

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MAGNA CAIRES AGUIAR

**AVALIAÇÃO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA EM IMPRESSÃO 3D
COMO UMA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA APLICADA AO
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS – UM ESTUDO MULTICASO**

MARÍLIA
2013

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MAGNA CAIRES AGUIAR

**AVALIAÇÃO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA EM IMPRESSÃO 3D
COMO UMA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA APLICADA AO
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS – UM ESTUDO MULTICASO**

Trabalho de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:
Prof. Ms. Rodrigo Fabiano Ravazi

MARÍLIA
2013

Aguiar, Magna Caires

Avaliação da Prototipagem Rápida em Impressão 3D como uma inovação tecnológica aplicada ao desenvolvimento de produtos – Um estudo multicaso / Magna Caires Aguiar; orientador: Rodrigo Fabiano Ravazi. Marília, SP: [s.n.], 2013.

85 f.

Trabalho de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília –UNIVEM, Marília, 2013.

1. Desenvolvimento de Produtos 2. Protótipo 3. Prototipagem Rápida 4. Inovação

CDD: 658.575



FUNDAÇÃO DE ENSINO "EURÍPIDES SOARES DA ROCHA"
Mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília - UNIVEM
Curso de Engenharia de Produção.

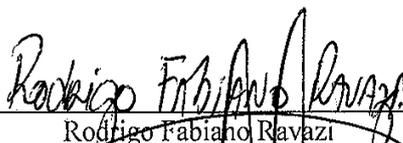
Magna Caires Aguiar - 44214-3

TÍTULO "Avaliação da prototipagem rápida em impressão 3D como uma
inovação tecnológica aplicada ao desenvolvimento de produtos - um estudo
multicaso "

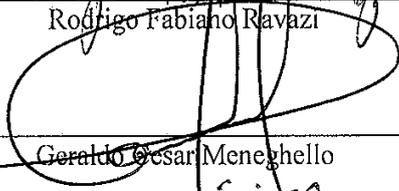
Banca examinadora do Trabalho de Curso apresentada ao Programa de Graduação em
Engenharia de Produção da UNIVEM, F.E.E.S.R, para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia de Produção.

Nota: 9,5

ORIENTADOR: _____


Rodrigo Fabiano Ravazi

1º EXAMINADOR: _____


Geraldo Cesar Meneghello

2º EXAMINADOR: _____


Edson Detregiachi Filho

Marília, 03 de dezembro de 2013.

Dedico esse trabalho primeiramente à Deus, pelo esplendor da vida, presente em todas as atividades;

Dedico o meu trabalho e todo o meu esforço nestes cinco anos aos meus pais Lorivaldo e Luzinete, que em meio a distância, dificuldades, correrias me acompanharam em todos os momentos, de conquistas à tempestades. Mãe e pai que me lapidaram com a simplicidade, humildade, conceitos e valores mais precisos, e jamais me deram conselhos de desistência.

Dedico este trabalho ao grande amor da minha vida, Josimar, meu noivo que o Pai preparou com muito carinho. Uma pessoa extremamente companheira. Desempenha-se muito bem encorajando meu coração com muito carinho.

Dedico esse trabalho também ao meu irmão, Leonardo, que mesmo indiretamente me inspirou em lutar pelo meu objetivo e junto a mim enfrentou toda a distância dos nossos pais.

AGRADECIMENTOS

*“Posso, tudo posso Naquele que me fortalece
Nada e ninguém no mundo vai me fazer desistir
Quero, tudo quero, sem medo entregar meus projetos
Deixar-me guiar nos caminhos que Deus desejou pra mim e ali estar”
(Pr. Fabio de melo)*

Primeiramente agradeço ao grande Deus da minha vida, Pai Eterno, que em sua infinita bondade forneceu sabedoria e forças para enfrentar estes cinco anos de estudos. Que em meio aos choros por saudade de casa me fortalecia rumo ao alvo que havíamos traçado.

Mais uma vez agradeço a minha família, que não deixou de me apoiar em nenhum momento. E em meio às dificuldades investiram em mim porque acreditaram que eu era capaz. Hoje digo: Valeu a pena, obrigada por terem acreditado em mim.

Meu muito obrigada ao meu noivo, como companheiro caminhou junto comigo me acolhendo e me levantando em tantas horas que parecia impossível continuar lutando. Contribuiu ativamente em todos os momentos sugerindo ideias extraordinárias que contribuíram para a construção deste trabalho.

Não posso me esquecer de agradecer ao prof. Rodrigo Fabiano Ravazi que me orientou no decorrer deste trabalho com toda a sua dedicação, auxiliando tecnicamente a fim de alcançar os objetivos planejados.

Agradeço a todos que de uma forma ou outra me ajudaram a galgar mais este degrau na vida.

Aqui fica a minha imensa gratidão.

*“O fracasso é somente a oportunidade de
começar de novo, de forma mais inteligente”.*

Henry Ford.

AGUIAR, Magna Caires. **Avaliação da Prototipagem Rápida em Impressão 3D como uma inovação tecnológica aplicada ao desenvolvimento de produtos – Um estudo multicaso**. 2013. 85 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2013.

RESUMO

O presente trabalho tem a finalidade de mostrar que a Tecnologia de Prototipagem Rápida em impressão 3D, um processo baseado na adição de material em camadas sucessivas para construção de protótipos não é recente, porém nos últimos anos se tornou acessível e presente em diversos segmentos. No mercado atual a agilidade e diminuição de custos no desenvolvimento de produtos se tornam fatores diferenciais em termos de competitividade e a prototipagem entra como ferramenta crucial nesta estratégia. O método utilizado para desenvolvimento do trabalho está baseado na pesquisa bibliográfica em conjunto com a pesquisa descritiva, proporcionando a oportunidade de execução de entrevistas com empresas da região de Marília-SP. O principal resultado da pesquisa constatou que a Prototipagem Rápida em impressão 3D vem ganhando espaço no mercado se tornando uma febre mundial. Os equipamentos e seus processos são de fácil utilização, e quando bem utilizados, os benefícios se tornam bem visíveis.

