

ANÁLISE DE MERCADO SOBRE TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA POR ADIÇÃO DE MATERIAL

Marcelo Pinto Pradella
Centro Universitário Ritter dos Reis
marcelo_pradella@uniritter.edu.br

Luis Fernando Folle
Centro Universitário Ritter dos Reis
luis_folle@uniritter.edu.br

Resumo: Neste estudo será feito um resumo dos principais produtos presentes no mercado de Sistemas de Impressão 3D, o que existe em termos de tecnologia de ponta em equipamentos, bem como materiais e insumos. Será feito um apanhado no mercado das tecnologias mais usadas, dos materiais de consumo, das finalidades de uso e dos valores aproximados aplicados. Os dados para esse estudo e análise foram coletados a partir do ano de 2010. Será feito também, uma análise de qual equipamento terá o melhor custo benefício para a maioria das aplicações de Design de produto, visto que algumas tecnologias apresentam uma variedade enorme de possibilidades de uso com as maiores precisões dimensionais do mercado, mas que são demasiado caras para pequenas empresas.

Palavras-chave: Prototipagem Rápida, pesquisa de mercado, design de produto, Impressão 3D.

Abstract: In this study, the authors make a summary of the main products present in the market of 3D Printing Systems, which exists in terms of high end technology, equipment and materials. An overview will be made in the market of the most used technologies, consumables, purposes of use and approximate values applied. Data and analysis for this study were collected from the year 2010 to the present day. Will also be made, an analysis of what equipment are more cost effective for most applications of product design, since some technologies have a huge range of possibilities for use with larger dimensional accuracies, but are too expensive for small businesses.

Keywords: Rapid prototyping, market research, product design, 3D printing.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a abertura de mercados locais para a competição mundial tem levado a uma mudança fundamental no desenvolvimento de novos produtos. A fim de permanecer competitivos, os fabricantes devem ser capazes de alcançar e sustentar a si mesmos no mercado mundial. Os fabricantes devem ser capazes de fornecer produtos para cumprir a satisfação total dos clientes, mantendo alta qualidade com tempo de entrega curto a custos razoáveis, sem deixar de se preocupar com o meio ambiente e cumprir todos os requisitos de segurança.

Em muitas áreas, há grande incerteza se um novo projeto vai realmente cumprir o que é desejado. Os projetos novos, muitas vezes têm problemas inesperados. Protótipos são frequentemente utilizados como parte do processo de design de produto para permitir que engenheiros e designers tenham a capacidade de explorar alternativas de projeto, fazer teste e confirmar o desempenho antes da produção de um novo produto. Nesse sentido os protótipos servem para adaptar as incógnitas específicas ainda presentes no desenho pretendido.

Os protótipos constituem um auxílio visual excelente durante a discussão prévia do projeto com colaboradores ou clientes. Além disso, o protótipo pode permitir testes prévios como, por exemplo, ensaios em túnel de vento para componentes aeronáuticos ou análise fotoelástica para se verificar pontos de concentração de tensões na peça. A verdade é que os projetistas sempre construíram protótipos; os processos de prototipagem rápida permitem que eles sejam feitos mais depressa e de forma mais barata. De fato, estima-se que a economias de tempo e de custos proporcionada pela aplicação das técnicas de prototipagem rápida na construção de modelos sejam da ordem de 70 a 90%. (GORN, 2001)

2. DESENVOLVIMENTO

O termo Prototipagem Rápida, ou chamado de Manufatura Aditiva no caso de máquinas que adicionam camadas, designa um conjunto de tecnologias usadas para se fabricar objetos físicos diretamente a partir de fontes de dados gerados por sistemas de projeto auxiliado por computador (CAD). Tais métodos são bastante peculiares, uma vez que eles agregam e ligam materiais, camada a camada, de forma a constituir o objeto desejado. Eles oferecem diversas vantagens em muitas aplicações quando comparados aos processos de fabricação clássicos baseados em remoção de material, tais como fresamento ou torneamento. (GORN, 2001)

Todas as técnicas de Prototipagem Rápida (Rapid Prototyping, RP) empregam o mesmo processo básico de 5 passos, conforme Figura 1: Criação de um modelo de (Processo Aided Design, CAD) do projeto (Figura 1a) Conversão do modelo de (Processo Aided Design, CAD) para um formato STL (Figura 1b) Fatiamiento do arquivo STL em camadas finas de seção transversal (Figura 1c-e) Construção do modelo de camada sobre camada (Figura 1f) Limpeza e acabamento do modelo.

