



# PROTOTIPAGEM RÁPIDA POR IMPRESSÃO 3D COM RESINAS FOTOCURÁVEIS: UMA ANÁLISE SOBRE AS TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS NO MERCADO NACIONAL

Gean V. Salmoria<sup>1</sup>, Manoella R. Cardenuto<sup>1</sup>, Carlos H. Ahrens<sup>1</sup>, Fernando Lafratta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CIMJECT – Depto de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina -UFSC - [gsalmoria@cimject.ufsc.br](mailto:gsalmoria@cimject.ufsc.br) , [manoella@cimject.ufsc.br](mailto:manoella@cimject.ufsc.br), [cha@cimject.ufsc.br](mailto:cha@cimject.ufsc.br), [lafratta@cimject.ufsc.br](mailto:lafratta@cimject.ufsc.br).

*Rapid prototyping, 3D printing, Photosensitive resins*

Abstract :

This work presents an evaluation of the 3D printing technologies available in Brazil. The Rapid prototyping by 3D printing using photosensitive resins reveals to be a process that allows the manufacturing of prototypes and parts with complex and detailed geometries built before only by stereolithography. These technologies of rapid prototyping fabricate with accuracy and repeatability, minimizing stairs effect that is common in complex geometries manufactured by rapid prototyping processes. The minimization of the effect stairs is caused due to reduction layer thicknesses providing models with high quality with layers of 0.016mm, fine parts with low roughness, and walls with thickness below of 0.6mm, depending on its geometry. Moreover, the three-dimensional printing using photosensitive resins is a clean and simple process of easy operation, it do not requires post-cure process and offer depending on the resin composition a large range of mechanical properties to its prototypes.

## Introdução

A escolha de uma tecnologia para a construção rápida de protótipos ou peças é uma tarefa nem sempre simples. Vários aspectos além do econômico devem ser considerados durante a escolha. O conhecimento sobre princípios básicos envolvidos nos diferentes processos e sobre características como tipo de material e qualidade das peças fabricadas é fundamental.

A prototipagem rápida por Impressão 3D é um processo semelhante à impressão em impressoras comuns onde um cabeçote jorra a tinta sobre o papel. Nos equipamentos de impressão tridimensional o modelo é feito em um sistema CAD e em seguida transportado para o sistema CAM da máquina onde é fatiado, processo semelhante para qualquer tipo de equipamento de prototipagem rápida. Em seguida um cabeçote contendo resina ou aglutinante (dependendo do processo), jorra o respectivo material na bandeja do equipamento construindo assim o protótipo [1].

Algumas empresas chamam também de *3D printing* um processo semelhante de prototipagem rápida o FDM (modelagem por fusão e deposição). No FDM, um filamento termoplástico de aproximadamente 1,6 mm no diâmetro, é desenrolado de uma bobina até

uma matriz de extrusão. A matriz é aquecida para fundir o termoplástico, e um sistema mecânico permite que a vazão do material seja controlada sobre a bandeja na geometria requerida para o objeto. Porém esse processo não é considerado impressão tridimensional uma vez que não é um processo que utiliza jatos para deposição do material e necessita aquecimento e derretimento do polímero para que ocorra a deposição das camadas do protótipo [2].

Atualmente no mercado existem três companhias que produzem equipamentos para prototipagem rápida por impressão 3D: a Z Corporation, a Objet Geometrics e a 3D Systems.

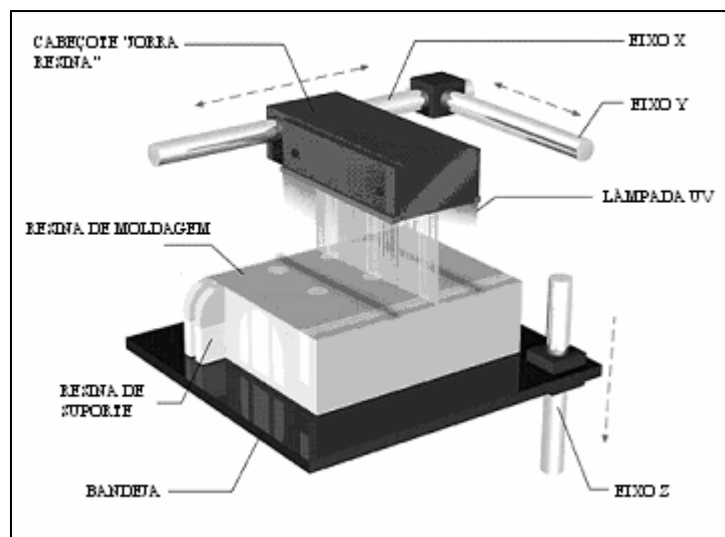
As impressoras 3D da Z Corporation utilizam uma tecnologia de pó-aglutinante. A tecnologia se baseia em uma impressora que espalha uma camada fina de pó, em seguida, o cabeçote imprime um aglutinante em cima da camada de pó que acabou de ser depositada. Posteriormente, um pistão desce sobre o material, fazendo uma prensagem na camada, deixando a superfície lisa e pronta para receber a camada seguinte. Uma vez que a peça é terminada, está cercada e suportada pelo pó que não foi aglutinado, que é retirado e utilizado novamente na produção de outra peça.