Palavras-chave: Desenvolvimento de Produto. Protótipo. Prototipagem Rápida. Inovação

AGUIAR, Magna Caires. **Avaliação da Prototipagem Rápida em Impressão 3D como uma inovação tecnológica aplicada ao desenvolvimento de produtos – Um estudo multicaso.** 2013. 85 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2013.

ABSTRACT

This work shows that the Fast Technology Prototyping 3D printing, a process based on the addition in successive layers for construction of prototypes is not recent, however in the last few years became accessible and present in various segments. In the current market the agility and decrease of cost in the development of products has become factors differential in terms of competitiveness, and the prototyping comes as an important tool in this strategy. The method used for development of work is based on the bibliographical research with the descriptive research, providing the opportunity of interviews with companies in Marília-SP. The principal result of the Fast Prototypes 3D printing it is an up and coming product in the market that is gaining more popularity. The equipments and the processes are easy to use, and when well used, the benefits are seen fast.

Keywords: Development of Product. Prototype. Fast prototyping. Innovation

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modelo de referência para desenvolvimento de produtos	16
Figura 2 - Processo de fabricação de protótipos.....	21
Figura 3 - Diferença de resistência em função da orientação de fabricação do protótipo.....	23
Figura 4 - Efeito escada em função do ângulo de inclinação da superfície	24
Figura 5 - Orientações críticas para prototipagem Rápida	25
Figura 6 - Ilustração de área que precisa de suporte em regiões em balanço.....	26
Figura 7 - Malha STL.....	28
Figura 8 - Cubo representado em STL com vetores normais.....	29
Figura 9 – Funcionamento do processo Estereolitografia (SLA).....	32
Figura 10 – Funcionamento do processo Polyjet (IJP).....	33
Figura 11 – Funcionamento do processo InVision (IJP).....	34
Figura 12 - Funcionamento do processo FDM.....	36
Figura 13 - Funcionamento do processo LOM.....	37
Figura 14 – Funcionamento do processo com lâminas de papel (PLT)	39
Figura 15 – Funcionamento da Impressão a jato de tinta (IJP) - Thermojet da 3D Systems ...	40
Figura 16 – Funcionamento da Impressão a Jato de Tinta (IJP) - Benchtop da Solidscape.....	41
Figura 17 – Funcionamento da Sinterização Seletiva a Laser (SLS)-3D Systems.....	43
Figura 18 – Funcionamento da Sinterização a Laser – sistemas EOSINT da EOS	44
Figura 19 - Funcionamento do processo LENS da Optomec	45
Figura 20 – Funcionamento da Impressão Tridimensional (3DP) da Z corporation.....	47
Figura 22 - Tipos de cavidades construídas por SL:	50
Figura 23 - Etapas do processo para confecção de moldes de silicone.....	53
Figura 24 - Etapas para confecção de moldes por pulverização metálica.....	55
Figura 25 - Etapas para confecção da cavidade pelo processo 3D Keltool.....	56
Figura 26 - Equipamento FDM, uma modelação por extrusão de plástico	65
Figura 27 - Cartucho de impressão (Filetes de plásticos ABS plus)	66
Figura 29 - Câmera de banho para remover material suporte	67
Figura 30 - Reservatório de matéria prima.....	69
Figura 31 - Equipamento de impressão a jato de tinta (IJP) da Polyjet.	70
Figura 32 - Lavagem a jato de água em câmara fechada.	71
Figura 33 - Lavadora a jato de água	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estrutura de uma representação de arquivo STL binário	29
Tabela 2 - Comparação de informações	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASCII - Representação em caracteres de texto

BOM - Estruturas de produto preliminar

CAD - Desenho auxiliado por computador

CAPP - Computer Aided Process Planning ou Planejamento do Processo Assistido por Computador

CAE – Computer Aided Engineering

EUA - Estados Unidos

FDM - Modelagem por fusão e deposição

FMEA - Failure Model and Effect Analysis ou Analise de modo de falha e efeito

IJP - Impressão a jato de tinta

ISO 9000 – Norma Gestão da Qualidade

LENS - Fabricação da forma final a laser

LOM - Manufatura laminar de objetos

KANBAN – Registro ou Placa Visível

PLT - Tecnologia com Lâminas de Papel

PP - Polipropileno

RP - Rapid Prototyping – Prototipagem Rápida

RT - Ferramental Rápido

STL ou SL – Stereolithography - Estereolitografia

SLA - StereolithographyAppatarus – Estereolitografia

SLS - Sinterização Seletiva a Laser

UV - Ultravioleta

3DP - Impressão Tridimensional

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	14
CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
1.1 Desenvolvimento de produtos.....	15
1.2 Protótipos	19
1.3 Princípio da Prototipagem Rápida em impressão 3D	20
1.4 Etapas dos processos de prototipagem Rápida em impressão 3D.....	21
1.5 Formato do arquivo STL –StereoLithography	28
1.6 Processos de Prototipagem Rápida em impressão 3D	30
1.6.1 Processos baseados em líquido	31
1.6.1.1 Estereolitografia (SL ou SLA)	31
1.6.1.2 Impressão a jato de tinta (IJP) – Polyjet da Objet.....	32
1.6.1.3 Impressão a jato de tinta (IJP) – InVision da 3D Systems.....	33
1.6.2 Processos baseados em sólido.....	34
1.6.2.1 Modelagem por fusão e deposição (FDM) da Stratasys	34
1.6.2.2 Manufatura Laminar de Objetos (LOM) da Cubic Technology	36
1.6.2.3 Tecnologia com Lâminas de Papel (PLT) da Kira.....	38
1.6.2.4 Impressão a Jato de Tinta (IJP) – Thermojet da 3D Systems	39
1.6.2.5 Impressão a Jato de Tinta (IJP) – benchtop da Solidscape	41
1.6.3 Processos baseados em pó.....	42
1.6.3.1 Sinterização Seletiva a Laser (SLS) da 3D Systems.....	42
1.6.3.2 Sinterização a Laser – sistemas EOSINT da EOS	43
1.6.3.3 Fabricação da forma final a laser (LENS) da Optomec	45
1.6.3.4 Impressão Tridimensional (3DP) da Z Corporation.....	46
1.6.3.5 Impressão tridimensional (3DP) – ProMetal da EX One Corporation	47
1.7 Ferramental Rápido.....	49
1.7.1 Confecção Direta.....	49
1.7.1.1 Moldes poliméricos por SL – “Direct AIM”	49
1.7.1.2 Moldes metálicos por sinterização seletiva a laser (SLS) – “Rapid Tool”	50
1.7.1.3 Moldes metálicos por sinterização a laser em equipamentos EOS – “DirectTool”.....	51
1.7.1.4 Moldes metálicos por impressão tridimensional (3DP) – “ProMetal”.....	51
1.7.1.5 Cavidades metálicas pelo processo fabricação da forma final a laser (LENS).....	52

