

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LEONARDO AUGUSTO MORAES DABAGUE

O PROCESSO DE INOVAÇÃO NO SEGMENTO DE IMPRESSORAS 3D

CURITIBA
2014

LEONARDO AUGUSTO MORAES DABAGUE

O PROCESSO DE INOVAÇÃO NO SEGMENTO DE IMPRESSORAS 3D

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Econômicas, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Paulo Fuck

CURITIBA
2014

TERMO DE APROVAÇÃO

LEONARDO AUGUSTO MORAES DABAGUE

O PROCESSO DE INOVAÇÃO NO SEGMENTO DE IMPRESSORAS 3D

Monografia aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Marcos Paulo Fuck
Setor de Ciências Sociais Aplicadas
Universidade Federal do Paraná

Prof. Adriana Sbicca Fernandes
Setor de Ciências Sociais Aplicadas
Universidade Federal do Paraná

Prof. Adilson Antônio Volpi
Setor de Ciências Sociais Aplicadas
Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 09 de junho de 2014

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer imensamente aos meus pais e a minha irmã por terem me apoiado durante toda minha trajetória de vida e terem sido decisivos para todas as minhas conquistas.

Também deixo meu agradecimento aos amigos guerreiros que dividiram as salas do conhecimento comigo, na alegria e na tristeza.

Ao professor Marcos Paulo Fuck, meu orientador e corajoso professor que suportou todos os pensamentos entusiastas e foi decisivo para que este trabalho fosse concluído com sucesso.

*Quando uma criatura humana desperta para um grande sonho e sobre ele lança
toda a força de sua alma, todo o universo conspira a seu favor*

Goethe, J.

RESUMO

A tecnologia de impressão tridimensional foi desenvolvida há mais de 25 anos nos Estados Unidos. A análise de sua trajetória de difusão apresenta-se interessante na medida em que os impactos econômicos projetados para esta inovação estejam em centenas de bilhões de dólares anuais, a nível global, a partir de 2025. O mercado existente hoje para esta tecnologia é amplo e o padrão de difusão observado é distinto com base no segmento de mercado. Por um lado, as impressoras 3d industriais influenciam a estrutura básica de manufatura ao reduzir custos, encurtar prazos, aprimorar e modificar processos existentes. Disponíveis primariamente para grandes firmas com alto poder aquisitivo e laboratórios de P&D, a velocidade de difusão é relativamente lenta. Por outro lado, as impressoras 3d de uso pessoal se difundem tardiamente em relação à esta tecnologia como um todo devido ao desenvolvimento, na última década, de tecnologias complementares como a microeletrônica e as redes sociais. A velocidade de difusão deste segmento é, porém, expressiva nos últimos 3 anos, com uma taxa média de crescimento de 300% ao ano. Além disso, a impressora 3d pessoal possui um padrão de difusão intimamente ligado à aprendizagem interativa, dando origem a plataformas online de troca de conhecimento e de compartilhamento de *softwares* e *hardwares* de código aberto para o aperfeiçoamento conjunto. A combinação de todos estes fatores gera um indício de formação de um novo sistema tecnológico em fabricação aditiva, com consequências interessantes para o dinamismo da fabricação tradicional.

Palavras chave: Impressão 3d, Difusão Tecnológica; Economia da Inovação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 A IMPRESSORA 3D	10
2.1 A INVENÇÃO	10
2.2 AS DIFERENTES TÉCNICAS E SUAS CARACTERÍSTICAS	12
2.3 APLICAÇÕES	14
3 REVISÃO CONCEITUAL	17
3.1 TEORIA EVOLUCINÁRIA DA INOVAÇÃO.....	17
3.2 OS TIPOS DE INOVACAO: CORRENTE EVOLUCIONÁRIA	20
3.3 CLASSIFICAÇÃO INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO	23
3.4 CURVA DE ADOÇÃO DE TECNOLOGIA	25
4 A INOVAÇÃO DAS IMPRESSORAS 3D	29
4.1 A PRIMEIRA FASE: PROTÓTIPOS E MODELOS.....	29
4.2 A SEGUNDA FASE: FABRICAÇÃO DIRETA.....	32
4.3 A TERCEIRA FASE: A IMPRESSORA 3D PESSOAL	35
5 CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS.....	43
ANEXO A – LISTA DE FABRICANTES DE IMPRESSORAS (FDM E FFF)	47

1 INTRODUÇÃO

O século XX assistiu a um aceleração no ritmo de adoção das inovações tecnológicas e descobertas científicas (FORBES, 2012). O rádio, por exemplo, iniciou sua propagação na primeira metade do século XX, e demorou aproximadamente 50 anos para conquistar os lares norte-americanos. Enquanto os telefones celulares, que começaram a se propagar nos anos 80, precisaram somente da metade deste tempo para alcançar 85% de adesão dos norte-americanos (FELTON, 2008).

Também na década de 1980 foi inventada uma nova forma de fabricação de objetos tridimensionais, diferente da forma subtrativa ou tradicional conhecida e utilizada até então. Passados mais de 25 anos, a propagação das impressoras tridimensionais não chega nem próximo a dos celulares observada por Felton. Apesar da difusão da impressão tridimensional não ter obtido o mesmo desempenho que os aparelhos celulares, seus impactos econômicos a partir de 2025, estão estimados entre US\$230 – US\$ 550 bilhões por ano (MCKINSEY, 2013). Sua difusão, no segmento de usuários finais a nível global, cresceu em média 300% ao ano, de 2009 a 2011 (WOHLERS, 2012).

Esta monografia tem por objetivo desbravar, tratando-se de um fenômeno com poucos dados disponíveis, o processo de inovação envolvido na impressão tridimensional a luz da teoria neo-schumpeteriana e apontar como a adoção e difusão tecnológica se comportaram neste processo.

São analisadas nesta monografia algumas das aplicações atuais da tecnologia de impressão tridimensional, suas possíveis aplicações futuras e, o impacto projetado no modelo de produção industrial atualmente existente. Como exposto nos capítulos seguintes desta monografia, a impressão tridimensional possui adeptos como Boeing, GE, NASA, Hershey's e Starkey, os quais, com esta tecnologia, produzem, respectivamente, peças de aeronaves, componentes de turbinas, impressoras de ferramentas e comida, chocolates personalizados e aparelhos de auditivos.

Trata-se de uma tecnologia um tanto quanto desconhecida a nível nacional, e isto tem uma consequência fundamental na estruturação do presente trabalho.

Para a apresentação da tecnologia de impressão tridimensional é feita, no capítulo 2, uma breve revisão histórica e a apresentação das metodologias e aplicações das impressoras 3D. No terceiro capítulo é abordada a teoria sob a qual foi feita a análise da monografia. O quarto analisa os três principais segmentos envolvidos na difusão de impressoras tridimensionais. Por fim, no quinto e último capítulo é realizada a conclusão do trabalho.

2 A IMPRESSORA 3D

Neste capítulo será apresentada uma breve revisão histórica da Impressora 3D, abordando-se com menor intensidade as características técnicas, e com maior detalhamento as capacidades e possibilidades que esta impressora possui e permite. Estas informações serão cruciais para a análise de enquadramento a ser realizada nesta monografia. Também serão apresentados os fatores facilitadores e limitadores que esta tecnologia possui.

2.1 A INVENÇÃO

A primeira técnica de se produzir um protótipo a partir de um arquivo virtual foi descoberta por Chuck Hull em 1984. A invenção de Hull foi cunhada de estereolitografia ou *Stereolithography* (SLA) e patenteada em 1986. Esta técnica pioneira de prototipagem rápida foi definida pelo próprio inventor como “método e máquina para fazer objetos sólidos através da impressão sucessiva de finas camadas do material UV curável, uma em cima da outra”. (HULL, 1986)

Isto significa que a estereolitografia, primariamente, faz uso de uma determinada resina que apresenta uma característica de solidificar-se mediante a radiação de raios ultra violeta. Desta forma, a radiação UV é projetada sucessivamente nas camadas que devem ser solidificadas de modo que a construção se dá verticalmente da base até o ápice (*bottom-up*).

No final da década de 80, Hull funda a 3D Systems cuja a atividade fim está diretamente relacionada com o desenvolvimento e comercialização da prototipagem rápida recém descoberta e patenteada. A 3D Systems atraiu atenção da mídia e do mercado na época, pois a SLA, desenvolvida por esta empresa, se utilizava comercialmente de um tipo de fabricação incomum: a fabricação aditiva.

A fabricação comum é conhecida como subtrativa, pois basicamente consiste na usinagem, desbastamento, lapidação e outros métodos que retiram (ou subtraem) material a partir de um insumo bruto ou inacabado. Ou seja, a fabricação subtrativa faz uso de uma série de ferramentas previamente adquiridas ou

fabricadas para tratar uma matéria prima. A combinação destes materiais já beneficiados é fator gerador do produto final.

Na contramão deste fluxo, a fabricação aditiva não subtrai material a partir de uma matéria prima. As técnicas de impressão 3D, como a SLA, dispensam ferramentas intermediárias, exceto a própria impressora, para produzir. Para facilitar a compreensão, abaixo está representada graficamente (FIGURA 1) a técnica de impressão conhecida como estereolitografia.

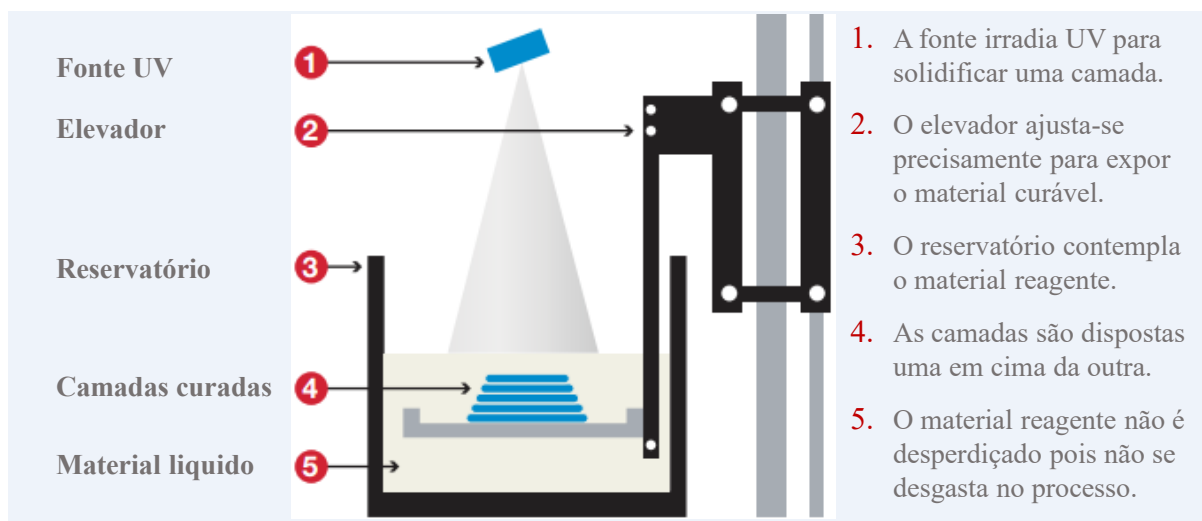


FIGURA 1 - Técnica de Impressão 3D: SLA
 FONTE: PRICE (2012).

A estereolitografia, assim como os outros métodos de impressão 3D, que investigaremos a seguir, possui em sua essência características que permitem fabricar conceitos que não são possíveis por meio da fabricação subtrativa. Além disto, a fabricação aditiva das impressoras apresenta um potencial de fabricação customizada economicamente viável, pois dispensa moldes pré-fabricados, ferramentas e adaptações ferramentais dispendiosas, entre outros recursos intermediários necessários na produção em massa existente. A FIGURA 1 apresenta, especificamente no item 5, outro fator relevante para o contexto atual, pois a inexistência ou baixo volume de sucatas geradas pelas impressoras 3D, além de econômico, acaba sendo, em certa medida, sustentável.

2.2 AS DIFERENTES TÉCNICAS E SUAS CARACTERÍSTICAS

A SLA foi a primeira técnica de impressão 3D descoberta nos anos 80, porém não foi a única. Cinco anos após ter sido inventada, a SLA ganhou a companhia da técnica *Fused Deposition Modeling* (FDM) ou modelagem de deposição fundida, patenteada em 1989 por Scott Crump. Nas décadas subsequentes, surgiram, também, a *Selective Laser Sintering* (SLS) ou sinterização a laser, *Selective Laser Melting* (SLM) ou derretimento a laser, *Polyjet* e outras técnicas não difundidas amplamente.

As técnicas de impressão 3D possuem similaridades e particularidades. Entre as particularidades, destaca-se a característica de produzirem diretamente através de um arquivo digital, fato este que reduz os custos de produção, armazenagem e transporte de ferramentas. (CASEY, 2009)

A análise comparativa entre as diferentes técnicas acaba se voltando para alguns aspectos fundamentais: materiais disponíveis, precisão, textura de acabamento, resistência e disponibilidade cromática ou pluricromática. A seguir na TABELA 1 é apresentada uma síntese das principais técnicas de impressão tridimensional.

