

A PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA INDÚSTRIA NACIONAL

F. Jorge Lino* e Rui J. Neto**

*DEMEGI – Departamento de Engenharia Mecânica da FEUP, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, TI: 225081704 (42), falves@fe.up.pt, <http://www.fe.up.pt/~falves>

**INEGI – Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial/CETECOFF, Rua do Barroco, 174-214, 4465-591 Leça do Balio, Porto, TI: 229578714, Fax: 229537352, cetecoff@fe.up.pt

1. INTRODUÇÃO

A globalização da economia criou em todos os sectores industriais uma necessidade crescente de resposta rápida às solicitações do mercado. Este tipo de resposta traduz-se na redução drástica do tempo de colocação no mercado de novos produtos (“time to market”), sendo um factor crítico para a competitividade e agressividade comercial das empresas, determinando assim a sua capacidade de subsistência.

Uma das tecnologias mais determinantes na mudança radical de funcionamento das empresas perante estes novos desafios foi a introdução dos sistemas de CAD/CAM e da capacidade de modelação CAD 3D. Mais recentemente, as tecnologias de prototipagem rápida (PR) e fabrico rápido de ferramentas (FRF) vieram reforçar significativamente esta capacidade em reduzir o time to market [1].

Pretende-se com esta comunicação fazer uma curta introdução à PR e ao seus processos e finalmente apresentar a evolução da sua utilização no nosso País.

2. PROTOTIPAGEM RÁPIDA

A utilização da PR pode eventualmente provocar um aumento dos custos directos de projecto, contudo, a segurança induzida na equipa de projecto pode traduzir-se em ganhos significativos em termos do time to market, garantindo assim uma maior agressividade e conseqüente vantagem competitiva da empresa utilizadora. Os aparentes incrementos no custo final do produto podem traduzir-se em grandes lucros globais. Paralelamente, a realização rápida de protótipos pode constituir um suporte às acções de marketing e mesmo um precioso auxiliar à comercialização dos produtos. Em muitos

casos, é mesmo a partir dos protótipos que se realizam as pré séries e mesmo as próprias peças definitivas. De uma forma geral pode dizer-se que se está em presença de PR se:

- O processo se baseia em CAD 3D;
- O protótipo é criado quase automaticamente (pode ser necessário algum trabalho de preparação e acabamento), ficando pronto no espaço de algumas horas ou dias e é produzido por adição de camadas de material;
- O processo dispensa a utilização de operários especializados sendo praticamente ilimitado em termos de capacidade de geração de formas (“solid freeform manufacturing”) [2].

Nos processos de PR os modelos são obtidos por adição sucessiva de material, camada a camada, até se obter o modelo pretendido (isto leva a que se exclua dos processos de PR a maquinação de alta velocidade). As peças obtidas por estes processos apresentam irregularidades na superfície, correspondentes à espessura de cada camada. Este defeito de construção é chamado efeito de escada, sendo directamente proporcional à espessura das camadas, podendo ser atenuado com posteriores operações de acabamento.

Em todos os processos recorre-se a um desenho CAD 3D que é traduzido para um ficheiro .STL, em que as superfícies do modelo são convertidas em triângulos. O ficheiro STL ao ser introduzido no equipamento de PR, é por sua vez convertido num ficheiro SLI, o qual divide o modelo nas várias camadas de construção, utilizando o software da própria máquina. Nalguns sistemas o software da máquina gera simultaneamente suportes (por exemplo a estereolitografia) para possibilitar a construção de zonas dos modelos que não estejam apoiadas.

Na PR não existem processos ideais, apresentando cada um, consoante a aplicação em causa, vantagens e desvantagens. Na altura de se optar por um processo, deverá ter-se em conta factores tais como propriedades físicas, mecânicas e estéticas exigidas ao protótipo, material a utilizar, disponibilidade das tecnologias e custos envolvidos e finalmente os prazos para a realização do protótipo [2].

De seguida faz-se uma abordagem muito resumida dos 5 principais processos de PR, indicando-se na tabela I as principais vantagens e inconvenientes de cada um deles [1-3].

