

A PROTOTIPAGEM RÁPIDA INSERIDA NAS DIFERENTES FASES DE UM PROJETO COMO INSTRUMENTO DE INOVAÇÃO.

Prof. Dr. Paulo Carlos Kaminski

Eng. João Henrique S. A. Oliveira

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica,
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, 05508-900 - São Paulo - SP

Resumo

Empresas que já utilizam CAD têm buscado na prototipagem rápida um meio para diminuir ainda mais o tempo e custos de introdução de produtos no mercado. Diversas empresas têm recorrido cada vez mais às prestadoras de serviço e ficado satisfeitas com os resultados. Ao avaliar a compra destes equipamentos as empresas devem considerar principalmente a frequência com que recorre à utilização de protótipos em seus projetos e o que pretende determinar com estes modelos, para depois verificar qual sistema de RP atende melhor suas necessidades. Este trabalho faz um levantamento e avaliação inicial dos diversos sistemas de prototipagem rápida mais comuns no Brasil, apresentando as vantagens de cada sistema para cada fase de um ciclo do projeto. Os resultados obtidos são então consolidados numa metodologia de análise da adequabilidade técnica e econômica da utilização de sistemas de prototipagem em função do tipo de produto a ser desenvolvido.

Palavras-chave: prototipagem rápida, desenvolvimento de produtos, projeto

1. INTRODUÇÃO

Um fator determinante de competitividade para as empresas tem sido a diminuição do tempo de introdução de novos produtos no mercado. Existem várias etapas a serem seguidas no processo de desenvolvimento desses produtos, desde a concepção da idéia até a sua introdução no mercado. Estas etapas não seguem uma linearidade dentro do desenvolvimento do projeto, pois cada item não fica plenamente definido antes da etapa seguinte. O desenvolvimento é, portanto, iterativo, pois cada item depende dos outros para que o sistema funcione harmonicamente. Assim, a evolução de um projeto pode ser definida pela imagem de uma espiral (Espiral de Projeto), em que na 1ª volta os itens são definidos de modo grosseiro, aproximado, e essa definição vai ficando mais precisa nas voltas seguintes até se convergir para a configuração final do projeto (Kaminski, P. C., 1999).

Estimativas sugerem que mais de 70% do custo de um produto é determinado durante a fase de projeto. Alguns autores consideram uma grande força de inovação o que estão chamando de “*learning before doing*”(Tidd, J.; Bessant, J.; Pavitt, K., 1997), no que as alternativas do projeto são testadas continuamente ao longo de seu desenvolvimento. A Prototipagem Rápida (*Rapid Prototyping* - RP) na medida em que produz modelos físicos já desde o início do projeto, pode ser um instrumento para este aprendizado.

Os modelos são instrumentos de aprendizado e, com esta finalidade, podem ser classificados como:

- descritivos: permitem o entendimento de determinado sistema real ou fenômeno;

- preditivos: permitem prever (dentro dos limites do modelo) o comportamento do fenômeno ou sistema real.
- icônicos: são utilizados para a visualização do produto em seus vários aspectos. São utilizados em praticamente todas as fases e/ou ciclos da Espiral de Projeto;
- analógicos: protótipos ou modelos reduzidos do produto utilizados para avaliar o funcionamento através de medidas experimentais (Kaminski, P. C., 1999).

A tecnologia RP fundamentalmente fornece modelos conceituais (que são descritivos e icônicos) e protótipos funcionais (que são preditivos e analógicos). A confecção destas representações idealizadas da situação real pelo processo tradicional é bastante lenta em alguns casos onde, por exemplo, a geometria do produto é bastante complexa, e necessita de mão-de-obra especializada, o que atrasa mudanças no projeto e o lançamento de novos produtos. Através da RP tornou-se possível gerar um modelo físico em menos tempo, antecipando-se tomadas de decisão.

2. AVALIAÇÃO INICIAL DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA

A prototipagem rápida é uma tecnologia que produz protótipos e peças a partir de modelos sólidos feitos em um sistema CAD. Diferentes de uma máquina de usinagem que é de natureza subtrativa, os sistemas de RP mais conhecidos no Brasil, compõem materiais (líquidos e pó, principalmente) formando as peças. As máquinas de RP fabricam objetos de plástico, cerâmica, metal, etc., camada por camada utilizando finas seções horizontais geradas a partir do modelo do CAD.