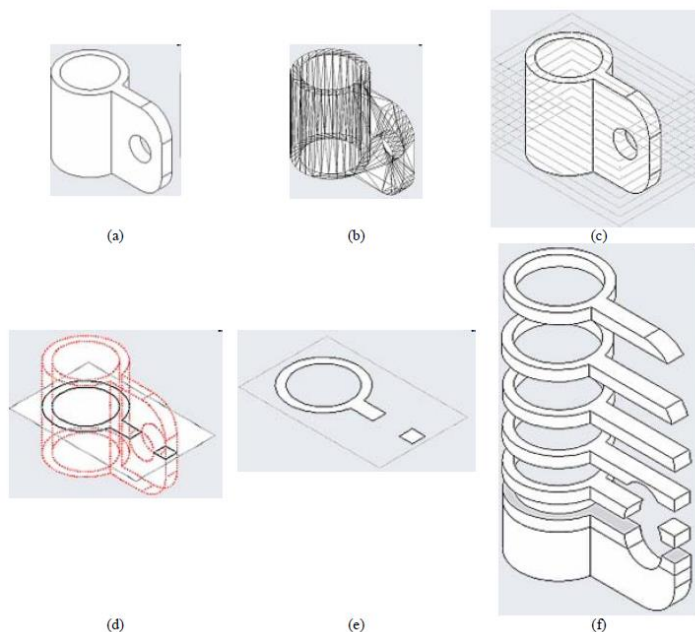


Figura 1: Representação das principais etapas do processo de manufatura por camada.

Fonte: Revista *Matéria*, v. 14, n. 4, pp. 1101 – 1113, 2009
<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo11102>

Existem mais de 20 sistemas de RP (ou Manufatura Aditiva) no mercado que, apesar de usarem diferentes tecnologias de adição de material, estão baseadas no mesmo princípio de manufatura por camadas planas. Os processos de RP atualmente mais importantes, considerando equipamentos instalados e processos promissores, estão descritos brevemente a seguir.

Estereolitografia (SLA, Stereolithography): este processo pioneiro, patenteado em 1986, deflagrou a revolução da prototipagem rápida. Ele constrói modelos tridimensionais a partir de polímeros líquidos sensíveis à luz, que se solidificam quando expostos à radiação ultravioleta (ver Figura 2). O modelo é construído sobre uma plataforma situada imediatamente abaixo da superfície de um banho líquido de resina epóxi ou acrílica. Uma fonte de raio laser ultravioleta, com alta precisão de foco, traça a primeira camada, solidificando a seção transversal do modelo e deixando as demais áreas líquidas. A seguir, um elevador mergulha levemente a plataforma no banho de polímero líquido e o raio laser cria a segunda camada de polímero sólido acima da primeira camada. O processo é repetido sucessivas vezes até o protótipo estar completo. Uma vez pronto, o modelo sólido é removido do banho de polímero líquido e lavado. Os suportes são retirados e o modelo é introduzido num forno de radiação ultravioleta para ser submetido a uma cura completa. Uma vez que a estereolitografia foi a primeira técnica bem sucedida de prototipagem rápida ela se tornou um padrão de avaliação (benchmarking) para as demais, que surgiram (e continuam surgindo) posteriormente. (GORNÍ, 2001)