3. PROCESSOS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA

3.1. Estereolitografia (SL ou SLA)

Foi o primeiro processo de PR a aparecer (1987 pela 3D Systems, Inc., USA). O protótipo é construído por fotopolimerização de uma resina epoxy líquida, usando um feixe laser de ultravioletas. Como a resina é líquida e relativamente pouco viscosa, a complexidade dos modelos pode ser extremamente elevada. Como o meio envolvente é líquido, todas as zonas das peças em balanço necessitam de suportes sólidos em resina.

Após retirado da máquina, o modelo sofre uma pós-cura que lhe vai conferir a máxima resistência. Consoante as necessidades, os modelos podem ser sujeitos a operações de lixagem e/ou polimento, ou mesmo pintura, melhorando assim o seu aspecto e funcionalidade.

O processo permite também a obtenção de modelos ocos (Quick Cast para o equipamento da 3D e Skin and Core para o equipamento da EOS), os quais são particularmente indicados para a conversão em metal utilizando o processo dos modelos perdidos (“Investment Casting”) [4, 5].

3.2. Fabricação de Objectos por Camadas (LOM)

Os modelos são fabricados colando sucessivamente folhas de papel, as quais são cortadas por intermédio de um feixe laser. Todo o papel que não faz parte do componente é cortado em quadrados ou rectângulos para facilitar a posterior remoção do modelo do bloco de papel (descubicagem). Para assegurar a rigidez de todo o conjunto é construído simultaneamente um caixilho. Os papéis utilizados têm espessuras de 0.1mm, 0.15mm e 0.20mm. Da espessura do papel empregue e da sua qualidade vai depender a definição dos modelos obtidos. Além do papel, este equipamento pode construir modelos em fibra de vidro, cerâmica e metal [4].

3.3. Sinterização Selectiva por Laser (SLS)

É o terceiro processo mais utilizado nos USA e Europa, logo a seguir à SL e FDM. Na câmara de construção pré-aquecida é laminada uma camada de pó correspondente à espessura das camadas de construção. Um feixe laser constrói os modelos fundindo as interfaces dos pó, obtendo-se desta forma uma estrutura sólida parcialmente porosa. O bolo de pó é removido da máquina, sendo sujeito a operações de

grenalhagem e/ou impregnações para aumento da resistência mecânica do modelo e melhoria da qualidade superficial. O processo pode utilizar vários tipos de materiais, nomeadamente modelos em True Form e Cast Form (para fundição por modelos perdidos) e ainda pós cerâmicos revestidos por uma resina termoendurecível (produção de carapaças cerâmicas).

Este processo permite também utilizar pós de aço ou cobre revestidos com um polímero, os quais permitem obter, após infiltração com um liga metálica, peças metálicas ou cavidades moldantes (existe um processo semelhante da EOS denominado DMLS, sinterização directa de pós metálicos, para os mesmos fins) [4].

3.4. Impressão Tridimensional (TDP)

Os modelos são construídos a partir de um material em pó (podem ser utilizados diferentes tipos de materiais) ligado por intermédio de um ligante líquido. O jacto de ligante é aplicado através de cabeças de impressão idênticas às utilizadas pelas impressoras de jacto de tinta. A peça é retirada em verde da máquina ficando o pó não aglutinado pelo ligante solto. O modelo sofre, numa segunda fase, um tratamento térmico para aumentar a sua resistência.

A SOLINGEN utiliza esta tecnologia para a fabricação directa de carapaças cerâmicas para fundição de precisão (processo DSPC - Direct Shell Production Casting). Empresas como a Z Corporation, Sanders, Prometal, e Thermoject baseando-se no TDP, com algumas alterações, criaram os seus próprios processos de PR [2].

3.5. Modelação por Extrusão de Plástico (FDM)

É o segundo processo mais utilizado, consistindo na deposição de um material termoplástico, o qual é fornecido à cabeça extrusora através de uma bobine de fio. As máquinas mais recentes possuem cabeças extrusoras que se movem magneticamente a elevada velocidade (sistema magna drive), permitindo a construção dos modelos mais rapidamente [4].