O primeiro sistema de RP - como é conhecida hoje - tornou-se comercialmente viável na década de 1980. Em 1998 foram vendidos 990 equipamentos (Wohlers, T., 1999), totalizando aproximadamente 4.250 equipamentos instalados no mundo. Segundo Wohlers (1996), o faturamento total dos sistemas de prototipagem rápida aproximava-se, já em 1996, de meio bilhão de dólares. Os protótipos rápidos são utilizados de diversas formas: auxílio visual (16,6%); padrões para ferramenta (14,9%); montagem/encaixe (14,6%); protótipos funcionais (13,3%); padrões para fundição (10%); propostas (8,1%); auxílio visual para ferramentas (6,8%); estudos ergonômicos (5,4%); cotações (4,1%); insertos metálicos diretos (3,3%) e outras (3%) (Wohlers, T., 1998).

Os desenvolvimentos observados atualmente nesta área estão concentrados principalmente no aumento da velocidade de produção (na primeira década de existência desta tecnologia conseguiu-se uma redução de dez (10) vezes no tempo de máquina); na busca de novos materiais que se aproximem do material do produto final; na precisão dimensional dos modelos através de melhorias na deposição das camadas; em avanços na utilização da energia a laser; em melhorias na performance dos *softwares* de suporte; e na descoberta de novas aplicações para a tecnologia (Kruth, J., -P; Leu, M., C.; Nakagawa, T, 1998).

Recentemente no Brasil duas empresas do ramo automobilístico adquiriram um equipamento. Em 1997 avaliava-se que havia 8 equipamentos instalados, dos quais 4 tinham sido instalados naquele mesmo ano (Wohlers, T., 1998). Além de duas principais prestadoras de serviço, alguns institutos brasileiros de pesquisas também já possuem equipamentos. Nos Estados Unidos, Japão e Europa algumas empresas já estão comprando seu terceiro, quarto e até décimo equipamento devido às vantagens que oferecem, mudando seus paradigmas de produção na área de desenhos, modelos, protótipos e ferramentas para novos produtos.

3. ADOÇÃO DA RP

Alguns fatores que levam as empresas a mudarem sua forma tradicional de confecção de protótipos e a adotarem a RP são, entre outros, os seguintes:

- garante uma maior integração (sem a necessidade de conhecimento de desenho técnico, por exemplo) entre as diversas equipes de pesquisa, projeto, desenvolvimento, produção e vendas (Ferreira, A. C.; Lafratt, F. H., 1998), possibilitando a Engenharia Simultânea;
- torna possível a verificação da reação do consumidor frente ao produto quando ainda o projeto está no início;
- são feitos protótipos por RP desde a fase inicial de projeto aumentando-se a confiabilidade das informações que servirão de base para as etapas seguintes (Volpato, N., 1999);
- reduz os riscos de inovação para produtos considerados de natureza revolucionária, que utilizam-se de tecnologias que possuem um alto custo associado a uma falha de projeto (Volpato, N., 1999); são apontados defeitos potenciais desde o início;
- reduz o custo de mão-de-obra: os modeladores tradicionais são profissionais especializados (Yogui, R.; Otênio, D., 1998);
- a RP permite criar dois protótipos ou mais de uma mesma peça com uma semelhança geométrica muito maior e os prazos para o feitiço do modelo são bem mais previsíveis na RP (Yogui, R.; Otênio, D., 1998);
- diminuição de custos decorrente da diminuição do número de ciclos da espiral de projeto;

4. TIPOS DE EQUIPAMENTOS

As máquinas RP funcionam similarmente, apesar de que suas especificações tecnológicas são bem diferentes. No Brasil são mais conhecidos os seguintes processos:

4.1 Estereolitografia (*Stereolithography - SL*)

Pioneira, esta tecnologia é a que possui mais equipamentos instalados no mundo. Apropriada principalmente para modelos conceituais (demonstrações, checagens de ajuste dos modelos e alguns componentes de túnel de vento etc.) e para a confecção de padrões para fundição. No entanto, cada vez mais, está sendo utilizada para protótipos funcionais, servindo de *master* para moldes em silicone para posterior obtenção de um protótipo em Poliuretano feito pelo método de *Vacuum Casting*. É também utilizado na obtenção de ferramental para injeção de plásticos e em parceria com outras tecnologias de fabricação. Suas vantagens são a precisão geométrica e a alta qualidade superficial (Ferreira, A. C.; Lafratt, F. H., 1998).

No espaço de trabalho, uma plataforma é coberta apenas alguns décimos de milímetro ao ser mergulhada em um recipiente cheio de resina. A resina cura nas áreas iluminadas pelo laser ultra-violeta, desenhando cada seção (Figura 1).