Já as impressoras da Objet Geometrics e da 3D Systems utilizam em seu processo resinas líquidas fotossensíveis à radiação UV o que possibilita a obtenção de protótipos mais detalhados e precisos [3-9].

### **Impressão 3D com Resina Fotossensível**

A Objet Geometrics foi à primeira companhia a trabalhar, com sucesso, com polímeros fotocuráveis. Em 2000 o desenvolvimento da tecnologia Polyjet permitiu a produção rápida de protótipos de variados tamanhos, modelos complexos e de alta qualidade [3].

O princípio de funcionamento da máquina baseia-se no seguinte: a partir de um modelo no sistema CAD é feito o projeto 3D do modelo a ser confeccionado. Esse projeto é então convertido para sistema CAM da máquina que pode gerar arquivos STL ou SLC (este último para o mercado de jóias), onde é “fatiado” em camadas. Oito “cabeçotes” depositam simultaneamente quantidades idênticas da resina de construção (polímero fotossensível e material para suporte) na bandeja a cada passagem ao longo do eixo X, formando assim uma camada fina de resina (aproximadamente 0.016mm). Os irradiadores UV localizados ao lado dos jatos imediatamente curam e endurecem cada camada (Figura 1).



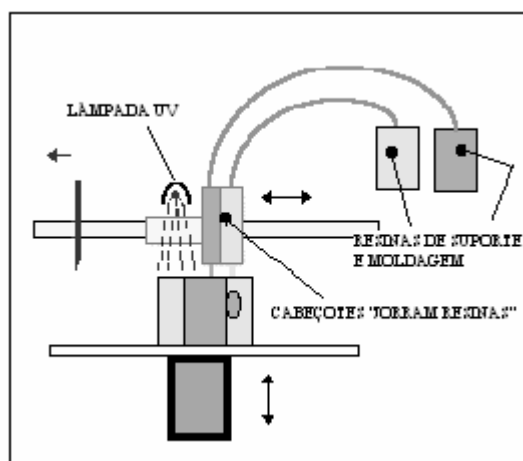
**Figura 1** — Processo de Impressão 3D pela Objet [3]

Quando a primeira camada já está devidamente curada a bandeja se movimentada para baixo ao longo do eixo Z e dá-se início a construção de uma nova camada; esse processo ocorre sucessivamente até que o modelo esteja pronto. Uma das vantagens da Objet está no fato que conseguir uma espessura de camada de aproximadamente 0.016mm, paredes e detalhes finos com aproximadamente 0.6mm, dependendo da geometria do modelo.

As impressoras da Objet denominadas Eden™ são disponibilizadas em cinco modelos diferentes que irão diferenciar-se apenas no tamanho da câmara de fabricação e no tipo de material de suporte [3].

A tecnologia da 3D Systems usa como material de construção uma resina líquida fotossensível e uma cera como material de sustentação que é mantida em estado líquido em temperatura elevada no devido reservatório. O processo se assemelha ao processo da Objet. O projeto é feito em um CAD e em seguida transportado e transformado para o arquivo específico da máquina. As cabeças jorram gotas minúsculas dos materiais formando a primeira camada do objeto. As cabeças são controladas jorrando as gotas somente nos lugares onde são requeridas. A resina de construção é curada com a radiação UV assim que é depositada na bandeja e a cera seca conforme a sua temperatura diminui. Após o término da primeira camada a bandeja é abaixada à mesma espessura da camada e a camada seguinte será começada.

As impressoras da 3D Systems são chamadas de Invision™ e estão disponíveis em dois modelos diferentes que variam apenas no tipo de resina que suportam. A Figura 2 apresenta o esquema de funcionamento de uma impressora 3D Invision [4].



**Figura 2** – Processo de Impressão 3D Invision [11].

Ambas as tecnologias de impressão 3D com resina fotossensível não requerem um processo adicional de pós-cura, ou seja, os protótipos já saem da máquina prontos e totalmente curados.

Os materiais de suporte utilizados na construção de superfícies com geometrias complexas e eventuais vazios no protótipo são removidos posteriormente por processos diferentes para cada tecnologia. A Objet utiliza uma resina conhecida como FullCure® 705 é de fácil remoção utilizando apenas jato de água para sua completa remoção. A 3D Systems trabalha com uma cera, VisiJet S100, de sustentação o que requer um processo um pouco mais trabalhoso para sua remoção. Esta cera é retirada da peça final com calor, ou seja, a cera precisa ser derretida para que possa ser retirada completamente.