TABELA 1 – DIFERENTES TECNOLOGIAS DE IMPRESSÃO 3D

Tipo de Técnica	Tecnologia	Materiais
Polimerização fotossensível	SLA – Estereolitografia	Foto polímeros e resinas
Extrusão	FDM – Deposição de filamento fundido	Termoplásticos, misturas e metais eutéticos
Granular	SLS – Sinterização a laser	Ligas metálicas: titânio, alumínio, aço inoxidável
Granular	SLM – Derretimento a laser	Termoplásticos, pós metálicos e cerâmicos
Polimerização *	Polyjet	Resinas e foto polímeros combinados

FONTE: Adaptado de OLIVAREZ (2010)

Ao se fazer uma análise mais minuciosa, com a abrangência de todas as características fundamentais citadas anteriormente, não é fácil obter uma escolha unânime. Cada técnica tem sua vantagem e deve ser condicionada ao propósito e também ao investimento disponível.

A modelagem de deposição fundida, por exemplo, é uma técnica análoga à impressão 2D, com a diferença que o material impresso acaba não sendo tinta em papel, mas sim termoplásticos e outros materiais eutéticos sobre uma plataforma aquecida. Esta técnica permite, portanto, a impressão multicolor, tendo em vista que a impressão é feita por uma ou mais extrusoras alimentadas por filamentos de forma independente, como os expostos na parte (a) da FIGURA 2 abaixo. Ou seja, cada extrusora imprime na cor do filamento pela qual está sendo alimentada. Por outro lado, a impressão 3D via FDM apresenta um aspecto rugoso visível a olho nu, como exposto na parte (b) da FIGURA 2 abaixo. Isto se torna um fato negativo se esta impressão almejar a obtenção de um produto final, ou seja pronto para o consumo, como pode ser observado pelo acabamento na FIGURA 2 abaixo.



(a) Filamentos ABS – 3mm
FIGURA 2 – FDM: Recursos e Usos
FONTE: FRANCOIS (2013)



(b) Rugosidade 0,075mm – 75microns

A SLS e SLM são técnicas bastante similares em sua essência. Ambas utilizam matérias primas em estado granular, isto é, ao invés de possuírem um filamento rígido como insumo, estas técnicas utilizam um pó do material a ser

utilizado. Isto distancia portanto a similaridade desta técnica com a FDM e conseqüentemente não pode ser vista em analogia a impressão 2D.

A SLS, desenvolvida nos Estados Unidos, e a SLM, desenvolvida na Alemanha, são impressões de alta precisão e com uma nova gama de materiais de alta resistência e resiliência. Isto significa, portanto, que estas técnicas de impressão produzem em caráter de produto acabado ou semi-acabado para segmentos complexos como, por exemplo: aeroespacial, automotivo, ferramentas cirúrgicas, entre outros. O detalhe nesta técnica é que as peças são produzidas em reservatórios do pó do material a ser produzido, não sendo possível portanto fabricar em dois materiais distintos e também não se possui muita escolha de cor, afinal o material é sintetizado na mesma cor do pó do insumo.

2.3 APLICAÇÕES

Prototipagem, modelagem e *mock-ups*, sem dúvida, fazem parte das aplicações já em uso na fabricação aditiva das impressoras 3D. Entretanto, estes campos são apenas uma pequena amostra da capacidade desta tecnologia. O universo das impressões já atinge, mesmo que em modesta proporção, grandes indústrias, como Aeroespacial, Automobilística, aparelhagem médica e ortodôntica, entre outras.

O uso da tecnologia 3D na indústria é mais economicamente aplicável em *designs* complexos e alta personalização. A impressão 3D é vantajosa financeiramente se o volume de produção estiver entre 50 e 5000 unidades (SEDACCA, 2011). É importante perceber que Sedacca, em seu artigo publicado pela revista do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IET), focaliza as técnicas que envolvem a modelagem plástica, não sendo portanto referência para as outras técnicas de impressão 3D que imprimem metais, resinas e outros materiais vistos anteriormente.

A importância econômica da tecnologia de fabricação aditiva, viabilizada pelas impressoras, tridimensionais é notável nas áreas de biomedicina e medicina. A produção de equipamentos nestas áreas é feita em baixos e médios volumes. A alta capacidade de personalização de próteses e outros aparelhos fabricados em

tamanhos pré-estabelecidos representa significativos avanços em relação às tecnologias convencionais. Isto possibilita, por exemplo, que a estrutura da orelha de um paciente seja escaneada em minutos durante uma consulta. Horas depois, a impressora será capaz de ter produzido um aparelho auditivo sob encomenda sem custos adicionais exacerbatantes de personalização. Atualmente existem 10 milhões de aparelhos auditivos impressos em circulação em todo o mundo (SHARMA, 2013). De forma análoga, a fabricação de próteses pode ser feita de acordo com a necessidade e estrutura óssea de cada paciente, como ocorreu com uma senhora de 83 anos na Holanda, que recebeu uma prótese impressa em impressora 3D, para reparar a perda ocasionada por uma doença degenerativa (BBC, 2012).

A comunidade científica e organização de pesquisas industriais australiana (CSIRO na sigla em inglês), publicou a fabricação, sob medida, de ferraduras de titânio impressas com a técnica de sinterização a laser. O processo de escanear o casco do cavalo, projetar no software gráfico e obter as ferraduras sob medida aptas para uso, conforme FIGURA 3, leva menos de um dia (BARNES, 2013).



FIGURA 3 – Impressão em Titânio
FONTE: CSIRO (2013)

Além dos usos industriais já apresentados, há a recente inclusão de desenvolvimento de impressoras para o setor alimentício. O espaço para esta tecnologia no setor alimentício estaria na capacidade de uma máquina reproduzir receitas com a exatidão de um chefe de cozinha altamente especializado. A importância da impressão para o setor alimentício ganhou destaque quando a

Agência Aeroespacial Nacional Americana (NASA) informou que enviara ao espaço equipamentos de impressão 3D capazes de imprimir comida (NASA, 2013).

Um dos destaques da exploração comercial das impressoras 3D neste setor, é a fabricação de chocolates. A tecnologia empregada é bastante similar a FDM, porém com adaptações para depositar camadas em chocolate no formato programado previamente no computador sem a necessidade de moldes de plástico pré-fabricados, como podemos observar pela FIGURA 4.



FIGURA 4 – Impressão em Chocolate
FONTE: GAVAGHAN (2012)

Apesar das aplicações positivas citadas até o momento, a flexibilidade e potencialidade da tecnologia permitem impressões polêmicas, como a “*The Liberator*”, exposta na FIGURA 5 abaixo. Trata-se de uma arma de fogo letal totalmente fabricada em plástico e, portanto, não detectável por aparelhos de segurança. O projeto produzido e distribuído por Cody Wilson acendeu o debate do desenvolvimento da tecnologia de impressão tridimensional (THE GUARDIAN, 2013).

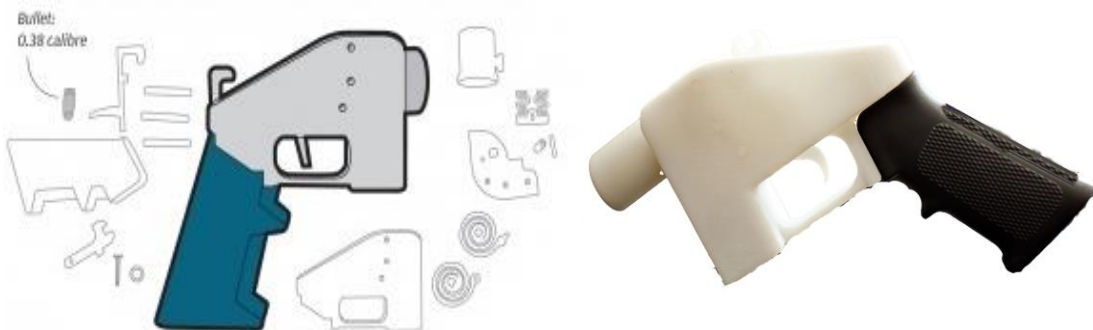


FIGURA 5 – “The Liberator”: Pistola funcional impressa
FONTE: THE GUARDIAN (2013)

3 REVISÃO CONCEITUAL

Neste capítulo serão apresentados as teorias e conceitos a partir dos quais é realizado o desenvolvimento da monografia. A exposição feita neste capítulo é fundamental para o capítulo seguinte referente à inovação tecnológica da impressão tridimensional. Desta forma, fez-se necessário dissertar sobre a origem da inovação e o papel dela na teoria escolhida, bem como o ciclo de adoção e o processo de difusão de tecnologia.

3.1 TEORIA EVOLUCIONÁRIA DA INOVAÇÃO

A visão da teoria evolucionista, evolucionária ou neo-schumpeteriana aponta que o fator chave na competitividade das empresas e nações é a capacidade de gerar inovações. Especial atenção é dada à análise das inovações incrementais, avançando-se em relação às contribuições dadas por Joseph Schumpeter.

É possível interpretar que a adaptação evolucionista do sistema Schumpeteriano, envolve não só transformações econômicas, mas também transformações políticas e socioculturais, que culminam na mudança do ambiente. Desta forma, a corrente evolucionista, de acordo com Furtado (2006), argumenta que inovação e difusão são fenômenos que se sobrepõem na realidade. Segundo o autor, “o processo de difusão da inovação leva, ele mesmo, a novas inovações, em geral de caráter incremental” (p. 169). Isto significa que para os evolucionistas, como argumentado por Rosenberg (2006), a importância da difusão de uma inovação passa a ser tão fundamental quanto ao próprio invento. A justificativa principal disto é que o impacto econômico gerado, advém da difusão tecnológica e não puramente do invento ou mesmo da inovação.

O processo de difusão, via de regra, depende de uma sequência de melhoramentos nas características de desempenho de uma invenção, de sua modificação e adaptação graduais para adequar-se às necessidades ou demandas específicas de vários nichos de mercado e da disponibilidade e

introdução de outros insumos complementares que tornam mais útil uma invenção original. (ROSENBERG, 2006, p. 44.)

Por essa ótica, o autor expõe que este padrão de difusão é influenciado pelas adaptações tecnológicas recorrentes, ou seja, pelas inovações incrementais. Como exposto por Furtado (2006), este tipo de inovação acaba por gerar mais inovações, aumentando o impacto econômico e dando propulsão ao desenvolvimento econômico. O exemplo da conexão de internet 3G parece encaixar de forma apropriada neste contexto. O desenvolvimento da internet móvel de alta capacidade foi uma inovação que acelerou a difusão dos *smartphones* e potencializou seu uso. Surgiram a partir disto, sistemas de navegação que integravam a passividade do GPS à interatividade e flexibilidade da internet móvel, como o *Waze*. Existe, em certa medida, um padrão de complementaridade das inovações, pois estas dificilmente se desenvolveriam de forma isolada. “As tecnologias dependem umas das outras e interagem entre si em modos que não são aparentes para o observador casual, e com frequência tampouco para o especialista” (ROSENBERG, 2006, p. 98).

Dada a importância do tema difusão, a aprendizagem também passa a ser fato fundamental para o desenvolvimento econômico, pois a aprendizagem acaba sendo a porta de entrada de uma série de conhecimentos e inovações complementares. O aprendizado está atrelado, assim como a inovação e a difusão, à ideia de processo. O processo de aprendizagem, na visão de Queiroz (2006), consiste na acumulação de habilidade e conhecimento por parte de um agente, que culminará em um aperfeiçoamento contínuo da tecnologia e em um aumento de produtividade. No entanto, a aprendizagem não consiste de um único e exclusivo padrão, ela pode ocorrer de diferentes formas, como veremos a seguir.

A aprendizagem pode ocorrer sob diferentes padrões, dentre as quais destacaremos os seguintes: *learning by doing* de Arrow (1962), *learning by using* de Rosenberg (2006), aprendizado adaptativo de Katz (1976) e *learning by interacting* sugerido por Lundvall (1988).

O *learning by doing* ou “aprender fazendo” consiste no padrão de aprendizado que é obtido pela atividade produtiva em si. Trata-se, portanto, de uma série de conhecimentos tácitos obtidos pela produção acumulada por parte dos envolvidos na atividade produtiva e que culmina em uma melhora no desempenho tecnológico da

firma. Este tipo de aprendizado em particular, apresenta uma distinção teórica importante frente aos outros, como evidenciado por QUEIROZ (2006) a seguir. O *learning-by-doing*

(..) pode ser inscrito na tradição neoclássica na medida em que assume os pressupostos básicos que caracterizam os modelos convencionais de comportamento maximizador dos agentes e de tendência ao equilíbrio. Apenas acrescenta que as condições de maximização estática não consideram o fato de que a atividade produtiva gera como uma espécie de subproduto, e sem custo, um contínuo aumento da produtividade. Assim, os níveis de preços e de quantidades correspondentes ao ótimo estático precisam ser ajustados para um ótimo 'dinâmico', que leva em conta o aprendizado acumulado ao longo do tempo. (QUEIROZ, p. 195).