O representante destes equipamentos no Brasil é a *Robtec*.

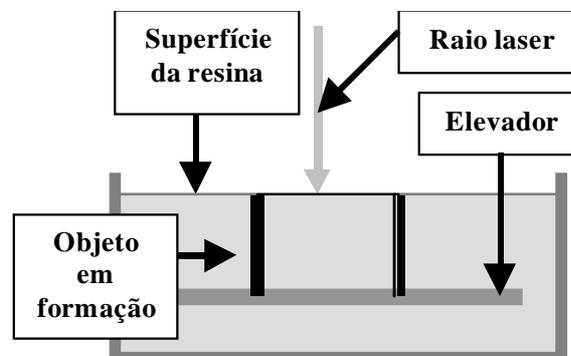


Figura 1: Esquema de formação da peça por estereolitografia

4.2 Modelamento por Deposição de Material Fundido (*Fused Deposition Modeling - FDM*)

Constrói os modelos por deposição de camadas ultra finas (Figura 2), uma sobre a outra, de um material termoplástico semilíquido com características semelhantes ao ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene) injetado. Este material oferece alta resistência, tenacidade e durabilidade. O plástico ABS devido às suas características é um dos materiais preferidos para os protótipos funcionais. Este processo utiliza também nylon (protótipos para verificação de medidas e controle de projeto); elastômeros; cera para a construção de modelos para o processo *investment casting* (para a produção de peças metálicas); e ABS para medicina. Podem ser construídas peças sólidas, aveoladas ou vazadas. Por isso, também é comumente utilizado para a confecção de padrões para a fundição.

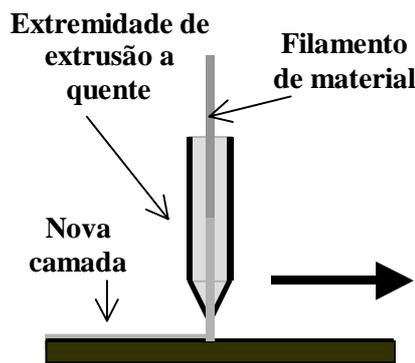


Figura 2: Esquema de deposição de material FDM.

O equipamento pode ser utilizado em ambiente de escritório e possui software amigável. As peças em cera para fundição têm um bom acabamento superficial permitindo construção de cascas para fundição. O ABS é utilizado para verificações de ajuste e de formas geométricas e para modelos de túnel de vento.

No Brasil, o representante desta tecnologia é a *Sisgraph Ltda.*

4.3 Sinterização Seletiva por Laser (*Selective Laser Sintering - SLS*)

O calor de um feixe de laser de CO₂ faz com que material em pó seja fundido formando os objetos sólidos (Figura 3). São obtidos modelos cujas propriedades mecânicas correspondem à 95% das de peças injetadas (Hock, S.; Kneisel, T., 1996).

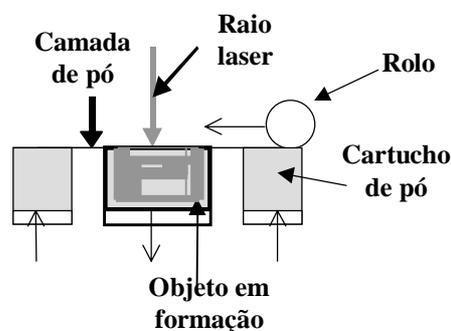


Figura 3: Esquema de formação de uma peça por sinterização a laser

Este processo produz protótipos do tipo funcional em diversos materiais utilizados na análise para checagem de ajustes e verificações de projeto. É bastante utilizado, por exemplo, para a fabricação de componentes de interiores de veículos (Hock, S.; Kneisel, T., 1996). Peças de policarbonato e cera podem servir para fundir componentes prontos para uso, e peças de material metálico estão sendo utilizadas para aplicações de ferramentas.

Devido à grande diversidade de materiais, esta tecnologia é recomendada para modelos conceituais, protótipos funcionais e confecção de padrões para a fundição.

Seu representante no Brasil é a *Flag Tecnologia*.

4.4 Fabricação de Objetos Laminados (*Laminated Object Manufacturing - LOM*)

A Fabricação de Objetos Laminados da Helisys produz partes sólidas de material laminado, como uma folha de papel. Depois de aquecida e comprimida por rolo aquecido, um laser guiado por computador corta esta camada do material (Figura 4). Esta tecnologia é recomendada especialmente para modelos conceituais e confecção de padrões para fundição.