1.7.2	Confecção Indireta	52
1.7.2.1	Moldes de borracha silicone (RTV – Silicone “Rubber Molds”)	53
1.7.2.2	Moldes de epóxi com carga de alumínio por vazamento	54
1.7.2.3	Moldes por pulverização metálica	54
1.7.2.4	Moldes metálicos por eletrodeposição – “RePliForm”	55
1.7.2.5	Moldes metálicos por sinterização a partir de modelos de esteriolitografia	56
1.8	Inovação	57
1.9	Dificuldades e Tendências	58
CAPÍTULO 2 – OBJETIVO		61
2.1	Objetivos Específicos	61
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA		62
3.1	Materiais	63
3.2	Procedimentos	63
3.3	Análises	63
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS		64
4.1	Aplicação do Questionário na Empresa A	64
4.2	Aplicação do Questionário na Empresa B	69
4.3	Aplicação do Questionário na Empresa C	74
4.4	Tabela Comparativa de Resultados	75
CAPITULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS		77

INTRODUÇÃO

Na realidade atual o desenvolvimento de novos produtos se faz necessário para garantir o sucesso econômico das empresas. As empresas devem compreender os requisitos do cliente para rapidamente atender às suas necessidades objetivando a satisfação do cliente e sua própria sobrevivência no mercado.

O desenvolvimento de produto é um processo de negócio que compreende um conjunto de atividades/fases desde a modelagem da ideia até a entrega de todas as informações necessárias para que a produção seja capaz de fabricar o produto desejado pelo cliente.

Em uma das fases do desenvolvimento de produto está compreendida a fabricação do protótipo, ou seja, a materialização da ideia inicial do projeto que possibilita a realização de testes, avaliações antes de confeccionar o ferramental definitivo.

A tecnologia denominada prototipagem rápida em impressão 3D é a maneira inovadora para construção do protótipo. A sua correta utilização pode garantir a redução de erros, tempo e custos relacionados ao projeto. O princípio de funcionamento da mesma está baseado na deposição de material em camadas sucessivas. Os materiais utilizados na prototipagem rápida em impressão 3D são classificados em sólido, líquidos e em pó.

A prototipagem rápida em impressão 3D também pode ser utilizada para confecção de um ferramental rápido cujo intuito é utiliza-lo como matriz para fabricação de um pequeno lote de peças. Este procedimento pode ser realizado quando se precisa de um número maior de um mesmo protótipo. Se esta quantidade maior fosse confeccionada totalmente pela prototipagem rápida em impressão 3D não haveria viabilidade em termos de tempo e custo.

Boa parte das empresas já faz utilização dessa tecnologia em seus desenvolvimentos de produto, essa informação pode indicar que a tecnologia está crescendo consideravelmente não só em âmbito nacional como também mundial.

Diante disso, é relevante salientar que a prototipagem rápida em impressão 3D merece ser estudada porque pode oferecer ao desenvolvimento confiabilidade, maior qualidade aos produtos desenvolvidos e otimização de tempos e custos.

CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada uma revisão geral de todo o processo de desenvolvimento de produto, seguido das definições, tecnologias, processos, materiais relacionadas à RP (prototipagem rápida) em impressão 3D.

1.1 Desenvolvimento de produtos

O mercado atual exige que as empresas desenvolvam produtos com qualidade, aliados ao menor tempo e custo. E algumas empresas ainda, trabalham com estratégia deliberada chamada obsolescência programada, ou seja, um plano de negócios que prevê o envelhecimento de seus próprios produtos para que consumidores sintam a necessidade de comprar novos modelos e assim manterem-se atualizados. Partindo destes pontos de vista, o sucesso econômico das empresas está associado às habilidades delas em identificar as necessidades dos clientes e rapidamente criar produtos que atendam a essas necessidades.

Desenvolver produtos consiste em um conjunto de atividades por meio das quais busca-se, a partir das necessidades do mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas, e considerando as estratégias competitivas e de produto da empresa, chegar às especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo.

O desenvolvimento de produtos é considerado um processo de negócio cada vez mais crítico para a competitividade das empresas, principalmente com a crescente internacionalização dos mercados, aumento da diversidade e variedade de produtos e redução do ciclo de vida dos produtos no mercado. Novos produtos são demandados e desenvolvidos para atender os segmentos específicos de mercado, incorporar tecnologias diversas, se integrar a outros produtos e usos e se adequar a novos padrões e restrições legais. (ROSENFELD et al. 2006, p.3;4).

Segundo Barbosa Filho (2009), desenvolver um produto para um mercado é bem mais do que empreender transformando uma ideia ou necessidade em um projeto, e em seguida fabricá-lo. Com o crescimento da consciência ecológica, surge um novo perfil de consumidores que exige produtos robustos, duráveis e com estética agradável. Sendo assim, podemos dizer que a ideia que o produto esteticamente agradável tem qualidade inferior, já não é mais aceita em nossa realidade atual, ou seja, o mercado consumidor tornou-se mais exigente, principalmente no que diz respeito à união entre qualidade, praticidade e estética dos produtos.

