mesa é movimentada para receber o material até que uma única fina camada seja formada. A próxima camada é construída em cima desta até que o objeto seja completado. O sistema utiliza uma variedade de materiais, como policarbonato, polipropileno e vários poliésteres os quais são mais robustos que os modelos SLA. Uma abordagem similar é utilizada pela Sanders Prototype Inc., de Wilton, NH, para produzir modelos 3D pela extrusão de material termoplástico através de bicos de impressoras jato de tinta. Modelos FDM também podem ser feitos em cera.

3.2 Ferramental rápido

3.2.1 Modelagem à vácuo (*Vacuum Casting*)

Com a modelagem à vácuo (*Vacuum Casting*), os protótipos são utilizados como peças mestre para obter-se diversas réplicas em poliuretano (PU). Os poliuretanos são disponíveis em uma grande variedade de tipos com características distintas de dureza e resistência ao impacto, bem como podem ser coloridos (pigmentados) para satisfazer as necessidades do produto. A utilização de moldes em silicone permite a criação de protótipos em tamanhos distintos e com detalhes pequenos, podendo ser reproduzidos de forma adequada. Normalmente 5 a 15 peças podem ser obtidas de um molde de silicone o qual leva em média 5 a 10 dias para a execução.

A Figura 2 ilustra um exemplo de molde em silicone produzido a partir de protótipo em ABS produzido através da tecnologia FDM.

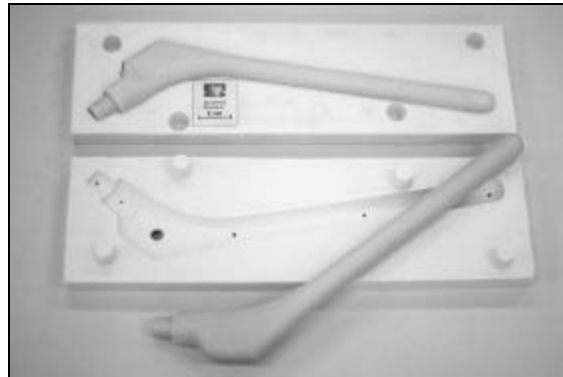


Figura 2 – Protótipo em ABS produzido através da tecnologia FDM e molde em silicone utilizado no processo de *Vacuum Casting*

3.2.2 Ferramental rápido indireto (3D Keltool)

3D Keltool é uma solução flexível de ferramental que cria um protótipo, um ferramental intermediário e um ferramental de produção. O tempo estimado de produção de inserts por este processo é de 8 dias, podendo produzir moldes de alta produção, dependendo da geometria e do material injetado.

O processo garante a produção de inserts e a possibilidade de mudanças de uma forma rápida competindo diretamente com os processos de eletroerosão e de usinagem CNC na fabricação de moldes.

O processo é baseado na produção de um protótipo “mestre” através de Estéreo litografia (SLA). A partir deste protótipo “mestre” gera-se um molde de silicone o qual é preenchido com uma mistura de aço, carvão de tungstênio e resina epoxy. Após a cura desta peça a mesma é desmoldada e levada a um processo de sinterização onde a resina irá derreter. Após este processo será realizada um processo de infiltração de cobre obtendo-se o inserto. Trata-se de um processo adequado em se tratando de moldes com multi cavidades com redução de custos da ordem de 25 a 40% quando comparados com processos convencionais de produção de moldes (CNC). Pode-se observar na Figura 3 desenho esquemático do processo de Ferramental Rápido 3D KelTool e exemplos de aplicação do respectivo processo (<http://www.3dsystems.com/>)

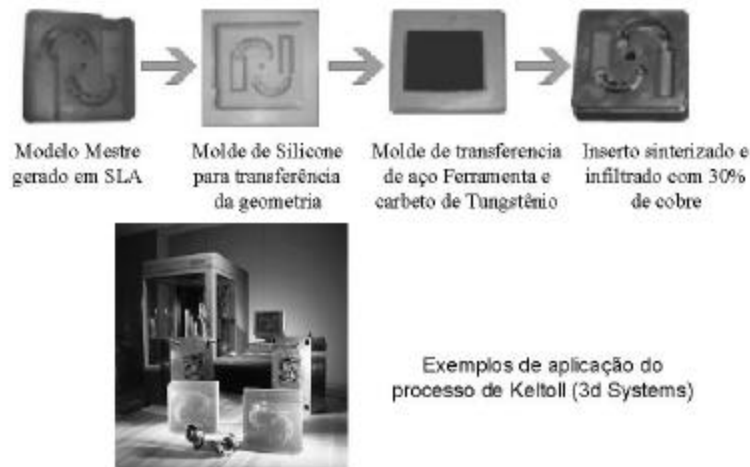


Figura 3 – Processo de Ferramental Rápido 3D KelTool

3.2.3 Ferramental rápido direto (*RapidTool*)

O processo de *RapidTool* (*DTM Corporation*) é bastante similar ao processo Keltool, possibilitando todavia que o molde seja obtido diretamente na máquina de Prototipagem Rápida (RP). O material utilizado é conhecido como *Rapid Steel*, desenvolvido pelo fabricante, o qual é sinterizado através do processo de Sinterização a Laser Seletivo (SLS).

Sinterizando-se o material na máquina SLS cria-se um inserto para molde “verde” constituído de um pó metálico agregado a um material plástico. A parte “verde” é pós-processada em um forno onde o material plástico é derretido e a peça resultante é infiltrada com bronze. O resultado é um objeto denso constituído de aço inox e bronze.