No Brasil é representada pela *McGinty*.

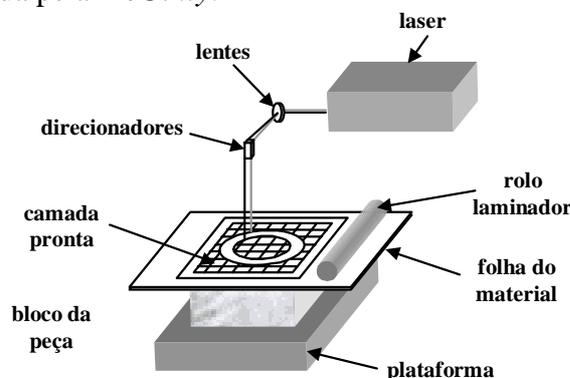


Figura 4: Esquema de um objeto sendo formado no processo LOM

4.5 Outros Fabricantes

Vários dos fabricantes de sistemas de RP estão localizados na Alemanha e no Japão. Na Alemanha Fockele & Schwarze oferece máquinas baseadas na tecnologia por estereolitografia. No Japão, Denken, D-MEC, CMET, Meiko, Teijin Seiki e Ushio oferecem máquinas que utilizam uma variação da tecnologia por estereolitografia. Uma outra empresa japonesa, Kira Corp., fabrica e vende uma máquina de RP que lamina folhas planas de papel para formar objetos.

5. O QUE A RP MUDA NO CICLO DE PROJETO (ESPIRAL DE PROJETO)

Uma primeira mudança para o ciclo de projeto é a maior integração entre as diversas equipes de trabalho envolvidas nas atividades de desenvolvimento de produtos: setor comercial, marketing, engenharia, produção, logística, suprimentos, controladoria e diretoria, isto ocorre, principalmente, devido à visualização em 3 dimensões do produto

Poderíamos considerar 7 fases subsequentes dentro do ciclo de projeto, embora cada fase interaja com as anteriores e posteriores (Espiral de projeto):

- Estudo de Viabilidade;
- Projeto Básico;
- Projeto Executivo;

- Planejamento da Produção;
- Planejamento da Distribuição do produto ou da Montagem da instalação;
- Planejamento do Consumo ou Utilização do produto;
- Planejamento do Abandono do produto.

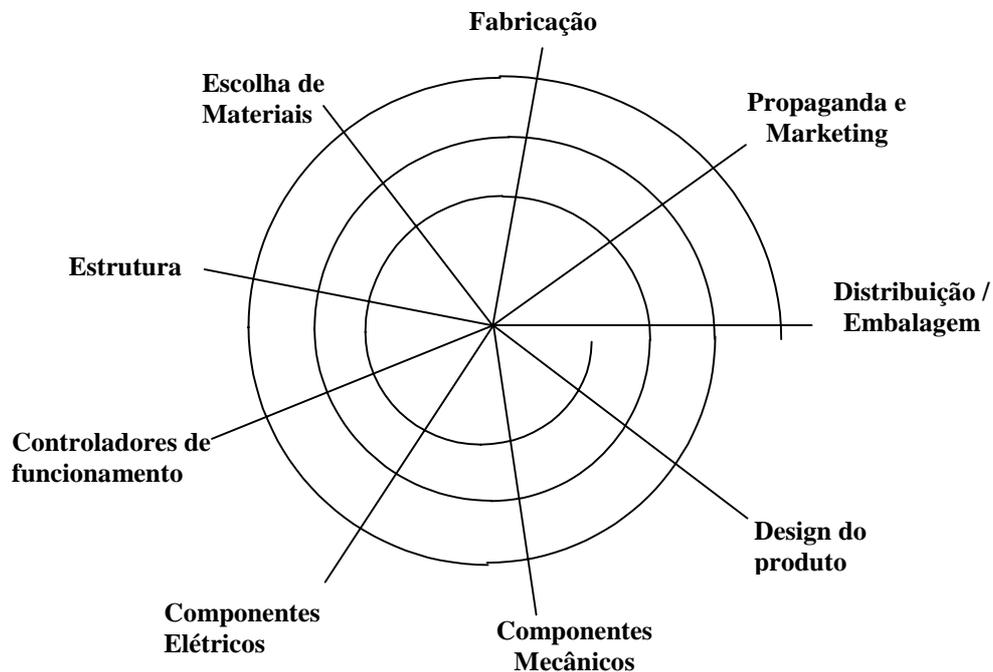


Figura 5: Exemplo de uma Espiral de Projeto.