4. O MERCADO NACIONAL DA OFERTA

Em Portugal foi instalado no ITEC (agora AGILTEC, Lisboa), nos finais de 1992, um equipamento de SL. Volvidos 8 anos, apenas foram instalados mais 9 equipamentos:

- SLS de plásticos, metais e areia no CENTIMFE e SOCEM (Marinha Grande) e no CINFU (Porto);
- SL na CADFORM (Marinha Grande);
- FDM SANDERS no CINDOR (Gondomar) e FDM STRATASYS na KLC (Marinha Grande);
- DMLS no INETI (Lisboa), e
- LOM no INEGI (Porto) e OCC (Guimarães) [2].

O número de equipamentos instalados é manifestamente insuficiente para a procura prevista para os próximos anos. Esta baixa adesão no nosso País aos sistemas de PR pode explicar-se pelo recurso das empresas a serviços no estrangeiro, por desconhecimento das capacidades reais da PR e pela falta de disseminação pelos vários sectores industriais da PR, que efectivamente necessitam destes processos, mas que em geral os desconhecem [4]. Os sectores industriais que têm vindo a utilizar a PR são: indústria de fundição, ferragens, calçado, moldes, componentes para a indústria automóvel, cerâmica, alta tensão, ensino (tecnologia e design [6]), termodomésticos, mobiliário e arquitectura e urbanismo.

5. A EXPERIÊNCIA DO INEGI

O INEGI tem um equipamento de LOM desde o início de 1999. Desde essa data, clientes que já conheciam o processo, ou novos clientes que o ficaram a conhecer através de sessões de divulgação, de artigos publicados [3-6] e de acções de marketing, têm vindo a recorrer aos serviços de LOM do INEGI. Nas figuras 1 a 4 podem observar-se modelos e componentes metálicos obtidos a partir de modelos fabricados por diversas técnicas de PR.



Figura 1 Moldes para fundição em areia e peça metálica em ferro fundido (lado esq.), e modelos em LOM e SL e reproduções metálicas (lado direito).



Figura 2 Modelos de torneiras, ferragens, avanços de bicicleta e conversões metálicas (lado esq.), e modelos em LOM, reproduções metálicas e em plástico de produtos de design (lado direito).



Figura 3 Peça de design em LOM de um produto cerâmico.



Figura 4 Levantamento topográfico para estudos de simulação de incêndios e maquete de edifício (LOM).

O INEGI nestes últimos dois anos tem fornecido muito mais componentes resultantes da conversão de protótipos em peças de plástico ou metálicas, do que propriamente modelos em LOM. Muitas vezes, as reproduções são obtidas a partir de modelos que são subcontratados ao exterior (geralmente SL, dada a grande precisão dimensional deste processo), fazendo o INEGI a respectiva conversão metálica através do processo de cera perdida, injeção em moldes de silicone ou de resinas rígidas.

Tabela I Principais vantagens e inconvenientes dos 5 principais processos de PR.