Já o *learning by using* ou aprendizado pelo uso dá origem a ganhos pelo uso do produto. Ou seja, é oriundo da retroalimentação dos clientes a respeito do produto e seu desempenho durante a utilização. A obtenção destas informações dentro do processo produtivo é imprecisa comparado à informação do usuário final devido a extensa gama de cenários e testes impostos pelos consumidores. Para Rosenberg (2006), o aprendizado pelo uso é bastante importante para dar confiabilidade do produto, pois a informação fornecida pelo usuário auxilia na redução das incertezas referentes ao produto.

Assim como o aprendizado anterior, o aprendizado pela interação ou *learning by interacting* envolve os usuários nos ganhos de desempenho de um produto ou processo. Entretanto este aprendizado é destacado pela cooperação entre os usuários e os agentes produtivos, de modo que as competências individuais sejam potencializadas e refletidas no aperfeiçoamento do produto. Este tipo de interação é especialmente retomado na difusão da impressora 3d pessoal mais adiante no capítulo 4.

Com um padrão distinto, o aprendizado adaptativo incorpora em produtos ou processos modificações de modo a viabilizá-los em um novo contexto geográfico, cultural ou econômico.

Dentre os quatro tipos de aprendizado apresentados é notável evidenciar que o padrão de aprendizagem mostrado por Arrow é obtido de forma fundamentalmente diferente, do ponto de vista da firma, frente aos outros aprendizados apresentados. Isto ocorre devido ao caráter "automático" que o aprender fazendo proporciona. Afinal, a empresa não precisa investir nenhum tipo de recurso adicional para que este aprendizado seja incorporado ao produto. De forma antagônica, o aprendizado

pelo uso e pela interação requerem esforço por parte das firmas para, respectivamente, interpretar e cooperar com os consumidores para aperfeiçoar o produto. A aprendizagem adaptativa também se dá de maneira oposta ao *learning by doing*, pois existe claramente uma busca por este aprendizado, de forma que a firma investe para obtê-lo.

Além das diferenças entre os diferentes tipos de aprendizagem é importante compreender como a mudança incremental está associada ao aprendizado. Queiroz (2006) argumenta que as inovações incrementais são as definidoras das trajetórias evolutivas das inovações maiores, pois apesar de cada inovação incremental poder ter uma influência pequena em uma inovação maior, a recorrência dessas inovações secundárias seria determinante para a obtenção de ganhos significantes tanto em rendimento, quanto em qualidade do novo produto ou processo.

3.2 AS ABRANGÊNCIAS DA INOVAÇÃO: CORRENTE EVOLUCIONÁRIA

Como enfatizado no item anterior, a corrente evolucionista dá importância à capacidade de inovar, e veremos a seguir a contribuição de Carlota Perez ao estudo das abrangências e tipos de inovações. A autora expande o conceito de inovação de acordo com seu impacto econômico e recorrência.

Perez inicia sua análise em dois tipos fundamentais de inovação, sendo eles incremental e radical. A inovação incremental é bastante frequente e, portanto, comum. Advindas de inventores, usuários, atividades de pesquisa e desenvolvimento e, também, de si próprias. Já a inovação radical possui um caráter disruptivo, apresentando uma melhoria substancial ou uma nova forma mais eficiente de produzir algo. Este tipo de inovação é incomum se comparado às inovações incrementais e se origina, geralmente, das atividades de pesquisa e desenvolvimento, programas governamentais e universidades.

A partir destes conceitos, Perez expõe que inovações incrementais e radicais combinadas podem originar um novo sistema de tecnologia no qual a estrutura gerencial das empresas seria impactada. Um novo sistema de tecnologia é advindo, porém, de mudanças tecnológicas substanciais.

O estudo de Perez (1986) define, por fim, a existência de um paradigma tecno-econômico no qual grande parte da economia está baseada. Fazem parte deste paradigma inúmeras inovações incrementais, radicais e sistemas de tecnologia. É, portanto, um fenômeno complexo e abrangente que vigora por longos períodos. O paradigma acaba por definir uma extensa gama de produtos e serviços que podem ser fabricados.

Frente a abrangência e ocorrências dos fenômenos advindos da inovação expostos acima, é notável que o último nível exige uma série de fatores para que seja consumado, inclusive os tipos de inovações anteriormente citados. De forma adicional, para que haja a mudança de um nível para outro é necessário a presença de um insumo que seja, intrinsecamente, um fator chave na articulação de um paradigma. Este fator deve ser de baixo custo, de vasta disponibilidade e potencial de uso ou grande facilidade de incorporação a diversos produtos. Em mudanças de paradigmas anteriores, como na segunda revolução industrial – com o Fordismo – o fator chave foi o aço. A *The Economist* publicou, em 2012, um artigo mostrando que a impressora 3d poderia ser o fator chave para uma nova revolução industrial despertada pela substituição da fabricação convencional pela fabricação aditiva.

O surgimento de um novo paradigma, naturalmente, ocorre em um meio no qual o antigo paradigma ainda é bastante presente. Sua ocorrência se dá portanto, em um ou mais setores nos quais suas vantagens são substanciais, e vai se espalhando para os outros até impor um nível dominante. Isto ocorre somente quando a mudança radical nas esferas gerenciais é consumada, afinal o antigo paradigma será substituído somente quando os tomadores de decisão estiverem convictos das vantagens que o novo possui. Isto envolve e, indissociavelmente, provoca uma grande reestruturação nos setores da economia. De forma sintetizada e concisa, o estudo de Conceição (1996) apresenta uma referência para a gama de variáveis envolvidas na mudança de um meta-paradigma.

Um novo paradigma tecno-econômico envolve: nova forma de organização da firma e da planta; novo perfil de especializações da força de trabalho; novos produtos adequados ao fator chave; novas tendências em inovações radicais e incrementais; novo padrão de locação de investimento em escalas nacional e internacional; nova onda de investimento em infraestrutura para melhorar externalidades geradas pelo novo paradigma; novo tipo de empresário inovador em pequenas firmas, novo padrão de consumo de bens e serviços e conseqüentemente, novos tipos de distribuição de renda e consumo (CONCEIÇÃO, 1996)

Através destas mudanças é inevitável que sejam determinadas modificações estruturais na economia. Isso acaba por altear, portanto, o comportamento nas esferas sociopolíticas e institucionais frente à confiabilidade da nova tecnologia, corroborando com o exposto no item anterior.

Apesar da ampla abordagem feita por Carlota Perez sobre as abrangências e impactos das inovações, a impressão tridimensional ainda é muito incipiente para enquadrar de forma precisa em um tipo de inovação. Os impactos econômicos, da impressão tridimensional, observados pelos dados disponíveis são ainda insuficientes. Portanto, ficaremos invariavelmente mais conectados às inovações incrementais, radicais e possivelmente aos novos sistemas de tecnologia.

3.3 CLASSIFICACAO INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES

Ao observar a importância da geração, exploração e difusão do conhecimento para o crescimento econômico e conseqüentemente para o desenvolvimento das nações, a OCDE criou em 1992 o Manual de Oslo, com o objetivo de disponibilizar diretrizes para a coleta e a interpretação de dados sobre inovação. Uma segunda Edição do Manual foi lançada em 1997 de modo a abranger a análise do processo de inovação no setor de serviços. Em 2005, em sua terceira Edição, a maior contribuição foi a incorporação das inovações não-tecnológicas.

Como o próprio Manual define, a inovação é um processo dinâmico e contínuo. Portanto, trata-se de um fenômeno mais difícil de se medir do que algo estático. Desta forma o manual define 4 possíveis classificações para uma inovação a fim de agrupar as inovações com padrões similares e simplificar a complexa mensuração da inovação. São elas:

- a) Inovação de Produto
- b) Inovação de Processo
- c) Inovação Organizacional
- d) Inovação de Marketing

Segundo consta no Manual, “inovações de produto envolvem mudanças significativas nas potencialidades de produtos e serviços. Incluem-se bens e serviços totalmente novos e aperfeiçoamentos importantes para produtos existentes.” (OCDE, 2005, p. 23). Um exemplo bastante interessante de inovação de produto é o Ipod da Apple Inc., lançado em 2001. Se utilizando de um conjunto de tecnologias, algumas novas e outras não, a Apple lançou um produto inovador para a época (THE ECONOMIST, 2007). Um aparelho que carregava dentro de seu hardware um repositório de músicas bastante generoso, o qual dispensava mídias adicionais e volumosas como os então tradicionais Walkmans.

Também de acordo com o Manual, as “inovações de processo representam mudanças significativas nos métodos de produção e de distribuição” (OCDE, 2005, p. 23). É importante ressaltar que as mudanças aqui compreendidas melhoram a eficiência, produtividade, qualidade, sustentabilidade e/ou reduzem custos do processo de fabricação e distribuição. Ou seja, se há melhoria nos equipamentos,

softwares, métodos de produção ou concepção de um produto ou serviço, há ocorrência de uma inovação de processo. Esta classificação em particular é bastante importante para este presente trabalho. As impressoras 3D industriais apresentam uma proposta bastante interessante no que tange a concepção de produtos e fabricação como será apresentado no capítulo subsequente.

“As inovações organizacionais referem-se à implementação de novos métodos organizacionais, tais como mudanças em práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas da empresa” (p. 23). Estas inovações objetivam melhorar a performance da empresa reduzindo custos administrativos ou custos de transação. Para a melhor instrumentação deste trabalho, dentro das inovações organizacionais, focaremos nas relações externas. Estas inovações organizacionais em relações externas são exemplificadas pelo manual de Oslo pela implementação de novos meios para organizar as relações com outras empresas, tais como o estabelecimento de novos tipos de colaborações com consumidores, novos métodos de integração com fornecedores e o uso de *outsourcing* ou a introdução da subcontratação das atividades de negócios na produção. Desta forma, apresenta-se como classificação bastante interessante para o enquadramento da impressão tridimensional devido à possibilidade de repensar o arranjo produtivo. Este tema será melhor debatido no próximo capítulo.

Já as “inovações de marketing envolvem a implementação de novos métodos de *marketing*, incluindo mudanças no design do produto e na embalagem, na promoção do produto e sua colocação, e em métodos de estabelecimento de preços de bens e de serviços” (p. 23). Assim como a classificação anterior, a inovação de *marketing* possui – de acordo com o Manual de Oslo – subdivisões, sendo elas: *design*, posicionamento de produtos, promoção de produtos e fixação de preços. Dentre estas a mais relevante, de acordo com os dados disponíveis, é a inovação de marketing em *design*. As mudanças de *design* do produto referem-se a mudanças na forma e na aparência do produto sem alterar a funcionalidade. Um exemplo de inovação de marketing em *design* de produto é o redesenho de uma linha de luminárias para aumentar a atratividade e possivelmente as vendas. Inovações em design de produtos podem também incluir a introdução de mudanças significativas na forma, na aparência ou no sabor de alimentos (p. 60).

3.4 CURVA DE ADOÇÃO DE TECNOLOGIA

Apesar das tecnologias ingressantes apresentarem uma série de particularidades e especificidades, no que tange a disseminação desta tecnologia e a adoção da mesma pelos usuários pode-se estudar a existência ou não de um padrão de difusão, o qual estaria relacionado ao comportamento tanto na esfera das expectativas sobre a nova tecnologia, quanto no consumo desta tecnologia.

Na introdução deste presente trabalho, foi citado o ritmo de adoção de inovações. Neste momento se torna pertinente a exposição gráfica destas curvas de comportamento, curiosamente, parecidas, conforme exposto na FIGURA 6 a seguir.

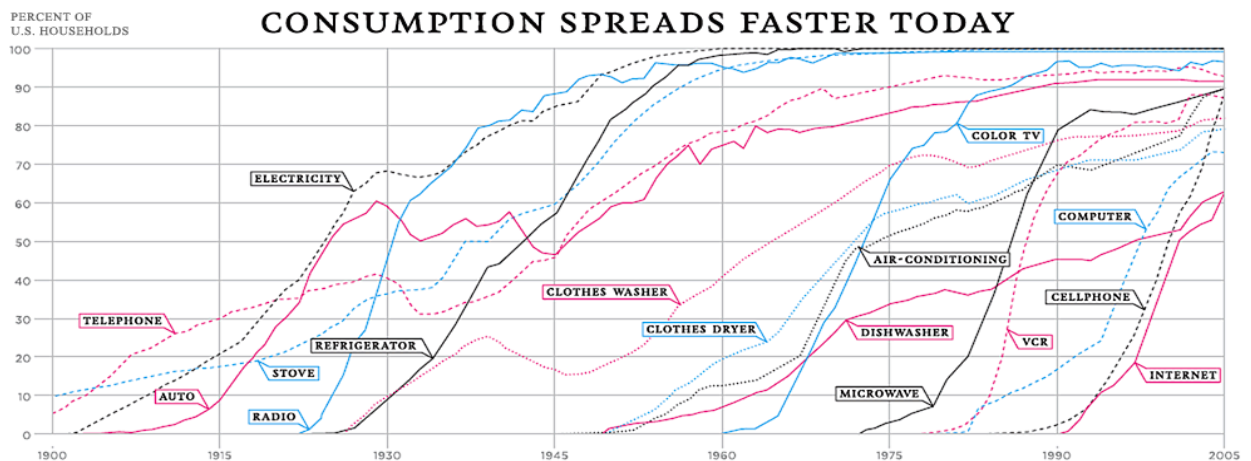


FIGURA 6 – Disseminação do Consumo, de 1900-2005.
FONTE: FELTON (2008).