Na primeira fase, onde deve-se obter um conjunto de soluções plausíveis para a necessidade do projeto, apenas suficiente para verificar sua viabilidade técnica e econômica, a RP auxilia e acelera este processo através de modelos conceituais, que permitem um estudo melhor das diversas soluções. Podem ser feitas nesta fase as análises de tamanho, forma, tipos de encaixes entre as peças, ergonomia do produto, determinando-se a especificação das características técnicas do projeto, que será um conjunto de requisitos funcionais, operacionais e construtivos a ser atendido pelo produto (Kaminski, P. C., 1999).

Já no Projeto Básico, deve ser escolhida uma única solução através de uma análise ainda superficial, como por exemplo, através de uma matriz de decisão. A partir dessa escolha são feitos estudos e ensaios utilizando-se desenhos e modelos físicos ou matemáticos a fim de estabelecer:

- o campo de variações dos parâmetros críticos de projeto (mais importante);
- as características básicas dos componentes;
- a influência dos diversos fatores internos e externos sobre o desempenho funcional do produto.

O processo de teste continua na fase do Projeto Executivo, onde se procura a especificação completa do produto testado e que já poderia ser produzido. Nessa fase nem sempre será possível produzir um protótipo adequado por RP, devido principalmente à compatibilidade do material e às diferenças produzidas na peça devidas ao processo de fabricação, no entanto, podem ser testados diversos aspectos separadamente como encaixe, ergonomia, etc.

Neste mesmo sentido, a RP pode ser utilizada no Planejamento da Distribuição ou da Montagem de Instalação, onde o formato final da peça é importante (Modelo Conceitual), verificando-se, por exemplo, qual o melhor tipo de embalagem para o produto.

Um exemplo de uma espiral de projetos poderia ser demonstrado a partir da necessidade observada no mercado pela equipe de *marketing*, de um carrinho para transportar crianças de até 3 anos de idade e que seja movido à bateria elétrica:

A. A partir de um desenho tridimensional feito pelo pessoal de Design onde já se determina um estilo e já se estuda pelo menos um idéia da estrutura e das partes móveis, já se pode fazer um protótipo conceitual para fazer uma pesquisa de aceitação do produto (ergonomia e conforto, beleza etc.)

B. Com o resultado desta pesquisa de *marketing* fazem-se as devidas correções no desenho e procura-se estabelecer as partes mecânicas que serão utilizadas no carrinho, tais como rodas, eixos, sistema de direção, etc.

C. Para acionar estas partes mecânicas determinam-se os componentes eletrônicos, tais como motores, selecionadores de velocidade e se refina as peças mecânicas, tais como as engrenagens que serão utilizadas para a transmissão de movimento. Tanto neste estágio, como no anterior pode-se usar os protótipos para verificar as montagens, encaixes, etc.

D. Já com uma idéia visual e de localização de cada componente montado no produto passa-se a pensar na estrutura para suportar todos os esforços estáticos, tais como peso do motor, peso da criança e de todas partes móveis, bem como o material a ser utilizado para cada item.

E. Rearranjam-se as partes, reestuda-se o design para se adequar à estrutura, redimensiona-se o motor e as partes mecânicas para que não fiquem nem sub, nem superdimensionados. Nesta volta da espiral pode-se montar um protótipo mais próximo do produto definitivo para novos testes de funcionamento.

F. Novas mudanças podem ser requeridas devido à condição de funcionamento, uma vez que nas primeiras etapas as considerações são mais de ordem estática do que dinâmicas.

G. A cada volta da Espiral de Projeto (Figura 5), onde vão ocorrendo os aprimoramentos do projeto, pode-se novamente submeter o produto a avaliação do mercado e já ir estudando-se o modo como poderá ser produzido o produto. Podem ser feitos protótipos de moldes para fundição, injeção de plásticos etc.

H. Enfim deve-se pensar no modo de distribuição do produto e conseqüentemente na embalagem que poderá ser utilizada. Isto pode requerer novas mudanças não previstas nas etapas anteriores. Com a visualização contínua do produto é mais fácil que ocorra a Eng^a Simultânea, evitando-se que estas avaliações se dêem tardiamente.