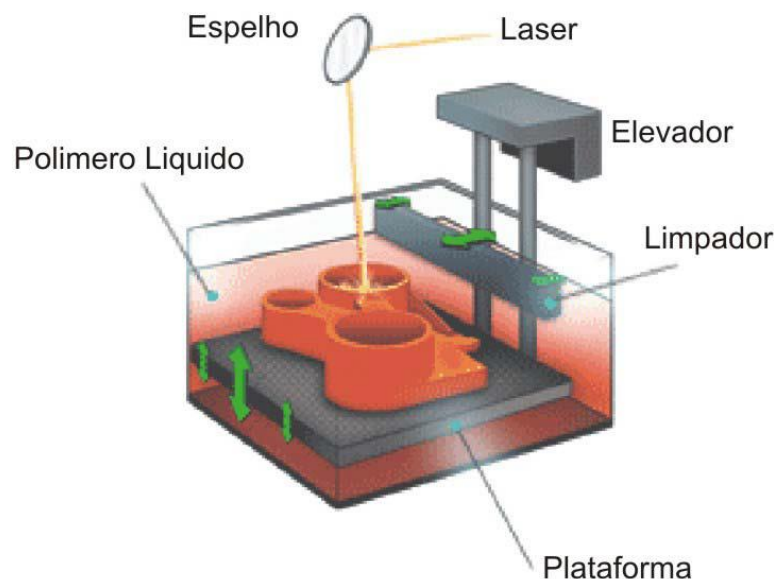


Figura 2: Equipamento e o processo de SLA.
 Fonte: Modificado de 3D System

Manufatura de Objetos em Lâminas (LOM, Laminated Object Manufacturing): nesta técnica camadas de material, na forma de tiras revestidas de adesivo, são grudadas umas nas outras formando-se o protótipo. O material original consiste de bobinas de papel laminado com cola ativada pelo calor. Um rolo coletor avança a tira de papel sobre a plataforma de construção, onde há uma base feita de papel e fita com espuma nas duas faces. A seguir, um rolo aquecido aplica pressão para fixar o papel à base. Uma fonte de raio laser com alta precisão de foco corta o contorno da primeira camada sobre o papel e então quadricula a área em excesso, ou seja, o espaço negativo do protótipo. Esse quadriculado rompe o material extra, tornando fácil sua remoção durante o processamento posterior. Esse material em excesso proporciona um excelente suporte para projeções, saliências e seções com paredes finas durante o processo de construção. Após o corte da primeira camada a plataforma é abaixada, liberando o caminho para que o rolo coletor avance a tira de papel e exponha material novo. Então a plataforma se eleva até um ponto ligeiramente inferior à altura original, o rolo aquecido liga a segunda camada a primeira e a fonte de raio laser corta a segunda camada. Este processo é repetido tantas vezes quantas forem necessárias para construir a peça, a qual apresentará textura similar à de madeira. A Figura 3 ilustra o processo. Uma vez que os modelos são feitos de papel, eles devem ser selados e revestidos com tinta ou verniz para se evitar eventuais danos provocados pela umidade. Os mais recentes desenvolvimentos deste processo permitem o uso de novos tipos de materiais, incluindo plástico e papel hidrófobo. (Gorni), 2001.

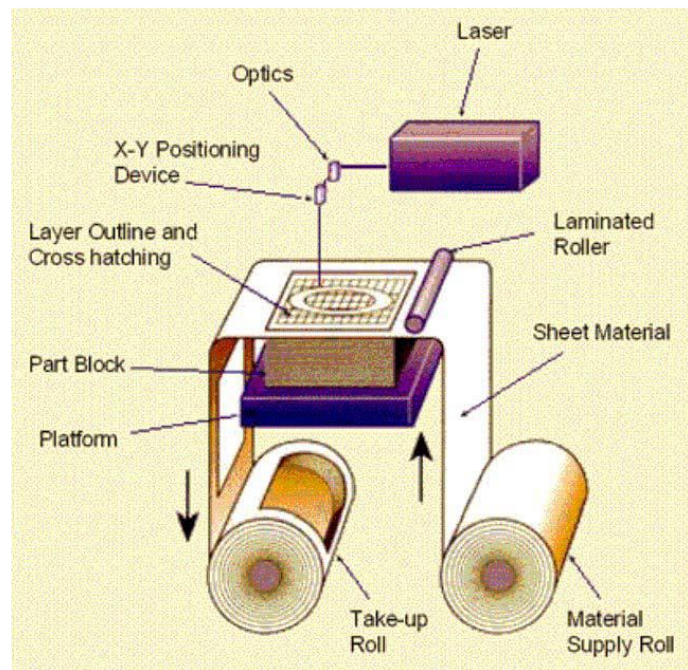


Figura 3: Equipamento e o processo de SLA.

Fonte: Modificado de 3D System

Sinterização Seletiva a Laser (SLS, Selective Laser Sintering): esta técnica, patenteada em 1989, usa um raio de laser para fundir, de forma seletiva, materiais pulverulentos, tais como náilon, elastômeros e metais, num objeto sólido. As peças são construídas sobre uma plataforma a qual está imediatamente abaixo da superfície de um recipiente preenchido com o pó fusível por calor. O raio laser traça a primeira camada, sinterizando o material. A plataforma é ligeiramente abaixada, reaplica-se o pó e o raio laser traça a segunda camada. O processo continua até que a peça esteja terminada. O pó em excesso ajuda a dar suporte ao componente durante sua construção. A Figura 4 ilustra o processo. (GORNÍ, 2001)