Processo	Vantagens	Desvantagens
SL ou SLA	<p>É dos melhores processos em termos de precisão dimensional e permite obter as formas mais complexas, detalhes mais finos e bom acabamento (após lixagem e polimento);</p> <p>Permite a obtenção de modelos parcialmente ocos (70-80% de porosidade).</p>	<p>Elevado custo das matérias primas e dos modelos;</p> <p>Fraca resistência mecânica dos modelos;</p> <p>Tempo de fabricação relativamente elevado e necessidade de pós cura;</p> <p>Propenso a empenos.</p>
LOM	<p>Precisão dimensional e geométrica superior ao SLS, especialmente em X e Y;</p> <p>Capacidade para produzir, numa única vez, modelos de elevadas volumetrias (até 800x500x500mm);</p> <p>Possibilidade de se usarem modelos LOM para o processo de modelos perdidos;</p> <p>Rapidez de execução e baixo custo do processo.</p>	<p>Instabilidade do papel na presença de humidade;</p> <p>Fraca precisão dimensional no eixo dos ZZ e dificuldade em obter pequenas espessuras (<2mm) em peças de grande dimensão (>200x200x200mm).</p> <p>Necessidade de mão de obra elevada para a descubicagem, impermeabilização e acabamento.</p>
SLS	<p>Obtenção de bons protótipos funcionais termoplásticos (apenas superável pelo FDM);</p> <p>Resistências mecânicas e térmicas elevadas, 60-70% da dos materiais equivalentes injectados;</p> <p>Mais rápido do que a SL e o FDM;</p> <p>Não necessita de suportes, nem pós cura (quando se usam termoplásticos).</p>	<p>Modelos com superfícies rugosas e com porosidade;</p> <p>Precisão dimensional inferior à SL e ao LOM;</p> <p>Elevado custo das matérias primas (50 a 60 contos/Kg).</p>
TDP	<p>Pode utilizar diferentes tipos de materiais e utilizá-los simultaneamente recorrendo a diferentes cabeças com ligante;</p> <p>Não necessita de suportes;</p> <p>Produz carapaças cerâmicas (DSPC) para obtenção directa de modelos metálicos.</p>	<p>Os modelos apresentam rugosidade elevada e em verde são relativamente frágeis e porosos;</p> <p>Por vezes é difícil remover o pó não ligado em modelos com formas intrincadas.</p>
FDM	<p>Permite obter as propriedades mecânicas mais elevadas (para termoplásticos);</p> <p>É o melhor processo para a conversão metálica por investment casting (com modelos em cera);</p> <p>Processo de grande precisão dimensional em X, Y e Z</p> <p>Permite o uso simultâneo de dois materiais;</p>	<p>É mais lento que a SL, o SLS e o LOM;</p> <p>O valor do investimento no equipamento é dos mais elevados assim como o custo global dos modelos.</p>

6. CONCLUSÕES

Os potenciais clientes da PR raramente necessitam apenas de um protótipo. Na maior parte dos casos, os modelos obtidos não são protótipos funcionais. Os clientes pretendem assim serviços mais integrados, os quais podem variar desde o design e projecto mecânico, até ao protótipo semi-funcional ou funcional em plástico ou metal, passando numa fase intermédia pelo protótipo em LOM, SL, SLS, FDM, TDP, etc.. Apesar de o volume de trabalho do INEGI na área da PR ser relevante, há a certeza de que o mercado de consumidores pode crescer exponencialmente, a curto e médio prazo, desde que sejam encetadas acções de divulgação das enormes vantagens que estas tecnologias oferecem no desenvolvimento de produtos.

REFERÊNCIAS

- [1] Terry Wohlers, “Rapid Prototyping & Tooling State of the Industry: 1999 Worldwide Progress Report”, Wohlers Associates, Inc., USA (1999).
- [2] M. S. Simão, Rui J. Neto, F. Jorge Lino, Teresa P. Duarte, F. J. Braga e G. Cruz, “Protoclick Prototipagem Rápida”, a publicar em Novembro, Porto, Portugal (2000).
- [3] Rui J. L. Neto, A. P. Barbedo de Magalhães, Mário J. Pinto e Bártolo C. Paiva, “A Prototipagem Rápida e a Produção de Protótipos e Pré Séries em Fundição”, Tecnometal, N.º 112 pp. 5-8, Setembro/Outubro (1997).
- [4] RNPR, “Projecto Mobilizador RNPR – Rede Nacional de Prototipagem Rápida – Que Resultados?”, O Molde, Ano 13 N.º 45, pp. 12-48, Setembro (2000).
- [5] Rui J. L. Neto, A. P. Barbedo de Magalhães, Teresa M. P. Duarte e F. Jorge Lino Alves, “A Prototipagem Rápida e a Fabricação Rápida de Ferramentas para Forjamento na Indústria de Ferragens”, Tecnometal, N.º 115 pp. 5-9, Março/Abril (1998).
- [6] F. Jorge Lino, Rui J. L. Neto, M. Teresa Vasconcelos, Pedro V. Vasconcelos, Acácio V. Pereira e Elisabete C. Silva, “Diluição de Fronteiras Entre o Design e a Indústria Através da Prototipagem Rápida – Um Caso de Estudo”, Cadernos Empresariais, Ano 2 N.º 7, pp. 58-63 (2000).