6. ANÁLISE CRÍTICA E PRÓXIMAS APRECIÇÕES

A importância da prototipagem rápida tem crescido na área de projetos devido à grande redução de custos e à garantia de qualidade que possibilita. Sendo um sistema de tecnologia recente pode ser ainda muito mais desenvolvido e aprimorado. A RP tem se demonstrado como uma ferramenta promissora na área de comunicação de idéias, como por ser um modo alternativo de produção de peças. A utilização plena do equipamento nem sempre é garantida, mas deve-se considerar para sua aquisição, mais a disponibilidade do equipamento que a produtividade.

As empresas tenderão a avaliar seus projetos com muito mais segurança e com muito mais freqüência à medida que os custos de prototipagem forem reduzindo, recorrendo muito mais aos protótipos. Muitas empresas evitavam a utilização da prototipagem devido ao tempo e ao custo que estavam associados com a manufatura de protótipos e estes eram então utilizados somente nas últimas etapas do processo de desenvolvimento de um produto. A prática, em muitos setores, era fazer um protótipo completo somente antes da produção em série. A introdução das tecnologias RP promoveu um grande avanço neste sentido.

Cada dia estão sendo descobertos mais materiais compatíveis com estes sistemas e que se aproximam dos materiais utilizados nas peças finais: os protótipos poderão ser cada vez mais

utilizados para testes prévios das peças quanto à funcionalidade, aerodinâmica, usinabilidade, resistência, etc.

Os equipamentos atuais de RP podem ser ainda melhorados, quanto à rapidez de produção, facilidade de instalação, dimensão, etc. Com estas mudanças será possível trabalhar em ambiente de escritório com estes equipamentos (o que já é possível com as ditas "impressoras 3D") e futuramente, popularizá-los, caso reduzam-se os preços, como hoje são populares as impressoras.

Outra questão interessante seria a composição de vários materiais numa única peça (já estão sendo feitos diversos estudos neste sentido (Kruth, J., -P; Leu, M., C.; Nakagawa, T, 1998) sem a necessidade de montagens. Caso haja uma coesão entre os materiais "vizinhos" poderão ser evitadas quebras de continuidade na peça, o que seria interessante para o caso de vedações, por exemplo.

O Brasil possui um mercado a ser explorado e que pode comportar-se, embora defasado e com um volume de negócios menor, de forma análoga aos mercados dos EUA, Europa e Japão. Uma barreira a ser vencida é o preconceito existente nos empresários com relação a investimentos em pesquisa e desenvolvimento de produtos que costumam ser investimentos a longo prazo. Outra dificuldade é o fato de muitas empresas ainda não trabalharem habitualmente com CAD. A tecnologia RP poderia começar a ser mais utilizada por outros setores diferentes do da indústria, como para maquetes de arquitetura e para a.

Enfim, há ainda muito a ser pesquisado sobre este sistema de produção e sobre sua utilização ótima dentro de cada etapa do desenvolvimento de produtos de uma empresa.

7. REFERÊNCIAS

- Ferreira, A. C.; Lafratt, F. H., 1998, "Conheça alguns meios para a obtenção de protótipos de peças injetadas", Revista Plástico Industrial, Setembro, pp 24-30.
- Hock, S.; Kneisel, T., 1996 "A prototipagem rápida é o caminho mais curto para a fabricação de peças", Revista Máquinas e Metais, Julho, pp.24-35.
- Kaminski, P. C., 1999 "Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade", Livros Técnicos e Científicos Editora S. A..
- Kruth, J., -P; Leu, M., C.; Nakagawa, T, 1998 "Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping", Annals of the CIRP Vol. 47/2, pp 525-540.
- Tidd, J.; Bessant, J.; Pavitt, K., 1997 "Managing Innovation: integrating, market, and organizational change", Chichester, John Wiley & Sons Ltd., pp250-261.
- Volpato, N., 1999, "Prototipagem rápida / ferramental rápido no processo de desenvolvimento de produto", Revista Máquinas e Metais, Junho, pp. 76-89.
- Wohlers, T., 1999 "Rapid Prototyping & Tooling State of the Industry: 1999 World Wide Progress Report", Wohlers Associates, Inc., apud (<http://www.wohlersassociates.com/99state.htm>).
- Wohlers, T., 1998 "Rapid Prototyping & Tooling State of the Industry: 1998 World Wide Progress Report", Fort Collins, Wohlers Associates, Inc..
- Wohlers, T, 1996 "Rapid Guide to Rapid Prototyping", Minneapolis, Wohlers Associates, Inc., pp 1-11.
- Yogui, R.; Otênio, D., 1998, "Do Projeto à Prototipagem", São Paulo, CADware® Publishing & Internet, Revista Cadware Technology, Ano III, nº 10, Nov/Dez.