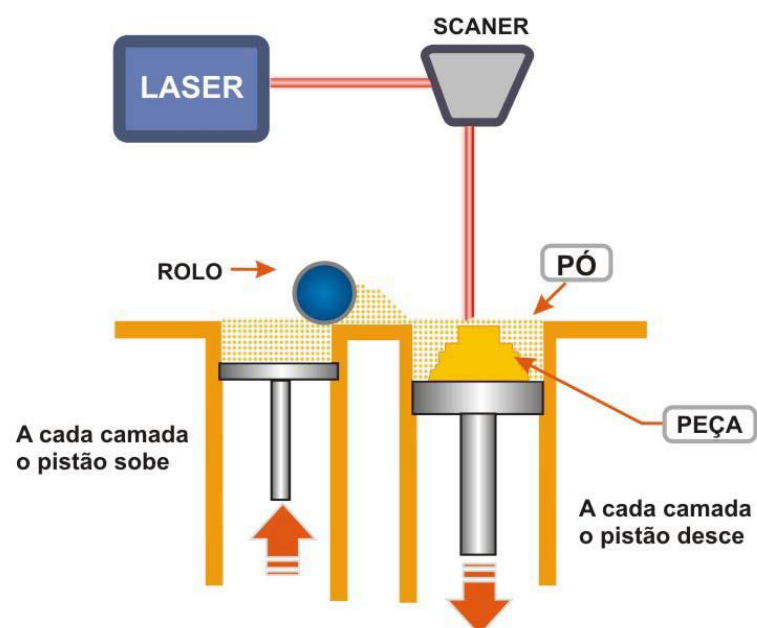


Figura 4 - Equipamento e o processo de SLS.
 Fonte: PINHEIRO (2009)

Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM, Fused Deposition Modeling): aqui filamentos de resina termoplástica aquecida são extrudadas a partir de uma matriz em forma de ponta que se move num plano X-Y. Da mesma maneira que um confeitiro enfeita um bolo usando um saco de confeitaria, a matriz de extrusão controlada deposita filetes de material muito fino sobre a plataforma de construção, formando a primeira camada do componente. A plataforma é mantida sob uma temperatura inferior à do material, de forma que a resina termoplástica endurece rapidamente. Após esse endurecimento a plataforma se abaixa ligeiramente e a matriz de extrusão deposita uma segunda camada sobre a primeira. O processo é repetido até a construção total do protótipo. São construídos suportes durante a fabricação para segurar o protótipo durante sua fabricação. A Figura 5 ilustra o processo. Tais suportes são fixados ao protótipo usando-se um segundo material, mais fraco, ou uma junção perfurada. As resinas termoplásticas adequadas a esse processo incluem poliéster, polipropileno, ABS, elastômeros e cera usada no processo de fundição por cera perdida. (GORNI, 2001)

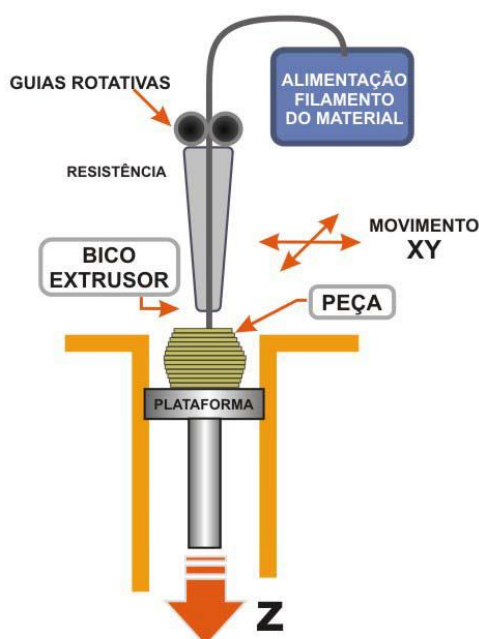


Figura 5 - Equipamento e o processo de FDM.
 Fonte: Stratasys

Impressão por Jato de Tinta (MJT, Multi Jet Modeling): ao contrário das técnicas expostas anteriormente, esta aqui se refere a uma classe inteira de equipamentos que usam a tecnologia de jato de tinta. Os protótipos são construídos sobre uma plataforma situada num recipiente preenchido com material pulverulento. Um cabeçote de impressão por jato de tinta "imprime" seletivamente um agente ligante que funde e aglomera o pó nas áreas desejadas. O pó que continua solto permanece na plataforma para dar suporte ao protótipo que vai sendo formado. A plataforma é ligeiramente abaixada, adiciona-se mais material pulverulento e o processo é repetido. Ao se

terminar o processo a peça "verde" é resinada, removendo-se o pó que ficou solto. A Figura 6 ilustra o processo. (GORNÍ, 2001)