O comportamento das curvas de adoção observadas graficamente pode também, de acordo com Pelaez (2006), significar a substituição de tecnologias menos eficientes, por tecnologias inovadoras. Ressaltando ainda que este processo de substituição não é algo absolutamente irreversível.

Este conjunto de curvas “S” apresentadas acima mostra que há, em certa medida, um comportamento padronizável de difusão tecnológica. Um dos precursores a explicar este padrão foi Zvi Griliches, que em 1957 publicou um estudo sobre o padrão de difusão do milho híbrido nos Estados Unidos. O estudo de Griliches destaca as diferentes taxas de utilização da tecnologia com base em diferentes percepções sobre a rentabilidade a ser obtida pelos produtores e sua

importância no processo de difusão. Entretanto para inovações cuja trajetória de difusão ainda é incipiente – e os dados ainda não são suficientes para a análise do padrão de difusão da impressão tridimensional – o ciclo de Gartner se enquadra de forma apropriada. Este ciclo é apresentado por uma respeitada empresa de pesquisa em tecnologias, a Gartner Inc., e possui 5 estágios:

1. Gatilho tecnológico
2. Apogeu de expectativas superestimadas
3. Vale da desilusão
4. Ladeira do entendimento
5. Produtividade estabilizada

No estágio de gatilho, uma nova tecnologia em potencial é desenvolvida. Testes são realizados e conceitos postos a prova. Isto dispara uma publicidade significativa, porém recorrentemente não há, ainda, confirmação de viabilidade econômica ou de grande utilidade.

O segundo estágio é marcado pelo otimismo sobre a tecnologia, e suas potencialidades atingem a mídia. Inúmeros casos de sucesso de utilização são contatos. Entretanto os casos de insucesso também ocorrem e poucas empresas aderem à nova tecnologia.

Já no terceiro estágio, a importância da tecnologia diminui à medida que os experimentos e implementações não atingem as expectativas. Produtores desta tecnologia fraquejam e os investimentos perduram somente se os produtores aperfeiçoem sua tecnologia para agradar os visionários e entusiastas.

Após a passagem pelo vale, inicia-se o quarto estágio. As instâncias nas quais a tecnologia pode beneficiar as empresas começam a se cristalizar, bem como o entendimento geral sobre a nova tecnologia, pois este passa a ser mais amplamente compreendido. As segundas e terceiras gerações de produtos com a nova tecnologia incorporada, chegam ao mercado. Neste momento, mais empresas investem em projetos-pilotos para incorporação.

No quinto e último estágio, a adoção da tecnologia já atinge a grande maioria. Os critérios de viabilidade para incorporação da tecnologia estão definidos. A implantação e relevância desta tecnologia para o mercado, está claramente dando resultados.

O Ciclo de Gartner é interessante para entender a trajetória de uma inovação tecnológica, porém se combinado ao estudo da curva de adoção de tecnologias desenvolvida por Moore (2002), o resultado é no mínimo surpreendente, como observável pela FIGURA 7 a seguir.

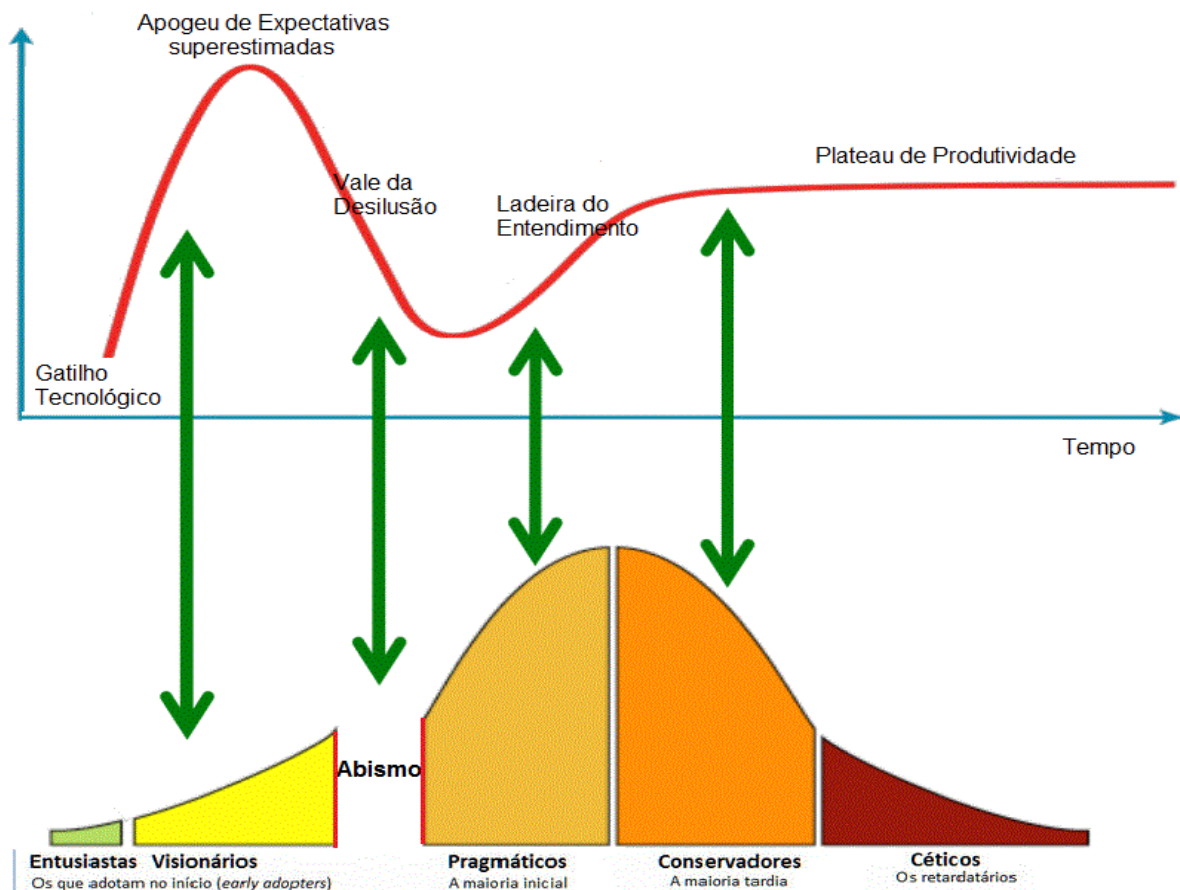


FIGURA 7 – Ciclo de Gartner combinado a Curva de Rogers
 FONTE: BETTS-LACROIX (2010).

A interação entre estas duas curvas é importante para este estudo a medida que percebemos a relação das expectativas das novas tecnologias com a difusão. Ou seja, a difusão é diferenciada pela expectativa de lucro com a tecnologia, pela expectativa de utilidade e relevância da tecnologia e pela expectativa de aderência no mercado.

O estudo de Geoffrey Moore deriva da curva de adoção mostrada por Everett Rogers em 1962. Em seu livro, Moore mostra uma curva de adoção distribuída normalmente com 5 estágios, nos quais é possível calcular estatisticamente a porcentagem de adeptos em cada estágio, através dos desvios

padrões. Além dos estágios de adeptos, Moore mostra que há um “abismo” ou hiato de adoção entre o segundo e terceiro estágio, fato que combina com o “Vale da Desilusão” mostrada no Ciclo de Gartner.

É interessante observar, portanto, que no primeiro estágio do Ciclo de Gartner, somente os entusiastas e inovadores assumem o risco de adoção da nova inovação. Este pequeno grupo, representa somente 2,5% dos consumidores na curva (MOORE, 2002), e consomem a tecnologia mesmo estando no estágio que não possuem utilidade e/ou qualidade comprovadas.

Já os visionários, que representam 13,5% do total de consumidores (MOORE, 2002), observam com cuidado os inovadores. A partir da expectativa de maiores lucros com a utilização da inovação como fonte de vantagem competitiva em relação aos seus concorrentes, os visionários aderem à nova tecnologia. Isto ocorre em meio ao segundo estágio do Ciclo de Gartner, no qual as tecnologias estão em alta na mídia e sem garantias de sucesso.

O terceiro grupo, já representa uma maioria inicial – cerca de 34% do total de consumidores (MOORE, 2002) – e adere à medida que a tecnologia se torna mais difundida de forma geral. Também chamados de pragmáticos, estes adotam a tecnologia pela capacidade que ela tem de viabilizar negócios e dependem da referência de especialistas de seu próprio nicho de mercado.

Os conservadores ou maioria tardia representam os outros 34% do total (MOORE, 2002), sendo os consumidores que não possuem grandes expectativas de retorno sobre o investimento. Este grupo é, portanto, bastante sensível a preços e condicionado a funcionalidade e a praticidade do produto.

Já os céticos ou retardatários, representam 16% dos consumidores (MOORE, 2002). Este grupo é conhecido por seguir tradições e por terem aversão a riscos e mudanças. Para este grupo, a adoção da inovação é deixada para última instância e ocorre por muitas vezes quando não há alternativa.

4 A INOVAÇÃO DAS IMPRESSORAS 3D

Para fins acadêmicos, é interessante analisar o processo inovativo das impressoras 3D em três fases de acordo com sua utilização ou exploração econômica. Cada fase possui uma série de particularidades, e a importância principal da separação é entender qual será a provável caminhada de desenvolvimento desta inovação e seu padrão de difusão em cada um de seus diferentes mercados.

A impressão tridimensional para o setor industrial, já está sendo oferecida ao mercado há mais de 20 anos. As máquinas ou impressoras eram inicialmente vendidas para empresas grandes, voltadas à pesquisa e desenvolvimento e com capacidade de arcar com preços de oligopólio (JONG, BRUIJN, 2012), praticados pelos grandes *players* do mercado de impressão, como 3D Systems e Stratasys.

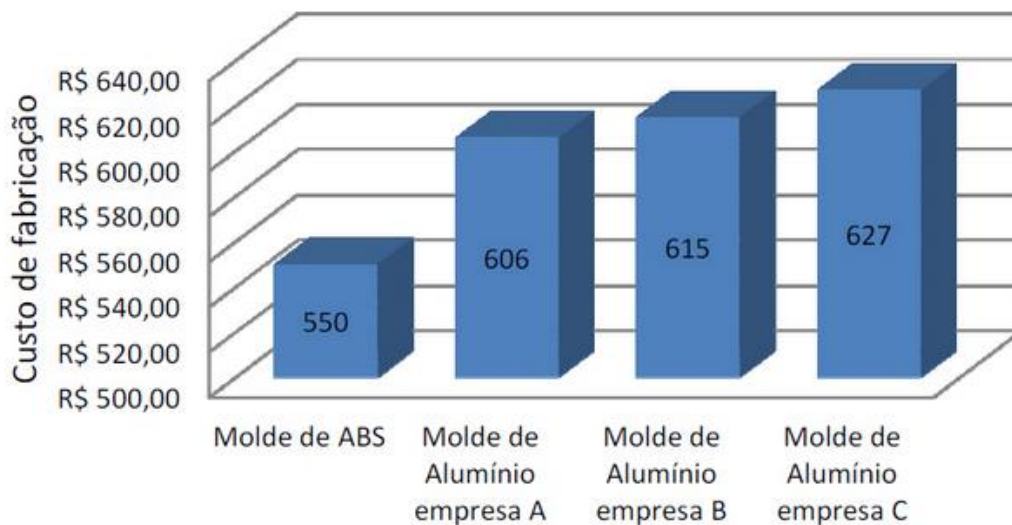
Hoje em dia, mais de 30 empresas oferecem sistemas industriais de impressão 3D ao redor do mundo. Esta esfera industrial movimentou US\$1.7 bilhões em 2011 (WOHLERS, 2012), e é nela que estão as duas primeiras fases analisadas por este estudo.

Já na terceira fase analisada, as empresas oferecem a impressora 3d como um produto ou serviço ao consumidor final. Algo que era pouco provável anteriormente devido às barreiras financeiras de tecnologias complementares e pelo próprio custo da tecnologia – patenteada e desenvolvida por poucos *players* – disponível no mercado anteriormente, pois custavam algumas centenas de milhares de dólares (JONG, BRUIJN, 2012).