As vantagens da impressão tridimensional são o fato de ser um processo limpo com fácil remoção do suporte, rápido por não requerer uma etapa seguinte de pós-cura como no caso da prototipagem rápida por Estereolitografia [10-12], versátil com uma significativa variedade de resinas que permitem modelos com cores e propriedades diferenciadas, em alguns casos permite a produção, dependendo do tamanho, de várias peças ao mesmo tempo diminuindo o custo e o tempo de produção.

## **Resinas Fotossensíveis para Impressão 3D**

Os materiais da Objet são polímeros líquidos a base de acrílico e epóxi que curam com a presença de radiação ultravioleta e oferecem uma escolha variada da cor, propriedades

mecânicas e incluem o material de sustentação para geometrias complexas. Isto proporciona uma flexibilidade máxima para criar os modelos de alta resolução.

A Objet oferece cinco linhas de materiais diferentes: FullCure® 720, resinas Vero, resinas Tango, FullCure® Hearing Aid e a resina de sustentação FullCure® 705.

A resina FullCure® 720 é o material base do Objet sendo o mais o mais comum e mais utilizado. É um fotopolímero de acrílico translúcido, é utilizado em uma grande variação de modelos rígidos, principalmente quando é necessária uma visibilidade do fluxo interno ou dos detalhes internos do protótipo.

Os materiais da linha Vero são disponibilizados em três cores diferentes: azul, branco e preto. É um material opaco que proporciona melhor visualização dos detalhes, com propriedades mecânicas melhoradas para suportar dobras.

As resinas da linha Tango que são disponíveis nas cores preta e cinza, são materiais flexíveis particularmente ideais para muitas aplicações de eletrônica, sapatos, brinquedos, aplicações industriais gerais. As resinas Tango oferecem um grau de deformação antes da ruptura muito elevado. Ambos os produtos permitem uma sensação realística da borracha/silicone, e ajustam-se facilmente em outras peças.

As tabelas 1 e 2 apresentam a composição às propriedades, respectivamente, das resinas para impressão 3D da Objet.

**Tabela 1** – Composição de algumas resinas fotocuráveis da Objet [7].

Composição	FullCure® 720	FullCure® 970 TangoBlack	FullCure® 870 VeroBlack
Monomero de acrílico	< 40%		15 - 30%
Fotoiniciador	< 1%	< 1%	< 5%
Epoxi Acrilato	1 - 20%		< 15%
Acrilato oligomer	1 - 20%	< 20%	< 15%
uretano acrilato oligomer	1 - 20%	< 20%	15 - 30%
exo - 1,7,7 - trimethylbicyclo [2.2.1] hept - 2-yl acrilato	< 40%	< 25%	15 - 30%
resina de poliuretano		< 25%	
metacrilato oligomer		< 25%	
[2-[1,1-dimethyl-2-[(1-oxoallyl)oxi]ethyl]-5-ethyl-1,3-dioxan-5-yl] methyl acrilate			< 15%

**Tabela 2** – Propriedades de algumas resinas fotocuráveis da Objet [8].

Resina	FullCure® 720	FullCure® 870 VeroBlack	FullCure® 970 TangoBlack
Cor	Transparente (âmbar)	Preta	Preta
Densidade (g/cc)	1,092	n/a	n/a
Resistência à tração (MPa) ASTM D - 638	60,3	49,8	
ASTM D - 412			2
Módulo de elasticidade (MPa) ASTM D - 638	2870	2495	n/a
Deformação (%) ASTM D - 638	15 - 25	15 - 25	
ASTM D - 412			47,7
Resistência à flexão (MPa) ASTM D - 790	75,8	74,6	n/a
Módulo de flexão (MPa) ASTM D - 790	1718	2137	n/a
Impacto Izod com entalhe (J/m) ASTM D - 256	39,6	37,5	n/a
Dureza Shore ASTM D - 2240	83D	83D	61A
Resistência à compressão (MPa) ASTM D - 695	84,3	n/a	
ASTM D - 395			0,8
Temperatura de transição vítrea DMA, E''	48,7	58	
DSC (-80 até 100°C)			-10,7

Recentemente a Objet criou uma linha nova de resinas a linha de resinas Hearing Aid, que inclui três resinas diferentes que foram projetadas especialmente para as necessidades originais dos dispositivos auditivos. A linha é disponível em três cores: branco transparente, rosa claro e cor da pele.