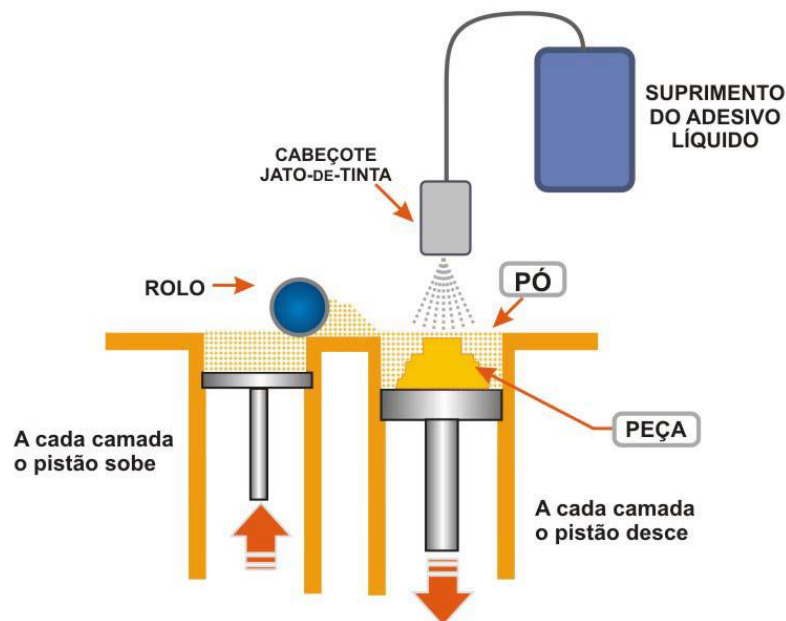


Figura 6 - Equipamento e o processo de 3D Print.

Fonte: ZCorp.

Método da impressão a jato de tinta "PolyJet"

A IJP "PolyJet" utiliza um sistema de jato de tinta para deposição da resina em pequenas gotas sobre uma bandeja. Após a deposição do material, uma luz UV é lançada para cura da camada. A Figura 6 mostra de forma esquemática o princípio de funcionamento deste processo. (SILVA, 2008)

A cabeça de impressão gera o modelo em camadas aplicando a resina de construção e suporte para frente e para trás ao longo do eixo X, similar a uma impressora de jato de tinta, depositando uma camada ultrafina de resina foto sensível sobre a mesa de construção. Imediatamente após cada aplicação de Resina de Construção, as lâmpadas emitem luz UV curando imediatamente as resinas, eliminando assim o processo de cura pós-impressão, necessário em outras tecnologias. O pós-processo para eliminação da resina de suporte é feito com um jato d'água pressurizada.

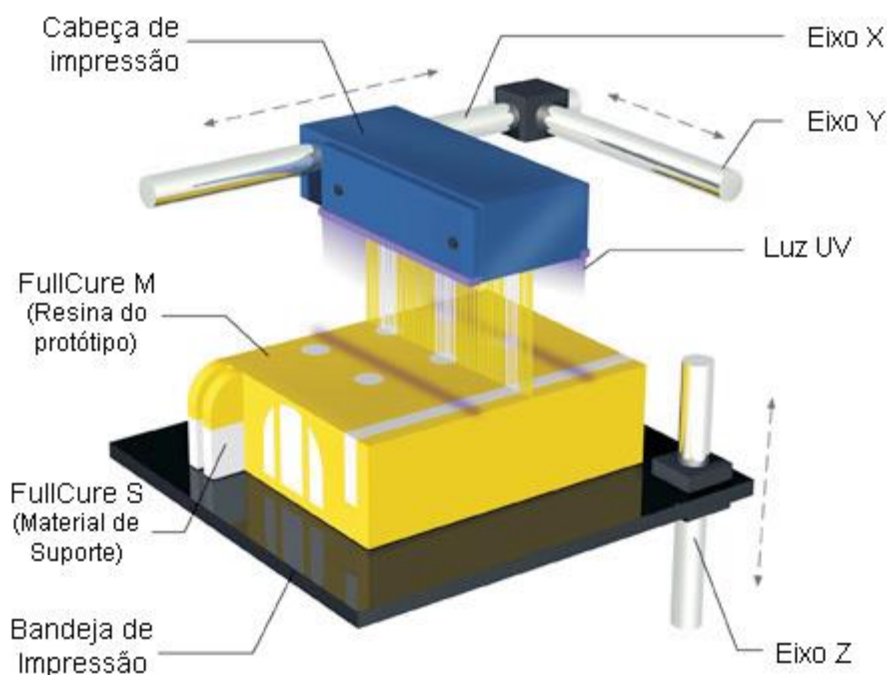


Figura 6 - Equipamento e o processo de 3D Print.
 Fonte: Folheto Institucional Sycad (Objet)