Como diz Barbosa Filho (2009), serão inúmeros os questionamentos e desafios no processo de desenvolvimento de um novo produto. O primeiro deles é analisar o que se pode

extrair das tecnologias já existentes no mercado, em outras palavras, utilizar o benchmarking como ferramenta para alcançar o produto perfeito. Também é considerado como grande desafio, a minimização do tempo de desenvolvimento do produto de forma que sua confiabilidade seja mantida, a isso estão associadas às diversas fases dentro dos modelos de referência existentes. Outro questionamento importante é evitar custos e tempos excessivos relacionados à construção dos protótipos. É de extrema relevância que a equipe de desenvolvimento tenha conhecimento de que produto e processo devem caminhar interligados, desde sua concepção até sua entrega técnica, considerando aspectos como: segurança, ergonomia, eficiência, produtividade, qualidade, estética, vida útil, entre outros.

Para tanto, é necessário utilizar processos e ferramentas de desenvolvimento que garantam o sucesso dos produtos.

O desenvolvimento de produto precisa ser um processo eficaz e eficiente para realmente cumprir sua missão de favorecer a competitividade da empresa. O desempenho desse processo depende, fundamentalmente, do modelo geral para sua gestão, o qual, por sua vez, determina a capacidade de as empresas controlarem o processo de desenvolvimento e de aperfeiçoamento dos produtos e de interagirem com o mercado e com as fontes de inovação tecnológica.

O processo de desenvolvimento de produtos sistematizado e documentado permite que as particularidades de cada projeto e equipe de desenvolvimento sejam atendidas e, ao mesmo tempo, garante-se a utilização das melhores práticas de projeto e um linguajar padronizado e único para toda a corporação. Destaca ainda que com o processo de desenvolvimento de produtos sistematizado e esquematizado o modelo de referência, este é dividida em macro fases, subdivididas em fases e atividades.

O que caracteriza uma fase é a entrega de um conjunto de resultados (deliverables), que, juntos, determinam um novo patamar de evolução do projeto de desenvolvimento. Os resultados criados em cada fase permanecerão “congelados”, a partir do momento em que a fase é finalizada. (ROSENFELD et al. 2006, p.32;41;44)

Figura 1 - Modelo de referência para desenvolvimento de produtos



ROSENFELD et al. (2006), define o desenvolvimento de produtos em sete fases: conceber produto, conceituar produto, projetar produto e processo, homologar produto, homologar processo, ensinar à empresa e iniciar a produção.

Conceber produto é a primeira fase que tem por objetivo compreender as necessidades e expectativas do cliente para planejar e definir o produto. Dentro desta fase podem ser desenvolvidas pesquisas encomendadas, observação de concorrentes, necessidade de melhorias, além da opinião do cliente, afinal é o principal alvo a ser atendido com o desenvolvimento do produto. A partir dos resultados uma proposta é escolhida, e um grupo multifuncional começa a definir as diretrizes do produto, analisando-se custo, retorno esperado, data previa para lançamento, especificações do produto. Ao final desta fase é entregue como resultados “deliverables” a ideia pré-projetada e um cronograma com os marcos principais do projeto baseado no modelo de referência apresentado na Figura 1. (ROSENFELD et al. 2006)

Conceituar produto é a próxima fase descrita por ROSENFELD et al. (2006), esta fase consiste em aperfeiçoar as diretrizes obtidas na fase anterior com informações mais detalhadas do produto que posteriormente se tornam especificações técnicas do produto. Nesta fase é importante envolver a qualidade, manufatura, projeto, marketing entre outros. Com as especificações técnicas definidas, é possível criar a estrutura de produto preliminar BOM – “bill of material”, ou seja, uma lista de todas as sub-montagens, componentes intermediários, matérias-primas e itens comprados para fabricação ou montagem do produto com suas respectivas quantidades que serviram de base para algumas decisões importantes como: fazer ou comprar um componente, previsão de custos de fabricação, possíveis fornecedores que poderiam ser envolvidos desde o início do desenvolvimento, definição de kanban, entre outras. Com as diretrizes detalhadas e validadas pela equipe multifuncional em conjunto com a alta administração é tomada a decisão de dar-se continuidade ou não no desenvolvimento do produto.

ROSENFELD et al. (2006) descreve projetar produto e processo como a fase de detalhamento. O autor explica que nesta fase se inicia o detalhamento do produto levando-se em consideração a opinião de especialistas e o resgate de informações de produtos semelhantes. Esse detalhamento servirá de base para criação de novos desenhos e desenvolvimento de processos, podendo estes serem elaborados com apoio de sistemas de informática (CAD, CAPP e CAE). O autor ressalta que antes de detalhar um componente é preciso tomar a decisão de “to make or to buy” e com a decisão tomada é importante conhecer a procedência do componente ou seus derivados, bem como seu volume e preço. Depois do

detalhamento, uma montagem eletrônica do conjunto final é realizada para verificar dimensional. Em paralelo se inicia a construção do protótipo físico, que possibilitará diferentes tipos de verificação do projeto, podendo em alguns casos assumir o papel funcional das peças. A construção do protótipo assume o propósito de aumentar as chances de detecção de problemas nas fases iniciais, aonde ainda não houve grandes investimentos e o projeto ainda pode ser alterado sem muitos danos. Ainda nesta fase, a equipe multifuncional tem a oportunidade de detectar itens críticos, problemas de importação, desenvolvimento de dispositivos, entrega de protótipos, falta de capacidade de uma máquina ou equipamento de teste, todos estes problemas são tratados como falhas potenciais. Com o auxílio da ferramenta FMEA (“Failure Model and Effect Analysis” ou Análise de modo de falha e efeito) estas falhas potenciais de projeto e processo são analisadas. Ao final desta fase, devem ser entregues como resultados “deliverables” todos detalhes do projeto, ou seja, desenho do produto, croquis de fabricação, set-up, inspeção, fluxo de processo, lista de ferramental, lista de materiais, roteiros de fabricação, procedimentos de qualidade, custo do produto, entre vários outros.