As resinas da linha VisiJet são resinas a base de acrílico com cura através de radiação UV. A linha é dividida em três resinas diferentes: VisiJet® SR200, VisiJet® HR200 e a resina de sustentação VisiJet® S100. A resina da linha SR200 é um material branco translúcido, rígido e durável. A linha HR200 é um pouco mais flexível utilizado para prototipagem principalmente de modelos para jóias e peças pequenas com muitos detalhes. As tabelas 3 e 4 apresentam a composição às propriedades, respectivamente, das resinas para impressão 3D da 3D Systems.

**Tabela 3** – Composição das resinas fotocuráveis da 3D Systems [9].

Composição	VisiJet® HR 200	VisiJet® SR 200
Triethylene glycol dimethacrylate ester	45 - 55%	45 - 55%
Urethane acrylate polymer	35 - 45%	35 - 45%

**Tabela 4** – Propriedades das resinas fotocuráveis da 3D Systems [10].

Resina	VisiJet® SR 200	VisiJet® HR 200
Cor	Branca ou azul	Azul
Densidade (g/cc)	1,02	1,02
Resistência à tração (MPa) ASTM D - 638	34	32
Módulo de elasticidade (MPa) ASTM D - 638	1772	1724
Deformação (%) ASTM D - 638	7,3	12,3
Resistência à flexão (MPa) ASTM D - 790	52	45
Módulo de flexão (MPa) ASTM D - 790	1789	1551

## Conclusões

O processo de prototipagem rápida por impressão tridimensional em resinas fotossensíveis, a base de polímeros acrílicos e uretanos com diferentes propriedades mecânicas, mostra-se ser um processo que permite executar a fabricação de protótipos e peças com geometrias complexas e acabamentos detalhados antes somente fabricáveis por estereolitografia. Estas tecnologias de prototipagem rápida permitem a fabricação com elevada exatidão e repetibilidade, minimizando o efeito de escada que é comum em superfícies curvadas complexas fabricadas por prototipagem rápida. A minimização do efeito escada é causada devido à diminuição das espessuras de camada proporcionando modelos com uma qualidade acima da concorrência: produz modelos com camadas de 0.016mm, peças com muito baixa rugosidade, e paredes finas com espessura abaixo de 0.6mm, dependendo da sua geometria. Além disso, a impressão tridimensional em resinas fotossensíveis é um processo limpo, simples, de fácil operação e sem necessidade de pós-cura, o que o torna um processo ainda mais rápido. Em particular a tecnologia de impressão 3D em resinas fotossensíveis que realiza a remoção da resina de sustentação com jato de água deixando o modelo exato e sem qualquer rebarba destaca-se em muito por esta facilidade.

## Agradecimentos

Os autores agradecem FAPESC, CAPES, CNPq e FINEP pelo suporte financeiro.

## Referências Bibliográficas

- [1] P. F. Jacobs, *Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography*, Society of Manufacturing Engineers, Michigan, 1992.
- [2] J. A. Foggiatto, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- [3] Objet. Disponível em: <http://www.2objet.com>. Acesso em abril de 2007.
- [4] 3D Systems. Disponível em: <http://www.3dsystems.com>. Acesso em abril de 2007.

- [5] Prototipagem Rápida – Conceitos. Disponível em: <http://home.att.net/~castleisland>. Acesso em abril de 2007.
- [6] Resinas FullCure® Safety Data Sheet. Disponível em: <http://www.redeyerpm.com/Materials.aspx>. Acesso em março de 2007.
- [7] Resinas FullCure® Data Sheet. Disponível em: [http://www.2objet.com/Portals/0/docs/Letter/FullCure\\_Letter.pdf](http://www.2objet.com/Portals/0/docs/Letter/FullCure_Letter.pdf). Acesso em Março de 2007.
- [8] Resinas VisiJet® Safety Data Sheet. Disponível em: [http://www.3dsystems.com/techsupport/sla/sla\\_materials.asp?nav=techsupport\\_materials\\_msds](http://www.3dsystems.com/techsupport/sla/sla_materials.asp?nav=techsupport_materials_msds). Acesso em março de 2007.
- [9] Resinas VisiJet® Data Sheet. Disponível em: <http://www.3dsystems.com/products/solidimaging/visijet/datasheets.asp>. Acesso em março de 2007.
- [10] G. V. Salmoria; V. Velasques; C. H. Ahrens; V. Soldi; A. T. N. Pires. *Journal of Materials Processing Technology*. 2005, 168, 164-171.
- [11] G. V. Salmoria; C. H. Ahrens; A. T. N. Pires; G. A. Fernandes. *Plástico Industrial*. 2004, 72, 128-134.
- [12] G. V. Salmoria; C. H. Ahrens; M. Fredel, V. Soldi; A. T. N. Pires. *Polymer Testing* Vol. 24, Issue 2, pp. 157-162, Abril, 2005.