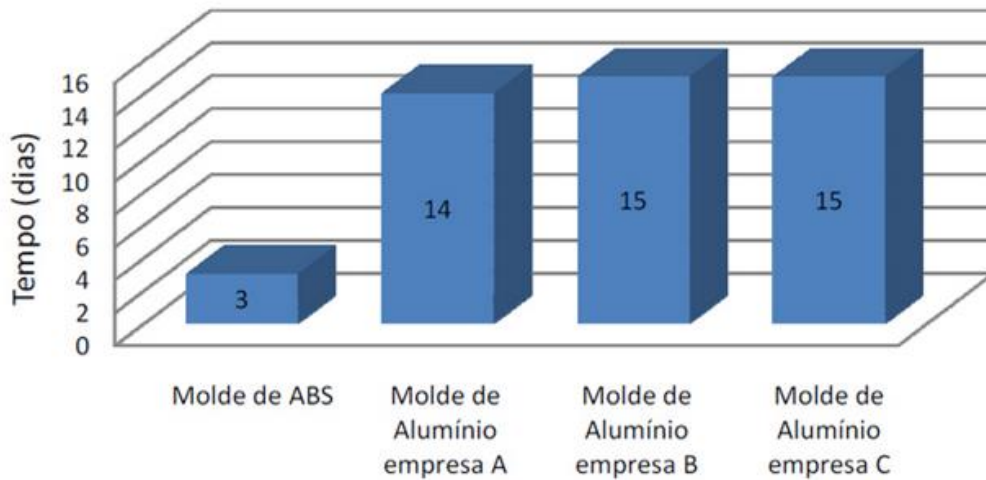
4.1 PRIMEIRA FASE: PROTÓTIPOS E MODELOS

A utilização da tecnologia de impressão 3D, nesta primeira fase, envolve basicamente todo o processo desenvolvimento de conceitos, maquetes e *designs*. As impressões são *mock-ups*, protótipos e modelos. Não sendo, portanto, produtos finais, porém proporcionando agilidade e flexibilidade ao testar quaisquer mudanças no modelo e diminuindo a exposição das informações do novo produto, já que o

modelo pode ser impresso na própria empresa sem a necessidade de enviar as alterações a uma empresa especializada em prototipagem. Existe, portanto, um potencial de redução de custos no desenvolvimento de novos conceitos. Este potencial pode ser evidenciado tanto na forma financeira (a) ou direta, quanto na forma indireta, redução dos prazos (b) envolvidos para produção de um molde, como apresentado na comparação do molde em ABS (impresso tridimensionalmente) e os outros (FIGURA 8). Outro aspecto bastante relevante é a tangibilidade, literalmente, dada ao processo de decisão quanto ao desenvolvimento de um produto. Em outras palavras, o processo desenvolvimento fica mais flexível e adaptável, pois os modelos em plástico são impressos, testados, adaptados ou redesenhados dentro do próprio ambiente da empresa que a desenvolve e com custos bastante competitivos. Esta agilidade pode favorecer e até acelerar a incorporação do aprendizado da empresa no desenvolvimento do produto.



(a) Custo de prototipagem: FDM vs Convencional



(b) Prazo de prototipagem: FDM vs Convencional

FIGURA 8 – Comparativo de custo e prazo para fabricação de um molde
 FONTE: MARQUES et al. (2013)

Para evidenciar a redução de custo fornecida pela utilização da técnica de impressão 3D, nesta fase de concepção, é interessante observar o estudo do instituto australiano de pesquisa para observar as diferenças vitais de um arranjo produtivo comum e com um arranjo que possua recursos de impressão tridimensional. Entretanto este método não altera, *a priori*, as características funcionais do produto em questão. Para enfatizar esta fase, o infográfico do instituto australiano de pesquisa (CSIRO) exposto na FIGURA 9, será explanado a seguir.

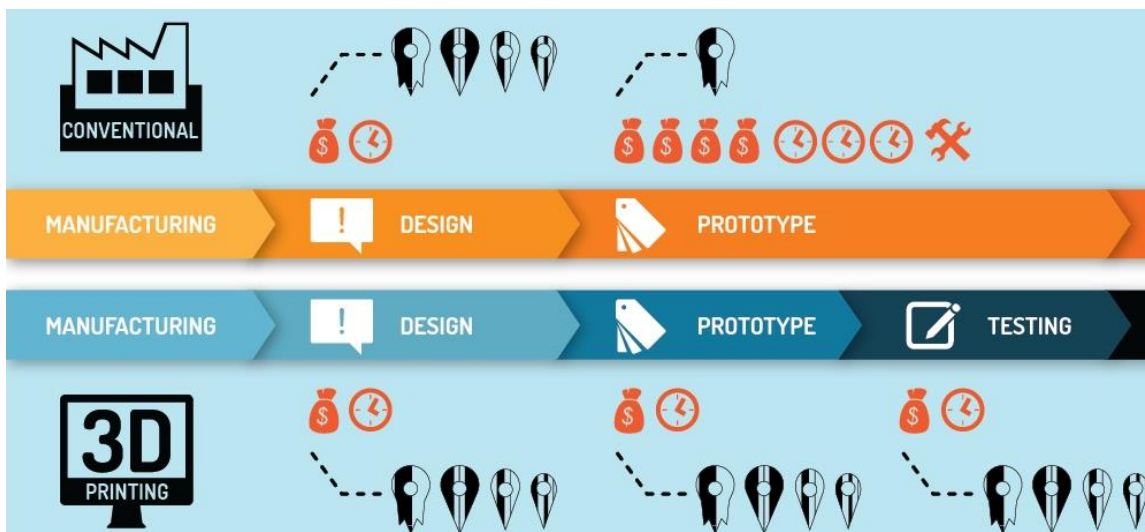


FIGURA 9 – Fabricação Aditiva vs Convencional: Etiqueta de reconhecimento de peixes
 FONTE: Adaptado de CSIRO (2013)

Como apontado pelo infográfico, o desenvolvimento de um produto inicia-se sem divergências no que tange ao estágio de criação do *design*. Entretanto, na fase de prototipagem, a produção convencional precisa optar por um único modelo a ser produzido, pois este processo pode levar 3 vezes mais tempo e 4 vezes mais dinheiro do que a produção via impressão tridimensional. Sendo portanto, uma produção mais onerosa e mais restrita: em design, prazo e custo.

A primeira fase é, portanto, claramente dedicada à concepção. Entretanto a distinção entre uma inovação de *marketing* e inovação de processo é bastante tênue. Afinal esta fase contempla o desenvolvimento de novos *designs*, mas também contempla a prototipagem e teste, que já são partes elementares de um processo produtivo. Porém, é evidente que não se trata de uma inovação de produto, pois como foi abordado, nesta fase o foco está na concepção, o qual não objetiva interferir na finalidade ou usabilidade do produto em questão.

Esta fase também se destaca pelo caráter de complementaridade do uso da tecnologia. A impressora entra como uma ferramenta que agrega no processo produtivo atual, com produções de larga escala ainda feitas com moldes pré-fabricados e fabricação por injeção. Este é o ponto de inflexão da primeira fase para a segunda fase, pois a segunda utiliza-se da tecnologia para substituir o método de fabricação atual.

4.2 SEGUNDA FASE: FABRICAÇÃO DIRETA

A segunda fase envolve a produção de bens prontos para serem comercializados, saindo desta forma da esfera de modelos e concepções e entrando na esfera dos produtos acabados. A tecnologia de impressão tridimensional é utilizada, neste estágio, para produzir diretamente um bem final a partir de um arquivo digital. Este tipo de produção é chamado de fabricação digital direta ou *rapid-tooling*¹ por sua característica de transformar um arquivo digital em produto

¹ *Rapid-tooling* é um termo em inglês sem tradução direta para o português. Apesar da carência de tradução direta, significa um processo de fabricação o qual se utiliza de técnicas de prototipagem rápida para fabricar sem a necessidade de ferramentais intermediários. (EFUNDA, 2014)

final. Ou seja, esta é a fase onde produtos são literalmente fabricados a partir de um arquivo e uma máquina capaz de imprimir em 3 dimensões com metais altamente resistentes e leves (FIGURA 4), com geometrias e funcionalidades pouco exploradas ou comercializados anteriormente, como apresentado no capítulo 2 deste presente trabalho.

Nesta fase o enquadramento é bastante delicado, pois conforme apresentado no item 2.4 sobre aplicações, existe uma enorme gama de aplicações e em diversos setores. Um dos exemplos importantes para inovação de processo é a *General Electric*² que substituiu parte do processo de produção convencional de algumas peças complexas para turbinas pela produção via impressão tridimensional (CATTS, 2013). Já algumas *startups*³ americanas passaram a escanear e imprimir miniaturas de pessoas em plástico, resina, bronze e até ouro. Disponibilizando um novo produto/serviço, se encaixando em inovações de produto e *marketing*.

Ou seja, esta fase abrange novos processos, novos produtos, novas necessidades, diferentes tipos de precificação e até possíveis mudanças organizacionais. A revista *The Economist* afirmou, em abril 2012, que a partir desta tecnologia de produção direta via impressão tridimensional, a produção poderá deixar de ser destinada a um país com menores custos de mão de obra e ficará próxima de seus consumidores e desenvolvedores. Apesar dos custos envolvidos na produção serem um fator importante influenciado pela impressão tridimensional, o principal motivo para realocar a fabricação para os países onde os produtos são consumidos é agilidade de incorporação de mudanças (THE ECONOMIST, 2012) e adaptações advindas dos diferentes aprendizados abordados por Queiroz (2006). A proximidade facilitaria e baratearia a obtenção de *feedback* dos consumidores e usuários, facilitando a absorção do aprendizado proporcionado pelo uso. Fabricar os produtos e manter a unidade de desenvolvimento próxima aos consumidos possibilita, também, que a adaptação do produto às necessidades específicas do local seja mais rápida e eficiente.

² De acordo com Greg Morris, líder de desenvolvimento de negócios para manufatura aditiva da divisão de aviação da GE, ainda faltam desenvolvimentos cruciais no que tange a capacidade produtiva para que a linha inteira de fabricação de injetores seja substituída.

³ *Startup*: termo utilizado para designar empresas recém-criadas e rentáveis que começou a ser popularizado nos anos 1990, quando houve a primeira grande bolha da internet. Muitos empreendedores com ideias inovadoras e promissoras, principalmente associadas à tecnologia, encontraram financiamento para os seus projetos (EXAME, 2010).

A *The Economist* aponta, neste momento, para uma inovação bastante ampla, na qual as relações externas organizacionais seriam profundamente afetadas. Nesta fase temos, portanto, uma série de elementos e indícios que podem ser enquadrados nas quatro classificações de inovação existente para a OCDE.

A trajetória ascendente da utilização da impressão tridimensional para fabricação industrial é datada principalmente a partir dos anos 2000. Não por acaso, esta década foi marcada por inovações de aperfeiçoamento e que proporcionaram maior acessibilidade a softwares, hardware e microeletrônica (EXAME, 2010). Portanto é possível inferir que as inovações incrementais de produtos como placas de controle eletrônico, que são componentes importantes das impressoras, foram inovações que influenciaram a difusão desta tecnologia. De forma análoga, a internet aparece como um ativo complementar bastante importante à medida que acelerou expressivamente a troca de informações e a disponibilidade de dados para o desenvolvimento da tecnologia e sua difusão.

A trajetória ascendente é demonstrada pela FIGURA 10, e representa os dados de vendas globais de impressoras industriais de 1988 até 2011 (WOHLERS, 2012).

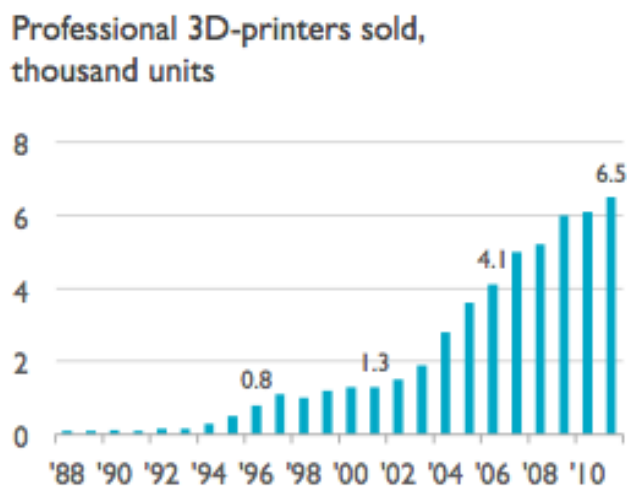


FIGURA 10 – Impressoras 3D Profissionais vendidas, em milhares.
FONTE: WOHLERS (2012)

4.3 TERCEIRA FASE: A IMPRESSORA 3D PESSOAL

A última fase é aquela em que a impressora 3D é o produto final para o consumidor e não mais como um meio de produção para fabricantes e para indústria. Esta fase de comercialização era tratada de forma coadjuvante no cenário de impressão tridimensional, entretanto a importância deste segmento aumentou significativamente com o barateamento dos equipamentos e principalmente com a difusão desta tecnologia entre os autônomos, microempresas, engenheiros, designers, ourives, escolas e consumidores individuais.