O molde após este processo deverá passar pelos processos de acabamento superficial como polimento. Insetos fabricados através desta técnica podem ser obtidos em 2 semanas e utilizados na injeção de até 100.000 peças de plástico.

4. VANTAGENS NA UTILIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA / FERRAMENTAL RÁPIDO E TENDÊNCIAS FUTURAS

Inúmeras vantagens no desenvolvimento de produtos podem ser obtidas através do uso das tecnologias de Prototipagem Rápida e Ferramental Rápido. Nas diversas fases do ciclo de desenvolvimento do produto, torna mais fácil a comunicação, além de diminuir os tempos de desenvolvimento possibilitando analisar o uso do produto e até sua interação com o usuário. Na área da ergonomia, possibilita gerar o protótipo e avaliar as condições *in loco*. Isto associado ao fato de que a vida útil dos produtos está diminuindo rapidamente e as empresas tem que buscar nas novas tecnologias os meios para encurtar também o processo de desenvolvimento, fazendo com que o tempo entre o desenho e o lançamento de um produto sejam os menores possíveis.

Pode-se também citar outras vantagens decorrentes do uso de tais tecnologias, como por exemplo:

- Produzir objetos físicos a partir de dados do modelo no computador;
- Descobrir falhas e melhorar a qualidade do Produto;

- Possibilidade de fazer mudanças visando melhoria de qualidade de um produto nas fases iniciais do projeto;
- Diminuição dos custos de fabricação de ferramental;
- Manufatura flexível;
- Produção em concordância com o conceito de *just in time*;
- Diminuição do risco de re-trabalho em ferramental.

Contudo, observa-se a necessidade de uma maior evolução das máquinas de Prototipagem Rápida em diversos sentidos:

- Melhoria no acabamento superficial dos protótipos obtidos;
- Necessidade de evolução dos materiais utilizados para que os mesmos façam frente aos materiais convencionais utilizados. Não entender o processamento de materiais tradicionais, mas a evolução e descoberta de novos materiais;
- Menor custo de equipamento e operacional.

Com o aumento do número de usuários de tecnologias de prototipagem rápida as aplicações tendem a aumentar, ou seja não apenas produzir protótipos, mas ferramentas e lotes de peças conseqüentemente evoluindo para um processo de Manufatura Rápida. Entende-se por *rapid manufacturing* o uso de tecnologias de Prototipagem Rápida e Ferramental Rápido gerando produtos com características de produção. Neste caso é possível produzir peças com características similares a peças seriadas e ferramentas que servirão para a produção em pequena e média escala, fato este intimamente ligado ao tipo de produto ou ao tempo de vida do mesmo.

5 CONCLUSÕES FINAIS

A possibilidade de obter peças acabadas com complexidade e detalhes de um modo preciso e rápido partindo do modelo sólido gerado em um sistema CAD faz da técnica de Prototipagem Rápida uma das mais poderosas ferramentas para o ciclo de desenvolvimento do produto. O uso de tais técnicas começou a expandir significativamente nos últimos anos e mais recentemente evoluiu no sentido de se produzir Ferramental Rápido. Algumas razões para isto é a ampla variedade de materiais disponíveis hoje, a melhora da qualidade do processo e também o fato de que muitas indústrias estão tornando-se cada vez mais cientes do potencial da tecnologia.

As principais mudanças deverão ocorrer no aumento da velocidade de construção e obtenção de peças gerando processos de manufatura mais rápidos, que concorrerão diretamente com as tecnologias de usinagem com alta velocidade de corte (*HSC - High Speed Cutting*). No futuro será especialmente importante não contemplar os processos de prototipagem como geradores de peças conceituais ou protótipos, mas incorporá-los em uma cadeia completa de processos associando a processos rápidos como o Ferramental Rápido (*Rapid Tooling*) possibilitando a manufatura de insertos capazes de obter-se ferramentas de produção, conduzindo ao que hoje está sendo chamado de Manufatura Rápida (*Rapid Manufacturing*).

REFERÊNCIAS

- Kaufeld, M., Morbitzer, S., 2000, Prototipagem Rápida - Uma técnica que já pode ser usada no escritório, Revista Máquinas e Metais, Maio, nº412, pp. 28-36
- Lück, T., 1997, Functional Plastic Prototypes – Process Chains and Their Cases Studies, Papers of Merit TCT Conference, Europe

- Mieritz, B., Dikens, P. M., 1996, A European Strategy for RP and Manufacturing, European Action for Rapid Prototyping (EARP), June
- Nakagawa, T., 1998, Advances in Prototype and Low Volume Sheet Forming and Tooling, Journal of Materials Processing Technology, pp. 244-250
- Williams, J., 1999, Papers of Merit, TCT Conference, Europe
- Wohlers T. T., 2000, Rapid Prototyping and Tooling – State of the Industry – 2000 Worldwide Progress Report, Wohlers Associates, Inc.

RAPID TOOLING – A NEW TECHNOLOGY IN THE PRODUCT DEVELOPMENT

***Abstract.** As a consequence of the demand for high quality products, low cost and short development cycles, most industries are looking for ways to improve and speed production processes of small and medium batch sizes. These companies are aware that they have to reduce the cost and time to market for their products in order to become more competitive. These requirements are pushing forward new developments in tooling production process. The Rapid Tooling technology is one of the answers to these necessities. In a simplified way, Rapid Tooling refers to any method or technology that produces tooling in a shorter time than the necessary by using conventional techniques. This work gives a discussion on the Rapid Tooling technology and describes the main techniques available, their application and advantages during the product development cycle.*

***Keywords:** Rapid Tooling, Rapid Prototyping, Products Development, Rapid Manufacturing*