Homologar produto é a fase seguinte; todas as atividades desta fase estão relacionadas à aprovação do produto. As premissas e regras da norma ISO 9000 e QS são utilizadas para definir os programas de testes, planos de processo e de controle do protótipo, itens a serem comprados e serviços externos para a sua construção. Inicia-se a confecção do protótipo que será submetido a testes e avaliações, os resultados são expostos em um relatório. Com base nos resultados e possíveis falhas levantadas durante a fase projetar produto, o FMEA de produto é finalizado e o produto é homologado, ou seja, aprovado. (ROSENFELD et al. 2006)

Com o protótipo aprovado é necessário implantar o produto dentro da empresa, e esta atividade está inserida dentro da fase homologar processo. Segundo ROSENFELD et al. (2006) é a hora de detalhar as instruções de montagem, planos de controle, verificar capacidade e funcionalidade do processo. Um primeiro lote, chamado de lote piloto é fabricado com acompanhamento dos especialistas específicos para avaliar possíveis falhas de processo. As falhas encontradas são comparadas com as previstas no FMEA de processo, o plano de controle com as ações corretivas são reavaliados, gerando novos índices de risco. Ao final da fase o processo é homologado por toda a equipe.

Por fim, é necessário realizar a fase ensinar empresa que está fundamentada em transmitir as informações sobre o produto e seus processos para as demais áreas da empresa através de manuais de manutenção, aplicação, catálogos de vendas, realização de cursos e

palestras para pessoas das áreas de marketing, vendas, assistência técnica, planejamento e fabricação. Ainda nesta fase, uma avaliação crítica de todo o desenvolvimento de produto é realizada a fim de levantar as lições aprendidas para os próximos desenvolvimentos.

O autor BAXTER Mike R. (2008) relata que as fases iniciais dentro do modelo de desenvolvimento de produto são as mais relevantes. Nestas fases, os gastos de desenvolvimento ainda são pequenos, envolvendo apenas desenhos e modelos baratos. Já quando falamos das fases posteriores, homologação de produto e processo, por exemplo, grandes investimentos já foram realizados. Neste sentido, podemos concluir que uma das chaves do sucesso no desenvolvimento do produto é o investimento em tempo, talento e tecnologias nas fases iniciais, quando ainda custam pouco. Qualquer modificação nas fases mais avançadas requer grande aumento de custo, pois eles começam nas fases iniciais e crescem verticalmente à medida que o desenvolvimento avança até o início de fabricação.

Se o produto for encaminhado para a manufatura com problemas parcialmente resolvidos, o resultado é o crescimento dos custos para adequação e resolução do problema em produção. (VANZOLINI et al. 2007)

Segundo o autor VANZOLINI et al. (2007, p.413) *“Depois de iniciada a produção de um novo produto, não deve-se mais admitir modificações de engenharia. Todas as modificações imagináveis devem ser feitas durante o tempo de desenvolvimento.”*

Neste sentido, torna-se notável que a construção do protótipo através da prototipagem rápida em impressão 3D pode ser uma tecnologia interessante dentro do desenvolvimento de novos produtos. Existe a possibilidade da tecnologia permitir que protótipos sejam feitos mais depressa e de forma menos custosa, permitindo alterações rápidas de projeto, proporcionando o que é mais relevante dentro do desenvolvimento de produtos: Economia de tempo e de custos, eliminação de erros de projeto e risco de inovações.

1.2 Protótipos

O protótipo pode ser definido como o primeiro modelo, uma ideia materializada de forma tangível, que nos possibilita explorar, testar, avaliar, modificar e impulsionar uma ideia para frente em uma fase anterior a construção do ferramental definitivo. (CANDIDO; JUNIOR, 2009)

A construção de protótipos pode ser essencial para melhorar a comunicação entre todas as pessoas envolvidas no processo de desenvolvimento de produtos, reduzir a possibilidade de falhas e melhorar a qualidade do produto. (CANDIDO; JUNIOR, 2009)

O protótipo físico tridimensional torna-se assim essencial para o desenvolvimento de produtos, ele permite, por exemplo, que os profissionais avaliem a forma, cores, textura, acabamento do produto em detalhes e funcionalidade. Os profissionais podem assimilar melhor as especificações de um produto, quando essas especificações são transmitidas através de um modelo físico, ou protótipo como trataremos neste trabalho. Essa assimilação ocorre por meio dos sentidos do ser humano, principalmente através da visão e do tato, que permite captura de estímulos como brilho, cor, dimensional no espaço, entre outros. (CANDIDO; JUNIOR, 2009)

O protótipo pode ser construído por uma série de processos como, por exemplo, a usinagem em madeira ou metal, porém são processos caros e demorados que estimulam as pessoas a pularem a fase de prototipagem e encaminharem o projeto direto para manufatura final onde são injetados grandes investimentos. A prototipagem rápida em impressão 3D surge como uma técnica inovadora, ela é mais rápida e menos custosa para construção de protótipos. O processo de desenvolvimento de produtos ganha maior confiabilidade por parte das empresas. (CANDIDO; JUNIOR, 2009)