Como já foi abordado anteriormente, a tecnologia de impressão tridimensional iniciou na década de 80. Porém até o ano de 2006 não haviam registros de vendas de impressoras para o consumo final. Atualmente existem milhares de impressoras pessoais sendo vendidas por *startups* em vários países do mundo (JONG, BRUIJN, 2012). Este mercado de impressoras pessoais é puxado por estas empresas nascentes, pois como visto anteriormente, grandes *players* como Stratasys e 3D Systems estavam focados em grandes empresas voltadas para a P&D e com grande poder aquisitivo. Entretanto a expectativa de lucros para este mercado de usuários final explorado em grande parte pelas *startups* – lista de empresas e seus modelos disponível no ANEXO A – atraiu os gigantes da impressão tridimensional fazendo, por exemplo, a Stratasys comprar a Makerbot em meados de 2013.

Um ponto de inflexão para a difusão da tecnologia foi o RepRap Project. Este projeto, fundado por Adrian Bowyer em 2005, almejava utilizar-se basicamente da tecnologia FDM e de técnicas de fabricação aditiva para construir uma impressora de baixo custo, e com o inesperado recurso de se replicar em total ou grande parte. Bowyer, professor de engenharia mecânica da universidade de Bath na Inglaterra, imaginou que no futuro as impressoras seriam pessoais e não mais industriais. O projeto decolou em meados de 2007, e Bowyer compartilhou todo seu projeto, desde estrutura base até *software* de impressão e *drives*, sob código aberto, como exibido pela FIGURA 11 abaixo.

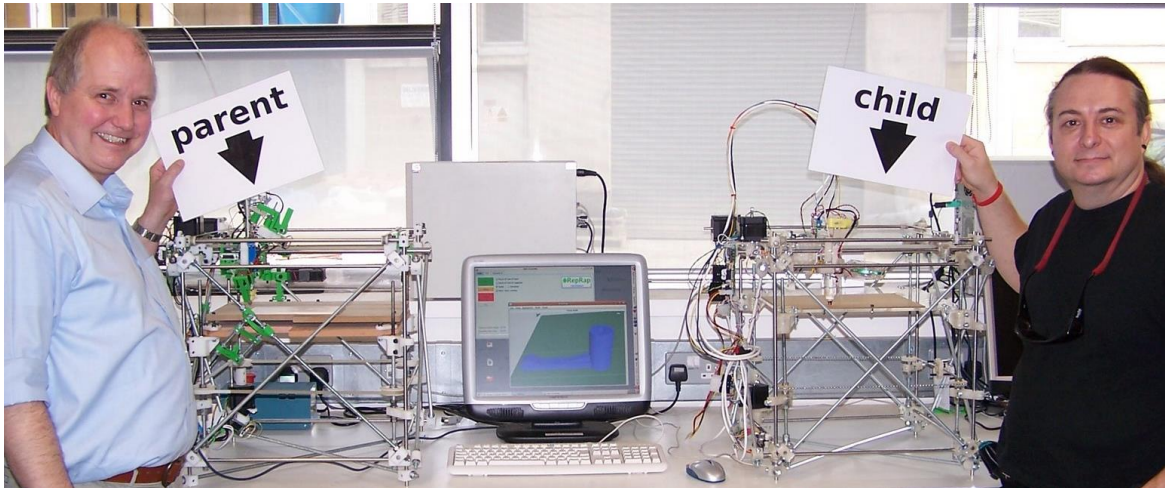


FIGURA 11 – Bowyer (a esquerda) mostrando “Darwin 1” e sua replicação “Darwin 2”.
 FONTE: REPRAP.ORG (2008)

Esta é a principal característica deste projeto, e está presente no design, na construção, no *software* e em praticamente todo projeto. O RepRap atraiu novos usuários e colaboradores, os quais também contribuíram com inovações ao projeto, tanto no *software* de impressão quanto na geometria da impressora. Esta rede colaborativa não tardou em expandir, afinal, a colaboração facilitada pelo mundo globalizado e principalmente pela internet permitiu que melhorias incrementais fossem criadas e rapidamente difundidas publicamente para os interessados em todo o mundo em alta velocidade, como mostra a FIGURA 12.



FIGURA 12 – Pesquisas relacionadas ao projeto RepRap
 FONTE: GOOGLE TRENDS (2013)

Além desta expansão nas pesquisas devido ao projeto, é possível identificar um caráter bastante globalizado e em certa medida descentralizado de desenvolvimento da tecnologia após a maturidade do projeto RepRap. No início de 2012, estima-se que o número total de máquinas autorreplicáveis⁴, inclusive kits comercializados, ultrapassavam a marca de 29 mil (JONG, BRUIJN, 2012). O site holandês especializado em notícias sobre impressoras 3d, 3ders.org (2013), disponibiliza uma lista de fabricantes de impressoras e seus modelos, de modo a facilitar a compra, disponível para consulta no ANEXO A. Desta lista, se considerarmos somente as tecnologias FDM e FFF por estarem mais comumente associados a esta terceira fase da impressão 3d, chega-se a 108 produtores em 26 países do mundo. Dentro deste resultado, o país com maior representatividade é o Estados Unidos que possuem 35 produtores.

O Projeto RepRap foi, portanto, fundamental para difusão da tecnologia e seu barateamento. As impressoras 3d estão se tornando gradativamente acessível em termos financeiros, pois um equipamento básico de impressão 3d, em kits para montagem própria, custa hoje cerca de US\$500⁵.

A princípio o consumo da tecnologia neste estágio estava centrado em entusiastas e hobistas, entretanto podemos ver pela FIGURA 13, que a expansão de compra de modelos de impressoras pessoais configurou um aumento de 289% de 2010 para 2011. A pluralidade de impressoras e fabricantes é bastante expressiva. Existem *startups* preocupadas com quase todas as variáveis que envolvem uma impressora pessoal, como por exemplo: polímeros de impressão, velocidade, capacidade, adaptabilidade da cabeça de impressão, *softwares* de fatiamento, entre outras. Entretanto, assim como o projeto inicial, a grande parte dos envolvidos desenvolve tudo em código aberto; de *software* a *hardware*.

Um aspecto pouco abordado por esta monografia, é queda de uma das patentes chave da Impressão Tridimensional de FDM (Modelagem de filamento fundido). A queda ocorreu em 2009, e apesar de ter sido secundária para a difusão

⁴ Replicam toda estrutura da máquina, não sendo possível replicar ainda rolamentos, circuitos e componentes eletroeletrônicos, como placas e motores. A ausência deste recurso representa uma limitação importante para a impressão tridimensional. Entretanto avanços já foram obtidos neste sentido a medida que filamentos que conduzem eletricidade já estão em testes em 2014.

⁵ Este preço considerado leva em conta um equipamento de qualidade média, FDM, adquirido nos Estados Unidos. (TOM'SGUIDE, 2013)

frente ao projeto RepRap, a patente pode ter influenciado o início da comercialização das impressoras.

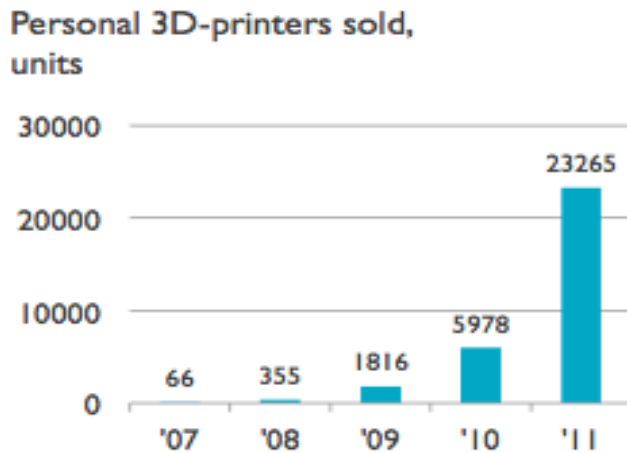


FIGURA 13 – Impressoras 3D Pessoais vendidas, em Unidades.
 FONTE: WOHLERS (2012)

Além do dado de vendas de impressoras, notam-se os elementos que surgiram a partir da comercialização de impressoras pessoais, como as plataformas colaborativas *online*, hubs de fabricação aditiva e os *softwares* e *hardwares* de escaneamento tridimensional. Dentre as plataformas colaborativas existe o Thingiverse, que já disponibiliza gratuitamente mais de 100 mil arquivos digitais de modelos dos mais variados tipos e utilidades que foram desenvolvidos pelos próprios consumidores ou usuários finais das impressoras, conforme exemplo exibido na FIGURA 14 abaixo. Os modelos estão classificados em diversas categorias, das quais podemos destacar a categoria de modelos que aprimoram as próprias impressoras que as imprimem, em uma espécie de melhoria contínua, que parte dos próprios consumidores/usuários.



FIGURA 14 – Exemplo de arquivos disponíveis no site Thingiverse.
 FONTE: THINGIVERSE (2014)

A adesão a esta plataforma já é expressiva o suficiente para ser notada por inúmeras pessoas de nacionalidades diferentes, já que ao final do ano 2013 os usuários ultrapassaram a marca de 21.1 milhões de *downloads* realizados. Neste cenário, o consumidor fica possibilitado a produzir pessoalmente, em maior ou menor medida, seus materiais de consumo (OLIVAREZ, 2010) e os softwares abertos disponibilizados desde o início do projeto RepRap.

Esta fase é portanto a fase mais completa e complexa para fins de enquadramento dentro da bibliografia da OECD, tendo em vista a extensa gama de funcionalidades, características de utilidade e explorações comerciais cabíveis e já utilizadas em menor escala. Além disso, acaba apontando para um interessante processo de difusão, afinal, a importância da difusão da impressão 3d no desenvolvimento da própria tecnologia e principalmente em seus impactos econômicos, está diretamente conectada à sugestão, contribuição e indução dos próprios usuários, como sugerido por Queiroz (2006) e evidenciado por esta fase de estudo.

Essas comunidades colaborativas ou até mesmo usuários finais que inovaram e continuam melhorando a tecnologia de impressão tridimensional, não representam necessariamente uma ameaça para os lucros das indústrias que se utilizam da impressão 3d. Na verdade, ser o *first mover* ou pioneiro a comercializar uma técnica aprimorada com visíveis vantagens não garante ao inovador o sucesso de estar à frente dos imitadores (TEECE, 1986). Especialmente no ambiente de impressão tridimensional no qual, documentadamente desde 2007, há desenvolvimento em código aberto, a apropriabilidade se torna algo bastante condicionado à capacidade de se aproveitar das melhorias incrementais. Portanto, é possível que os grandes *players* deste mercado, como Stratasys (incluindo Makerbot) e 3D Systems

monitorem e tirem proveito desta terceira fase de utilização (JONG, BRUIJN, 2012). Estas grandes empresas possuem uma série de recursos e de capacidade instalada que possibilitam a incorporação dos avanços incrementais desenvolvidos pelas empresas menores. Isto é observável, por exemplo, ao se comparar a atratividade de uma impressora pessoal desenvolvida por um grande player e por uma *startup* – como mostrado pela FIGURA 15 abaixo.

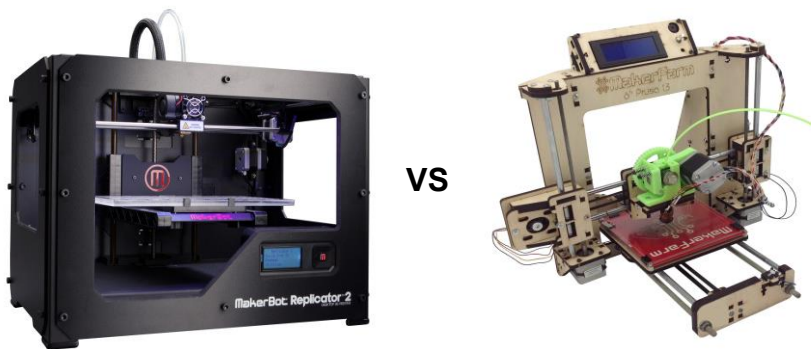


FIGURA 15 – Makerbot (Stratasys) contra MakerFarm i3 (Startup).
FONTE: 3DERS (2013)

5 CONCLUSÃO

Esta monografia explorou uma série de estudos e artigos sobre a inovação tecnológica da impressão tridimensional, os quais foram realizados com o intuito de demonstrar a tecnologia e explorar seu potencial. É natural observar que a visão apresentada por este trabalho seja otimista e um pouco entusiasta em relação à eficácia desta tecnologia. Apesar disso, o objetivo desbravador da trajetória de difusão se manteve em foco durante todo o trabalho.