Conformação Próxima ao Formato Final via Laser (LENS, Laser Engineered Net Shaping): processo relativamente novo, que apresenta a vantagem de produzir protótipos de metal plenamente densos, com boas propriedades metalúrgicas e sob velocidades razoáveis de construção. Aqui um gerador de raio laser de alta potência é usado para fundir pó metálico fornecido coaxialmente ao foco do raio laser, através de um cabeçote de deposição. O raio laser passa através do centro do cabeçote e é focado para um pequeno ponto através de uma lente ou conjunto e lentes. Uma mesa X-Y é movida por varredura de forma a gerar cada camada do objeto. O cabeçote é movido para cima à medida que cada camada é completada. A Figura 7 ilustra o processo. O raio laser pode ser conduzido até a área de trabalho através de espelhos ou fibra ótica. Os pós metálicos são fornecidos e distribuídos ao redor da circunferência do cabeçote por gravidade ou através de um gás portador inerte pressurizado. Mesmo nos casos onde não se necessitar de uma corrente de gás para se transportar o pó metálico é necessário ter uma corrente de gás inerte para se proteger a poça de metal líquido do oxigênio atmosférico, de forma a se garantir as propriedades metalúrgicas e promover melhor adesão entre camadas através de melhor molhamento superficial. Podem ser usados pós de diversas ligas metálicas, tais como aço inoxidável, inconel, cobre, alumínio e titânio. A potência do gerador de raio laser varia conforme o material usado, taxa de deposição e outros parâmetros, podendo oscilar desde algumas centenas até 20.000 watts ou mais. Os protótipos produzidos requerem usinagem para acabamento, apresentando densidade plena, boa microestrutura e propriedades similares ou melhores ao metal convencional. (GORN, 2001)

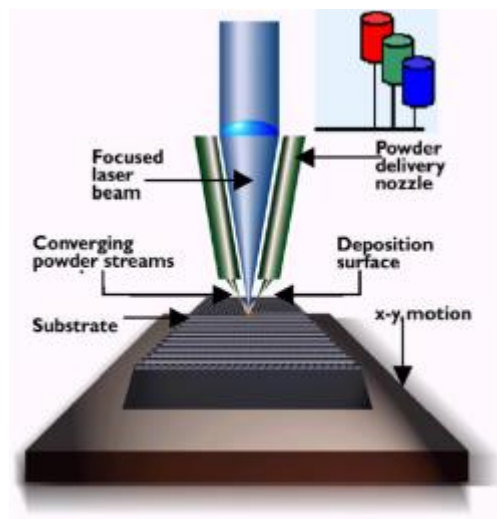


Figura 7 – Equipamento e o processo de 3D Print.

Fonte:

<http://www.rpmandassociates.com/LaserDepositionTechnologyAdvancesAdditiveManufacturingAndRepair.aspx>

2.1 Discussões

Fala-se muito de qual o melhor ou pior modelo de Impressão 3D, ou Prototipagem Rápida no mercado atual, e sabe-se que isso depende da quantidade e o motivo da utilização de tal tecnologia. O quadro comparativo (quadro 1) de tecnologias de Prototipagem Rápida mostra uma relação entre os custos relativos da aquisição da tecnologia, dos insumos e da precisão alcançada. É possível notar que as tecnologias mais caras são aquela que usam laser, isso porque o próprio laser é uma tecnologia cara.