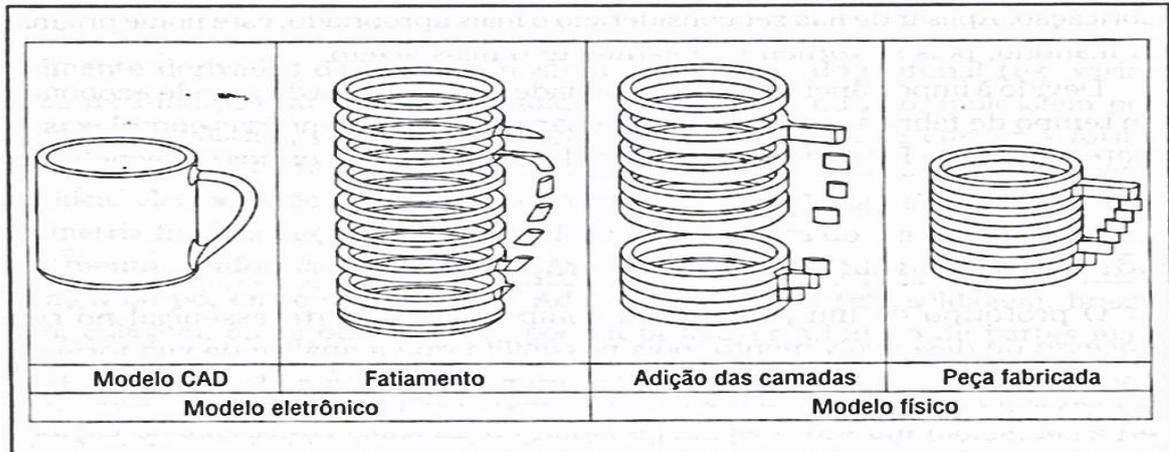
1.3 Princípio da Prototipagem Rápida em impressão 3D

O processo de fabricação de protótipos denominado RP em impressão 3D, é um processo baseado na adição de material em camadas sucessivas, cujo exemplo pode ser visto na Figura 2.

Não é um processo recente, existe aproximadamente há duas décadas, porém somente nos últimos anos está se tornando mais acessível e presente nos mais diversos segmentos. (WENZEL, 2013)

O processo inicia com o modelo 3D da peça no CAD sendo “fatiado” eletronicamente, obtendo-se curvas de níveis 2D que definirão, em cada camada, onde existe ou não material a ser adicionado. Estas camadas serão então processadas sequencialmente, gerando-se a peça física através do empilhamento e aderência das mesmas, iniciado na base e indo até o topo da mesma. (VOLPATO et al,2007, p.3)

Figura 2 - Processo de fabricação de protótipos



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p. 4).

Segundo VOLPATO et al (2007) esses processos podem ser classificados segundo o estado ou a forma inicial da matéria-prima utilizada na fabricação. Sendo assim, podemos dizer que as tecnologias de RP em impressão 3D são classificadas basicamente em três tipos: matéria prima líquida, sólida e em pó.

Para matérias primas que se apresentam líquidas antes do processamento, são utilizadas tecnologias que envolvem a polimerização do líquido por um laser UV, um exemplo é a Estereolitografia. Quando baseadas em sólido (filamentos, lâmina, etc), podem ser utilizadas tecnologias que fundem o material antes de sua deposição, um exemplo é a modelagem por fusão e deposição – FDM; ou tecnologias que recortam uma lâmina do material adicionado apenas, é o caso da Manufatura Laminar de Objetos – LOM. Quando baseadas em pó, um laser pode ser utilizado para o seu processamento, é o princípio da tecnologia de Sinterização Seletiva a Laser – SLS. (VOLPATO et al, 2007)

1.4 Etapas dos processos de prototipagem Rápida em impressão 3D

Apesar de existirem tecnologias diferentes, as etapas do processo de construção do protótipo são similares, conforme descrito abaixo:

1. Criação tridimensional em CAD (Desenho auxiliado por computador) da peça que está sendo projetada.
2. Conversão do arquivo CAD para extensão STL (Stereolithography - aproximação da superfície da peça usando malha de triângulos).

3. Planejamento do processo para a fabricação por camada (Fatiamento do arquivo STL em camadas, estratégias de deposição de material, posição de construção).
4. A fabricação, construção física do modelo, empilhando-se uma camada sobre a outra.
5. Limpeza e acabamento da peça.

Estas são as etapas básicas, porém podem sofrer alterações de acordo com o fabricante da máquina e os diferentes tipos de processo de RP em impressão 3D. (VOLPATO et al, 2007; GORNI, 2001).

Mesmo tendo etapas tão similares, a qualidade do protótipo, seu custo e tempo de produção são consideravelmente dependentes do planejamento do processo de execução de sua construção, assim como da qualidade da mão de obra técnica utilizada. VOLPATO et al (2007) esclarece que essa dependência está relacionada ao tipo de tecnologia utilizada, pois algumas são compostas por muitos parâmetros e exigem treinamento e noções da aplicação a qual se destina o protótipo, outros porém tem poucos parâmetros.

Inicialmente é necessário criar um desenho tridimensional esboçando o protótipo desejado. VOLPATO et al (2007), menciona 3 formas de se obter desenhos tridimensionais: a primeira é pelo método convencional, a criação do desenho em um software CAD; uma segunda forma é a utilização de Scanners industriais, capazes de copiar a geometria de um objeto físico em nuvens de pontos que, tratadas e convertidas em superfícies dão origem ao desenho tridimensional; a terceira forma é a utilização de scanners médicos, onde é possível extrair as informações da anatomia interna de um paciente e através de sistemas específicos construir o desenho tridimensional que poderia ser utilizado por exemplo, para planejamento de uma cirurgia complexa.

Com desenho tridimensional pronto, o próximo passo é a exportação do arquivo para formato STL, uma operação simples que consiste em salvar o arquivo em uma extensão compatível para transmissão de dados aos equipamentos de RP, processo ao qual será detalhado no item 1.5 deste trabalho. (VOLPATO et al, 2007).