Através da teoria de adoção de tecnologias e do ciclo de Gartner foi possível observar que as informações disponíveis indicam um desenvolvimento, ainda incipiente, desta inovação tecnológica no que tange sua utilização industrial. Entretanto o desenvolvimento a nível industrial surgiu, e se mantêm, dentro de centros de pesquisa e setores de P&D de grandes empresas, com equipamentos de alta precisão e complexidade. A exploração deste nicho industrial, mostrada no trabalho, também expõe o potencial substitutivo que esta inovação possui frente ao método convencional de fabricação subtrativa. Estes são indícios de que o impacto econômico da impressão industrial tem potencial para se tornar uma inovação radical, notadamente em relação aos processos de produção e suas formas organizacionais.

Outro aspecto observado neste trabalho, é a grande distinção existente nas trajetórias de difusão da impressão 3d para o segmento industrial e para o uso pessoal. Enquanto a primeira, desenvolvida há mais de duas décadas, ficou restrita a poucas empresas com grande poder aquisitivo e voltadas a pesquisa e desenvolvimento, a segunda apresentou uma taxa de difusão bastante acelerada e descentralizada a partir de um projeto independente e de código aberto. São evidentes porém, os sinais de aprendizagem provenientes do uso e da fabricação.

A impressora 3d pessoal é uma realidade hoje, graças a uma série de inovações incrementais e complementares que ocorreram no início do século XXI. Além disso, o projeto RepRap implementado em 2007, foi fator chave para a difusão desta inovação, bem como para o desenvolvimento da própria tecnologia e da sua exploração comercial. Afinal, o projeto abriu as portas para o compartilhamento e para aprendizagem interativa. O desenvolvimento conjunto presente na impressora 3d pessoal não foi direcionado a uma firma produtora, mas sim à uma rede de

pequenas firmas. Ou seja, os usuários interagiram com uma grande rede de desenvolvedores e utilizaram das pequenas melhorias para aperfeiçoar o produto e a tecnologia. A isto se somou o aprendizado adaptativo das diversas *startups* existentes em 26 países do mundo.

Os indícios expostos pelas impressoras 3d pessoais apontam, a princípio, para a combinação de inovações radicais e incrementais, o que acaba caracterizando, como exposto por Perez (1986), um novo sistema tecnológico. A impressora 3d pessoal acabou, também, tornando-se um recurso totalmente novo para consumidor final e dentre as classificações possíveis, a inovação de produto parece ser a mais pertinente *a priori*. Além destes indícios, a tecnologia de impressão tridimensional apresenta um potencial nascente de modificar consideravelmente a estrutura de produção existente. A realocação das produções destinadas a países de baixo custo laboral para os países desenvolvidos deixa de ser algo impossível, assim como a fabricação pessoal. Novos cenários para as atividades de pesquisa e desenvolvimento podem se originar a partir da impressão tridimensional.

Esta monografia abre espaço para vários aprofundamentos frente às possíveis trajetórias tomadas pela inovação das impressoras 3d. Além dos impactos econômicos nos diversos setores da indústria, a impressão tridimensional aparenta ter um grande potencial para modificar a estrutura de fabricação existente hoje, sendo, portanto, um interessante objeto de estudo para novos estudos que tenham por objetivo o entendimento das complexas relações entre inovação e difusão tecnológica.

REFERÊNCIAS

3DERS. **How far 3D printing has come since Good Morning America**. 2013. Disponível em: <<http://www.3ders.org/articles/>>. Acesso em: 17/12/2013.

BARNES, J. **3D printed horseshoe to improve racing performance**. Disponível em: <<http://www.csiro.au/>>. Acesso em: 01/11/2013.

BBC. **Mulher recebe prótese de mandíbula fabricada por impressora 3D**. Disponível em: <<http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2012>>. Acesso em: 24/10/2013.

BETTS-LACROIX, J. **Hype Chasm: ideas meant to evoke ideas from you**. 2010. Disponível em: <<http://blog.evocator.org/2010/04/hype-chasm.html>>. Acesso em: 19/03/2014.

CASEY, L. Prototype pronto. **Packaging Digest**, v. 46, n. 8, 2009, p. 54-56.

CATTS, T. GE Turns to 3D Printers for Plane Parts. **Engineering**, 2013. Disponível em: <<http://www.businessweek.com/articles/2013-11-27>>. Acesso em: 19/12/2013.

CONCEIÇÃO, O. A. C. "Novas" tecnologias, "novo" paradigma tecnológico ou "nova" regulação: a procura do "novo". **Ensaio FEE**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, 1996, p. 409-430.

CSIRO. 3D printing for rapid product design. **Governo Australiano**, 2013. Disponível em: <<http://www.csiro.au/>>. Acesso em: 23/09/2013.

EFUNDA. Rapid Tooling: An Introduction, 2014. Disponível em: <<http://www.efunda.com>>. Acesso em: 19/04/2014.

EXAME. O que é uma startup? **PME: Startup**. Outubro-2010. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/>> Acesso em: 19/07/2013.

FELTON, N. Consumption spreads faster today. **New York Times**, 2008. Disponível em: <<http://www.nytimes.com/>>. Acesso em: 15/02/2014.

FRANCOIS, J. **3D printer improvements: How fine can an Ultimaker print?** Jan. 2013. Disponível em: <<http://www.tridimake.com/>>. Acesso em 25/10/2013.

FORBES. Accelerating Innovation In The New Corporate Garage: Innosight. **Leadership**, Dezembro, 2012. Disponível em: <<http://www.tridimake.com/>>. Acesso em 25/11/2013.

FURTADO, A. Difusão Tecnológica: um debate superado? Em: PELAEZ, V.; SZMRECSÁNYI, T. J. K. (orgs.). **Economia da inovação Tecnológica**. São Paulo: Hucitec, 2006, p. 168-190.

JONG, J. P. J.; BRUIJN, E. Innovation Lessons From 3-D Printing. **MIT Sloan Management Review**. Magazine: Winter. 2012.

GAVAGHAN, J. Good news for sweets fans: 3D chocolate printer to go on sale tomorrow. **Daily Mail Online**. Disponível em: <<http://www.dailymail.co.uk/>>. Acesso em: 02/05/2013.

MARQUES, A. S.; MILKE, E. C.; MARTINS, V. **Estudo da viabilidade de molde polimérico obtido a partir de prototipagem rápida aplicado no processo de extrusão-sopro**. Disponível em: <<http://www.ska.com.br/>>. Acesso em: 31/10/2013.

MCKINSEY, G. I. Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. **McKinsey Global Institute Report**. 2013.

MOORE, G. A. **Crossing the Chasm**: Marketing and Selling Disruptive Products to Mainstream Customers. HarperCollins, 2002.

NASA. 3D Printing: Food in Space. **United States Government**, 2013. Disponível em:<<http://www.nasa.gov/>>. Acesso em: 19/08/2013.

OLIVAREZ, N. 3-D printers go beyond paper and ink: Mostly celebrated by hobbyists and geeks, 3-D printers may be commonplace one day. **Buffalo News**, 2010, p. C4.

OECD. **Manual de Oslo: Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação**, 2005, p. 55-74.

PELAEZ, V. Prospectiva Tecnológica In: PELAEZ, V.; SZMRECSÁNYI, T. J. K. (orgs.). **Economia da inovação Tecnológica**. São Paulo: Hucitec, 2006, p. 212-231.

PEREZ, C. **THE NEW TECHNOLOGIES: An integrated view**. Disponível em: <http://www.carlotaperez.org/papers/Integrated_View_1986.pdf>. Acesso em: 12/11/2013.

PRICE, T. R. Infographic: **A Brief History of 3D Printing**. Disponível em: <<http://individual.troweprice.com/>>. Acesso em 7/09/2013.

QUEIROZ, S. Aprendizado tecnológico. Em: PELAEZ, V.; SZMRECSÁNYI, T. J. K. (orgs.). **Economia da inovação Tecnológica**. São Paulo: Editora Hucitec, 2006, p. 193-211.

ROSENBERG, N. **Por Dentro da Caixa-Preta: Tecnologia e Economia**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2006.

SCHUMPETER, J. A. (1942). **Capitalism, socialism and democracy**. Rio de Janeiro: Zahar, 1984.

SEDACCA, B. Hand built by lasers. **Engineering and Technology**, v. 6, n. 1, 2011, p. 58—60.

SHARMA, R. The 3D Printing Revolution You Have Not Heard About. **Forbes Online**, Outubro, 2013. Disponível em: <<http://www.forbes.com/>>. Acesso em: 25/01/2014.

THE ECONOMIST. The third industrial revolution. **Manufacturing**, 21-abril, 2012. Disponível em: <http://www.economist.com/>>. Acesso em: 01/10/2013.

_____. Lessons from Apple: What other companies can learn from California's master of innovation. **Innovation**, 7-junho, 2007. Disponível em: <<http://www.economist.com/>>. Acesso em: 11/03/2014.

THE GUARDIAN. **Senator seeks to extend ban on 'undetectable' 3D-printed guns**. Disponível em: <<http://www.theguardian.com/>>. Acesso em: 17/11/2013.

TOM'S GUIDE. **3D Printer Buyer's Guide 2013**. Disponível em: <<http://www.tomsguide.com/>>. Acesso em: 02/11/2013.

WOHLERS, T. **Wohlers Report 2012: Additive Manufacturing and Three Dimensional Printing State of the Industry Annual**. Wohlers Associates, 2012.

ANEXO A - LISTA DE FABRICANTES DE IMPRESSORAS (FDM E FFF)

País	Empresa	Modelo	Preço (em US\$)
Argentina	Kikai labs	T125	\$ 2,537.00
Austrália	3D Stuffmaker	Classic Prusa DIY kit	\$ 595.00
Austrália	3D Stuffmaker	CREATOR DIY kit	\$ 695.00
Austrália	3D Stuffmaker	EVOLUTION DIY kit	\$ 795.00
Austrália	3D Stuffmaker	CREATOR	\$ 895.00
Austrália	3D Stuffmaker	Mega Prusa – RepRap 3D Printer DIY kit	\$ 995.00
Austrália	3D Stuffmaker	EVOLUTION	\$ 1,195.00
Austrália	3D Stuffmaker	Mega Prusa – RepRap 3D Printer	\$ 1,495.00
Austrália	3D Stuffmaker	ALLSTAR	\$ 1,950.00
Brazil	Metamáquina	Metamáquina 2	\$ 1,876.00
Canada	Boots Industries	Rostock 3D Printer BI - DIY Kit	\$ 449.00
Canada	Boots Industries	Rostock 3D Printer BI	\$ 699.00
Canada	Boots Industries	Felix 2.0 - DIY KIT	\$ 1,349.00
Canada	Boots Industries	Felix 2.0	\$ 1,899.00
Canada	Eckertech	ecksbot DIY kit	\$ 749.95
Canada	Eckertech	ecksbot	\$ 999.95
Canada	Mixshop	Prusa Mendel Full Kit (Excl. Plastic Parts)	\$ 439.00
Canada	Mixshop	Mix G1 - 3D Printer kit	\$ 482.00
Canada	Mixshop	Mix 2 - 3D-printer	\$ 1,299.00
Canada	ORD solutions inc	BTO1001 R2 - 3D Printer Fully assembled	\$ 1,499.00
Canada	ORD solutions inc	MH3000 - 3D Printer Fully assembled	\$ 1,799.00
Canada	Tinkerine Studio	Litto 3D printer	\$ 999.00
Canada	Tinkerine Studio	Ditto Plus 3D printer	\$ 1,249.00
Canada	Tinkerine Studio	Litto 3D printer Assembled	\$ 1,299.00
Canada	Tinkerine Studio	Ditto Plus 3D printer Assembled	\$ 1,549.00
China	3DD Plas	Botreper	\$ 726.00
China	3DD plas	Maplicator Replicator	\$ 935.00
China	Dreammaker	dreammaker	\$ 1,167.00
China	Dreammaker	dreammaker max	\$ 2,449.00
China	Flashforge	Creator 2	\$ 1,099.00
China	Flashforge	Creator	\$ 1,199.00
China	Heacent	Prusa Mendel 3DP01	\$ 388.00
China	Heacent	Prusa Mendel 3DP01	\$ 393.00
China	Mbot 3D	Mbot Cube Dual Head kit	\$ 729.00
China	Mbot-3D	Mbot Cube Single Head kit	\$ 669.00
China	Mbot-3D	Mbot Cube Single head	\$ 999.00
China	Mbot-3D	Mbot Cube double head	\$ 1,099.00
China	Mbot-3D	Mbot Cube II Single Head	\$ 1,399.00
China	Mbot-3D	MBot Cube II Dual Head	\$ 1,599.00