Quadro 1 – Quadro comparativo de tecnologias de Prototipagem Rápida

Tecnologias	SLA	LENS	SLS	FDM	3DP	PolyJet
Custo inicial de aquisição	Alto	Alto	Alto	Médio/Baixo	Médio	Médio
Custo dos insumos	Alto	Não Disponível	Médio	Baixo	Médio	Médio
Precisão	Alta	Baixa	Média	Média/Baixa	Média	Alta

Fonte: Baseado em Revista Matéria, v. 14, n. 4, pp. 1101 – 1113, 2009, <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo11102>

A SLA tem equipamentos de grande porte, aplica laser e são precisas, isso faz com que essa tecnologia seja ainda muito cara. O mesmo acontece com o LENS, pois como ele trabalha com pó metálico, o laser tem que ser muito potente para fundir o material, encarecendo essa tecnologia. Outras tecnologias apresentam custo relativamente baixo em comparação com as tecnologias a laser. A SLS apresenta uma

precisão média em relação a outras, pois usa material em forma de pó, o que limita o tamanho mínimo do protótipo ao tamanho da granulometria do pó.

Algumas empresas, no entanto, como é o caso da Z-Corp, estão investindo alto em equipamentos mais baratos em relação a SLA e LENS com insumos de baixo custo, porém ainda com custo do equipamento relativamente alto. Outras tecnologias, como é o caso da FDM estão sendo exploradas em larga escala, pois tanto o custo do insumo como o da máquina é baixo, onde o objetivo dessas máquinas é alcançar o mercado de consumidores domésticos que não necessitam de alta precisão.

Existem tecnologias, no entanto que surgiram no mercado e algum tempo depois deixaram de ser utilizadas como é o caso da SGC e a LOM. Isso aconteceu provavelmente por duas razões. A primeira está ligada ao desperdício de matéria como no caso da LOM e isso vai de encontro a todas as tendências sociais de diminuir a quantidade de resíduos a serem descartados no ambiente. A segunda está ligada a primeira e se refere aos altos custos desses materiais fazendo com que se gaste muito dinheiro e material para se obter um protótipo. Já no caso da SGC, essa tecnologia deixou de ser explorada provavelmente pelo custo operacional e complexidades inerentes a tecnologia, já que esse tipo de máquina apresentava varias etapas até a construção do protótipo final.

Com o avanço da tecnologia e principalmente de materiais, o ganho se dá diretamente nas áreas médica e odontológica. Com leituras tiradas diretamente dos tomógrafos, pode-se imprimir já, algumas partes do corpo humano, como ossos, cartilagens, veias, tecidos moles, etc, podendo simular alguma anomalia e até mesmo estudar uma cirurgia, prevendo incisões, cortes, vias de acesso, encurtando drasticamente o tempo de uma cirurgia complexa ou enxertando próteses. Existem outras, recém chegando ao mercado, tais como a impressão de órgãos por adição de camadas de células, ou até mesmo de próteses ou órteses de polímeros estéreis.

Outras aplicações fazem uso dessas tecnologias para minimizar os custos de desenvolvimento de produtos como, por exemplo, a fabricante de calçados Timberland, que gastava perto de US\$ 1.200 para criar seus modelos e esperava uma semana pela confecção do protótipo de uma nova sola de sapato e atualmente, com o uso das tecnologias aditivas, ela investe US\$ 35 e uma hora e meia de trabalho para chegar ao mesmo resultado. Há fabricantes que já estão usando essas tecnologia para a confecção de produtos finais escolhidos pelos próprios cliente, como é o caso da linha de sapatos femininos Strvct, da Continuum. No entanto, a popularização das impressoras 3D torna o preço dessas tecnologias cada vez mais barato, segundo Costa (2014), existem impressora 3D hoje no mercado por U\$200,00, sendo que há cinco anos, a mais barata custava cinco vezes mais, para a autora isso se deve a dois fatores: primeiro, as patentes de algumas impressoras 3D já venceram, o que facilita a reprodução por qualquer um; segundo, é o surgimento de um mercado próprio para esses equipamentos, que segundo a autora é composto basicamente pelo mercado industrial.

A Prototipagem Rápida atinge rapidamente vários campos do conhecimento, até em escala macrométrica, como por exemplo, a construção de casas por concretagem de paredes no local da obra e de montagem por partes, fundidas por Prototipagem Rápida na usina e transportadas para posterior montagem no local da obra.