A próxima etapa é o planejamento para fabricação por camada, nesta deve ser considerada a orientação das peças, geração de suportes em tecnologias que seja necessário, fatiamento da peça e configuração dos parâmetros distintos por tecnologias de RP em impressão 3D. Antes de explorar esta etapa, algumas características de processo devem ser mencionadas:

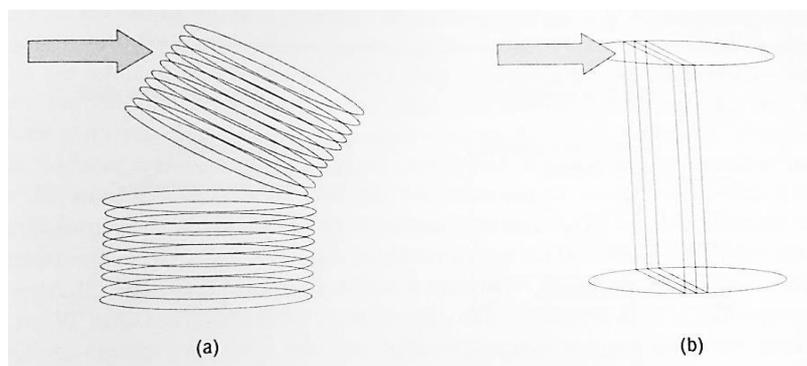
A varredura da ferramenta, bico de extrusão ou laser, dependendo do processo de RP, é feita no plano X, Y e a deposição de camadas no eixo Z. A movimentação no eixo X, Y pode ser feita por uma mesa servocontrolada nestes eixos, como no processo Modelagem por Fusão e Deposição (FDM, de FusedDepositionModeling) ou por deflexão de feixe de laser em espelhos servocontrolados. A movimentação no eixo Z determina o crescimento da peças em camadas e é feita por servomotores. O volume de construção de um equipamento de RP pode ser definido como o maior volume que pode ser efetivamente utilizado para construir protótipos. A forma geométrica destes volumes normalmente são paralelepípedos com as dimensões da base no plano X, Y e a altura no eixo Z. (VOLPATO et al, 2007, p.121).

Conhecendo estas características, pode-se explorar com mais clareza as considerações da etapa de planejamento para fabricação por camada.

A orientação escolhida para construção do protótipo está inteiramente ligada às características finais da peça. Essa afirmação deve-se a particularidades da manufatura por adição de camadas planas, como por exemplo: Anisotropia do protótipo, efeito escada, escalas, paredes finas/pinos e otimização do volume de trabalho para alguns processos. (VOLPATO et al, 2007).

VOLPATO et al (2007) descreve a anisotropia como existência de diferenças nas propriedades mecânicas para cada eixo de construção. O autor relata que no eixo Z de construção, as propriedades mecânicas podem ser afetadas conforme orientação escolhida para construção do protótipo e sua aplicação. Ao longo de todo eixo Z existem pontos de fragilidade, pois é neste que é feita a deposição de material camada sobre camada. Para tentar evitar ou reduzir esses problemas, os parâmetros de cada processo de RP em impressão 3D como preenchimento de camadas, potência de laser e ajustes de temperaturas devem ser considerados. A Figura 3 ilustra a resistência mecânica de uma peça em relação ao eixo de construção das camadas.

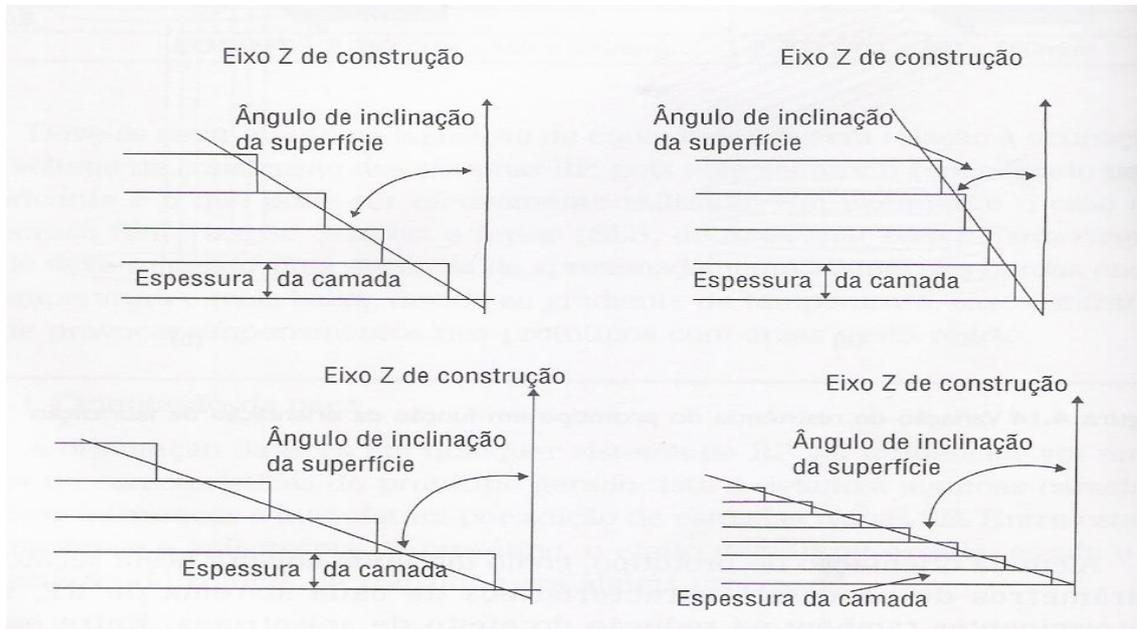
Figura 3 - Diferença de resistência em função da orientação de fabricação do protótipo



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p.125)

Já o efeito escada, gera diferenças de níveis cada vez maiores em função do ângulo de inclinação da superfície e espessura da camada depositada, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Efeito escada em função do ângulo de inclinação da superfície



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p. 126)