China	PP3DP	UP! mini	\$ 899.00
China	PP3DP	UP! Plus	\$ 1,499.00
China	RDMCU	Pangu	\$ 500.00
China	Zbot.cc	Zbot	\$ 4,500.00
Finland	miniFactory	miniFactory 3D printer	\$ 2,026.00
France	eMotion Tech	Prusa Mendel I3	\$ 895.00
France	Multistation	Extru3D V2	\$ 1,684.00
France	Multistation	Extru3D V2 Assembled	\$ 2,882.05
FRANCE	Spiderbot	SpiderBot Eco Kit v1.2	\$ 1,574.00
FRANCE	Spiderbot	SpiderBot Full Kit v1.2	\$ 1,781.00
Germany	German RepRap	X400CE	\$ 5,698.00
Germany	German RepRap	V2.0 3D-Drucker	\$ 1,093.00
Germany	German RepRap	PRotos X400	\$ 3,090.00
Germany	iRapid	IRAPID BLACK 3D-PRINTER	\$ 1,366.00
Germany	Kühling&Kühling	RepRap Industrial 3D printer	\$ 5,412.00
Germany	PEARL	FreeSculpt 3D-Drucker EX1-Basic	\$ 1,092.00
Germany	PEARL	FreeSculpt 3D-Drucker EX1-Plus	\$ 1,229.00
Germany	Reprapsource	Prusa i3 Kit updated version	\$ 1,143.00
Germany	Reprapsource	Prusa i3 Kit Single Frame Version	\$ 1,229.00
Hong Kong*	Makible	A6 LT no heat bed	\$ 200.00
Hong Kong*	Makible	A6 HT Acrylic with heat bed	\$ 300.00
India	Makemendel	RapidBot 1.0 Kit	\$ 649.00
India	Makemendel	RapidBot 2.0 Kit	\$ 649.00
India	Makemendel	RapidBot 3.0 Kit	\$ 699.00
India	Makemendel	RapidBot Mega	\$ 1,250.00
Israel	Something 3D	Something3D1D	\$ 2,689.00
Italy	3ntr	A4 printer	\$ 4,508.00
Italy	CSP	POWERWASP	\$ 1,000.00
Italy	Kentstrapper	KENTSTRAPPER VOLTA BETA	\$ 1,440.00
Italy	Kentstrapper	MENDEL MAX	\$ 2,500.00
Italy	Robot Factory	3D-One	\$ 3,957.00
Italy	Sharebot	Mounting Kit Pro	\$ 1,231.00
Italy	Sharebot	Sharebot Pro	\$ 1,781.00
Italy	Sharebot	NG Next Generation	\$ 1,917.00
Italy	Store Open Electr.	3Drag 3D printer	\$ 767.00
Italy	Store Open Electr.	3Drag-3D-printer-kit	\$ 772.00
Japan	Hot Proceed	Blade-1	\$ 1,642.00
Japan	OpenCube	SCOOVO C170	\$ 1,943.00
Korea	Backho Co.	Willybot 1.3	\$ 800.00
Lebanon	Shark	Shark	\$ 1,980.00
Netherlands	Code-p	Builder	\$ 1,694.00
Netherlands	Conrad	Velleman K8200	\$ 955.00
Netherlands	Conrad	3D Systems 3D-printer CUBE 381000	\$ 2,732.00
Netherlands	Felix Printers	Felix 1.0 Complete Kit	\$ 1,115.00
Netherlands	Leapfrog	Creatr	\$ 1,669.00

Netherlands	Leapfrog	Xeed	\$ 7,411.00
Netherlands	MaukCC	Cartesio M V0.9	\$ 2,788.00
Netherlands	MaukCC	CartesioW V0.9	\$ 3,444.00
Netherlands	Mendel Parts	Orca v0.43 Unassembled	\$ 1,220.00
Netherlands	PP3DP	UP! Plus	\$ 2,701.00
Netherlands	Ultimaker Shop	Ultimaker Original	\$ 1,633.00
Netherlands	Ultimaker Shop	Ultimaker Original	\$ 2,325.00
Netherlands	Ultimaker Shop	The Ultimaker 2	\$ 2,593.00
New Zealand	MindKits	DiamondMind 3D Printer V2	\$ 1,304.00
Poland	3FX.eu	GolemD	\$ 944.00
Poland	CB-Printer	3D Printer CB-printer KIT	\$ 2,375.00
Poland	CB-Printer	3D Printer CB-printer.com	\$ 2,647.00
Poland	GADGETS3D	RepRap G3D	\$ 499.00
Poland	GADGETS3D	RepRap Mendel Max 1.5 DIY KIT	\$ 599.00
Poland	Mojregrap	Profabb GATE LE DIY Kit	\$ 855.00
Poland	Mojregrap	Profabb GATE LE	\$ 1,382.00
Poland	Omni3d	RapCraft 1.3 Kit	\$ 1,976.00
Poland	Omni3d	RapCraft 1.3	\$ 2,302.00
Poland	Omni3d	Factory 1.0	\$ 3,920.00
Poland	Omni3d	Architect	\$ 6,225.00
Poland	Pirx	Pirx	\$ 799.00
Poland	ZMorph	ZMorph3d	\$ 2,122.00
Poland	Zortax	Zortrax M200 3D-printer	\$ 1,899.00
Portugal	Beeverycreative	BEETHEFIRST	\$ 3,058.00
Singapore	Pirate 3D	Buccaneer 3D printer	\$ 347.00
Singapore	Portabee	Portabee 3D printer kit (unassembled)	\$ 499.00
Singapore	Portabee	Panther 3D Printer	\$ 960.00
Singapore	Romscraj	Portabee Go	\$ 395.00
Singapore	Romscraj	Portabee 3D Printer Kit	\$ 499.00
Singapore	Romscraj	Durbie Prusa Mendel RepRap	\$ 599.00
Singapore	Romscraj	MOB 3D-printer	\$ 960.00
South Korea	BatBot	BatBot 3D printer	\$ 1,166.00
South Korea	BatBot	BatBot 3D printer	\$ 1,632.00
Spain	3D Kits	Status 3D printer	\$ 2,503.00
Spain	Marcha technology	Witbox Prusa	\$ 2,715.00
Spain	Marcha technology	Witbox Helios	\$ 2,783.00
Switzerland	Delta Tower	Delta Tower	\$ 4,891.00
Taiwan	ATOM 3dp	Atom 3D-printer	\$ 1,865.00
Taiwan	EZ 3D printers	EZ 3D Printer-200	\$ 3,985.00
Taiwan	EZ 3D printers	EZ 3D Printer-200H	\$ 4,495.00
Taiwan	Intelligent Ma. Inc.	Metalbot Metal RepRap	\$ 1,190.00
UK	Active 3D	ARA - X	\$ 899.00
UK	Active 3D	ARA - X	\$ 1,199.00
UK	Choc Edge	Chocolate Choc Creator V1	\$ 3,987.00
UK	RepRapPro	Complete RepRapPro Huxley Kit	\$ 637.00

UK	RepRapPro	RepRapPro Mono Mendel	\$ 802.00
UK	RepRapPro	RepRapPro Tricolour Mendel	\$ 1,189.00
UK	Sumpod	Sumpod Delta	\$ 480.00
UK	Sumpod	Sumpod Aluminium	\$ 1,286.00
UK	Sumpod	Sumpod Mega	\$ 4,871.00
UK	York 3D Printers	Buildabot 'Revolution' 3d Printer Kit	\$ 1,180.00
UK	York 3D Printers	Buildabot 'Revolution' 3d Printer	\$ 2,275.00
USA	3D Botic	MendelBot MM151 DIY Kit	\$ 1,199.00
USA	3D Botic	MM151 Complete	\$ 1,599.00
USA	Actuity Design	Acuity MendelMax 3D-printer	\$ 1,800.00
USA	Actuity Design	Helix – 3D Printer	\$ 7,200.00
USA	Afinia	Afinia H-Series	\$ 1,599.00
USA	Airwolf 3D	AW3D V.5	\$ 1,295.00
USA	Airwolf 3D	AW3D V.5 Assembled	\$ 1,695.00
USA	Airwolf 3D	AW3D XL	\$ 1,895.00
USA	Airwolf 3D	AW3D XL Assembled	\$ 2,295.00
USA	Blue Eagle Labs	Kossel Clear PLA Kit	\$ 650.00
USA	Blue Eagle Labs	Kossel Clear ABS Kit	\$ 750.00
USA	botobjects	ProDesk 3D	\$ 3,784.00
USA	Cubify	CubeX 3D printer	\$ 2,615.00
USA	Deezmaker	Bukobot Mini "Green"	\$ 699.00
USA	Deezmaker	Bukobot 8 Vanilla 3D Printer kit	\$ 1,299.00
USA	Deezmaker	Bukobot 8 v2 Duo Kit (Dual Extruders)	\$ 1,499.00
USA	Essential Dynamics	Imagine 3D Printer	\$ 3,795.00
USA	Eventorbot	Eventorbot 3D printer	\$ 580.00
USA	Fablicator	Fablicator	\$ 3,495.00
USA	Hyrel 3D	Tinkerer E1	\$ 1,995.00
USA	Hyrel 3D	Hobbyist E2	\$ 2,145.00
USA	Hyrel 3D	Apprentice E3	\$ 2,495.00
USA	Hyrel 3D	Journeyman E4	\$ 2,695.00
USA	Hyrel 3D	Professional E5	\$ 3,095.00
USA	Hyrel 3D	System 30	\$ 3,995.00
USA	inDimension3	Glacier Steel - Dual Head Printer	\$ 3,300.00
USA	inDimension3	Glacier Peak - Dual Head Printer	\$ 4,150.00
USA	inDimension3	Glacier Summit - Dual Head Printer	\$ 5,999.00
USA	InDimension3	Glacier Summit Plus	\$ 7,495.00
USA	Invent Apart	RigidBot 10x10x10 kit	\$ 499.00
USA	Invent Apart	RigidBot Big 3D printer	\$ 899.00
USA	Isis3D	Isis One	\$ 2,199.00
USA	Lulzbot	AO-101 3D Printer	\$ 1,725.00
USA	Lulzbot	TAZ 3D-printer	\$ 2,195.00
USA	Makerbot	MakerBot Replicator 2	\$ 2,199.00
USA	Makerbot	MakerBot Replicator 2X	\$ 2,799.00
USA	Makerfarm	Prusa 6 "i3	\$ 520.00
USA	Makerfarm	Prusa 8 "i3 Kit	\$ 585.00

USA	Makergear	M2 3DPrinter-Assembled	\$ 1,775.00
USA	Makerjuice	mUve 1 Kit	\$ 599.00
USA	Makerjuice	OpenSL v1.0	\$ 1,295.00
USA	Makergear	M2 3D Printer- Kit	\$ 1,475.00
USA	MendelMax	MendelMax 2.0 Beta Kit	\$ 1,595.00
USA	NW RepRap	Prusa Mendel Iteration 2 Complete Kit	\$ 799.00
USA	Plastic Scribbler	Asterid Model 1000S	\$ 499.00
USA	Printrobot	Printrobot Simple	\$ 299.00
USA	Printrobot	Printrobot Simple Assembled	\$ 399.00
USA	Printrobot	Printrobot Jr (v2) kit	\$ 539.00
USA	Printrobot	Printrobot Jr. (v2)	\$ 699.00
USA	Printrobot	Assembled Printrobot PLUS	\$ 999.00
USA	QU-BD	QU-BD One Up	\$ 199.00
USA	QU-BD	QU-BD Two-Up	\$ 279.00
USA	QU-BD	Revolution 3D Printer	\$ 999.00
USA	QU-BD	Revolution XL 3D printer	\$ 1,299.00
USA	QU-BD	RPM Rapid Prototyping Mill	\$ 1,999.00
USA	re.3d.org	Gigabot	\$ 3,950.00
USA	re.3d.org	Gigabot	\$ 5,450.00
USA	Robo 3D	RoBo 3D "PLA Model"	\$ 599.00
USA	Robo 3D	RoBo 3D "ABS+PLA Model"	\$ 699.00
USA	SeeMeCNC	Rostock MAX BYOE KIT	\$ 749.00
USA	SeeMeCNC	Rostock MAX BYOL KIT	\$ 825.00
USA	SeeMeCNC	Rostock MAX Complete 3D Printer Kit	\$ 1,000.00
USA	SeeMeCNC	ORION Delta 3D-printer	\$ 1,499.00
USA	Solidoodle	Solidoodle 3D Printer, 2nd Generation	\$ 499.00
USA	Solidoodle	Solidoodle 3D Printer, 3rd Generation	\$ 799.00
USA	Stratasys	Mojo	\$ 10,454.00
USA	Stratasys	uPrint SE	\$ 15,900.00
USA	Stratasys	uPrint SE Plus	\$ 18,769.00
USA	Tantillus	Tantillus 3D printer	\$ 925.00
USA	Tantillus	Tantillus 3D printer	\$ 1,500.00
USA	Terawatt Industries	MendelMax 1.5	\$ 1,225.00
USA	Terawatt Industries	PrismX	\$ 1,645.00
USA	TrinityLabs	Aluminatus TrinityOne 3d Printer	\$ 2,199.00
USA	Type A Machines	Series 1	\$ 1,695.00

FONTE: Adaptado de 3DERS (2013)