2 CONCLUSÃO

Um dos Processos de Prototipagem Rápida mais atualmente pesquisado é o de adição de camadas, que solidificam-se umas sobre as outras, formando as paredes de um arquivo previamente elaborado por computador. Nesse sentido existem várias técnicas desse processo, a mais antiga é a Esteriolitografica, ou SLA, já descrita neste trabalho. Em um segundo momento, também muito usada devido ao seu baixo custo de operacionalização, está a MJT, Impressão por Jato de Tinta, onde se usa uma cabeça de impressão comum de Impressora Jato de Tinta como cabeça de Impressão para material agregante. Outra tecnologia bastante explorada atualmente é a FDM, pois seu conceito e funcionamento é muito simples e por isso a tecnologia consegue ser barata o suficiente para chegar ao consumidor doméstico, que é uma grande tendência atual. Entretanto, deixando de lado as tecnologias em particular de cada máquina ou empresa fornecedora, pode-se concluir que a Prototipagem Rápida está ganhando muito espaço no cenário econômico mundial. Isso se deve a vários fatores, entre eles o rápido ciclo de desenvolvimento de produto gerado pela alta competitividade das empresas e também pela criação de novos mercados no mundo. Isso tudo vai fazer com que as tecnologias de PR melhorem bastante e se tornem cada vez mais acessíveis a ponto de mudar o perfil da sociedade para que se familiarize com o uso desses equipamentos.

Outro fator importante é a recente fusão, não só de duas empresas líderes de mercado em seus seguimentos, mas de suas tecnologias altamente precisas em termos de acabamento. É o caso da Objet (Israelense) absorvida pela Stratasys (USA), formando uma empresa referencia na área da Prototipagem Rápida, mas, no entanto, elevando consideravelmente os valores dos equipamentos. Com essa fusão, o consumidor ganhou em termos de tecnologia e materiais, podendo, esses equipamentos trabalharem com resinas simulando tanto materiais rígidos como flexíveis no mesmo produto ou protótipo, porém perdeu no custo dos equipamentos da aquisição deles.

REFERÊNCIAS

GORNI, Antonio Augusto, **Introdução à Prototipagem Rápida e seus Processos** – Revista Plástico Industrial, março de 2001.

Gomes, Hélio. **Uma fábrica na sua mesa: Impressoras 3D ficam mais baratas e consolidam a era do "faça-você-mesmo" digital**. Revista IstoÉ. Edição: 2154. 2011
Disponível na internet por [http](http://www.istoe.com.br/reportagens/detalhePrint.htm?idReportagem=124969&txPrint=completo) em: <
[http://www.istoe.com.br/reportagens/detalhePrint.htm?idReportagem=124969&txPri](http://www.istoe.com.br/reportagens/detalhePrint.htm?idReportagem=124969&txPrint=completo)
[nt=completo](http://www.istoe.com.br/reportagens/detalhePrint.htm?idReportagem=124969&txPrint=completo)>. Acesso em 15 ago. 2014

Costa, Melina. **Impressão 3D para as massas**. Revista Exame. Edição: 1071. 2014 Disponível na internet por http em: < <http://exame.abril.com.br/revista-exame/edicoes/1071/noticias/impressao-3d-para-as-massas>>. Acesso em 15 ago. 2014

PINHEIRO. Felipe **Locatelli**, Proposta Metodológica Para Determinação da Técnica a ser Utilizada na Fabricação de Ferramental Rápido: Um Estudo de Caso na Concepção do Molde Protótipo para Injeção Plástica. Curitiba, 2008.

SILVA, **Guilherme** Canuto da, Prototipagem Rápida e ferramental rápido aplicados à peças utilizadas em ensaios estáticos de embalagens para acondicionamento e transporte de peças automotivas– SP – São Paulo – 2008

VOLPATO, Neri, **Prototipagem Rápida: Tecnologia e Aplicações**, São Paulo: Editora Blucher, 2007. 244p.

Material publicitário da empresa Objet – www.objet.com – 27/05/2010

Material publicitário da empresa Objet - <http://anacom.com.br/designcenter/>- acessado em 13/05/2014

Material publicitário da empresa Sycad – www.sycad.com.br - representante dos equipamentos Objet.

Material publicitário da empresa Mc Gnity – representante dos equipamentos Z Corp - www.zcorp.com - acessado em 09/09/2012

Material publicitário da empresa Z Corporation – www.zcorp.com – acessado em 13/05/2014

Material publicitário da empresa SKA – www.ska.com.br – representante dos equipamentos SD 330 Pro. – acessado em 09/04/2010

Material publicitário da empresa Novadidacta – www.novadidacta.com.br - representante dos equipamentos Dimension. acessado em 13/05/2014

Material publicitário da empresa Sisgraph – www.sisgraph.com.br - Representante dos equipamentos Fortus 400 mc – acessado em 05/05/2010

Material didático do site <http://www.ic.polyu.edu.hk/> - acessado em 09/09/2012

Material publicitário da empresa Continuum - <http://continuumfashion.com/shoes.php>- acessado em 15/08/2012