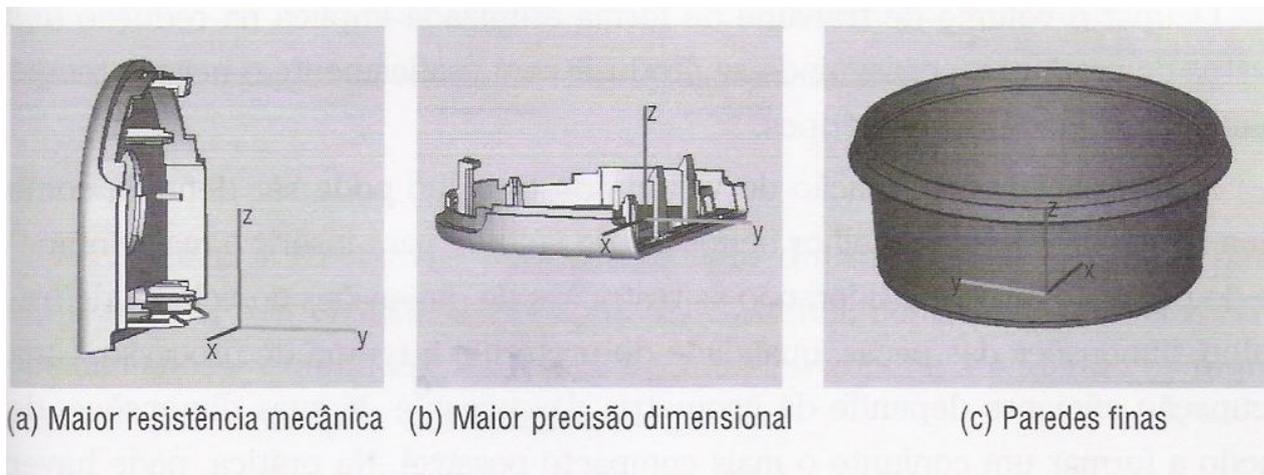
Uma boa alternativa para reduzir este efeito é a diminuição da espessura da camada, em contrapartida, a redução da espessura da camada pode ser um limitante em vários processos de RP em impressão 3D, além de aumentar o tempo de construção. (VOLPATO et al, 2007).

Para escolha da orientação o fator escala deve ser considerado principalmente na construção de protótipos para montagens. VOLPATO et al (2007) faz uma importante observação: o protótipo pode encolher em decorrência do resfriamento após a construção. Neste sentido, aconselha-se que este efeito seja considerado através de escalas de correção, a fim de garantir que as dimensões finais do protótipo sejam próximas das nominais ao fim do processo.

Outra particularidade importante que deve ser conhecida para definição da orientação é paredes finas e pinos. A aplicação a qual se destina o protótipo deve ser analisada para entender quais elementos do protótipo estarão sujeitas a maiores esforços. As geometrias que estiverem sujeitas a maiores esforços devem ser construídas paralelas ao eixo XY, porém é necessário está ciente que esta orientação pode gerar um protótipo com menor precisão

dimensional. Para protótipos com paredes finas, é aconselhado que o mesmo seja construído perpendicular ao eixo XY conforme Figura 5. (VOLPATO et al, 2007)

Figura 5 - Orientações críticas para prototipagem Rápida



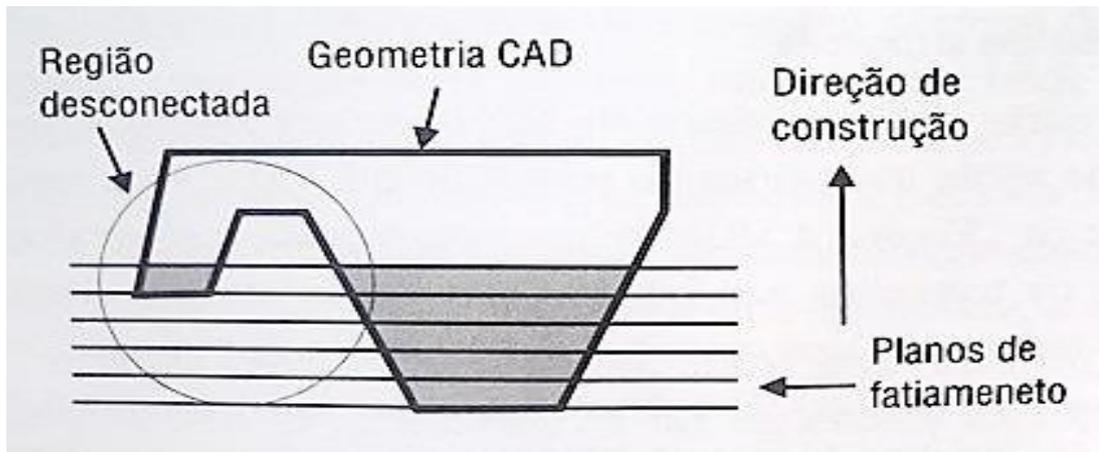
Fonte: VOLPATO et al, (2007, p.129)

É possível otimizar o volume de trabalho colocando varias peças uma ao lado da outra no plano XY, ou mesmo empilhar as peças no eixo Z para serem impressas ao mesmo tempo. Em todos os processos pode-se analisar a possibilidade de colocar varias peças uma ao lado da outra, porém apenas os processos baseados em pó permite o empilhamento no eixo Z utilizando o material não processado como suporte para posicionamento de outras peças nos níveis superiores. Esta é a última particularidade que deve ser analisada para definir a orientação do protótipo, podendo proporcionar redução dos custos de produção pela possibilidade de fabricar em um mesmo espaço de tempo maior quantidade de protótipos. (VOLPATO et al, 2007).

A geração de suportes também faz parte do planejamento para construção do protótipo, e esta foi à solução encontrada a fim de sustentar regiões do protótipo que estariam em balanço durante a sua construção conforme ilustrado na Figura 6. Segundo o autor VOLPATO et al, (2007, p.131) “*Os suportes são gerados automaticamente pelos sistemas específicos para o controle e planejamento de processo que acompanham os equipamentos e/ou pelas ferramentas específicas para manipulação e correção de arquivos STL.*”

Os parâmetros como geometria do suporte, tamanho dos dentes, altura, entre vários outros podem ser definidos conforme disponibilidade de cada processo de RP em impressão 3D.

Figura 6 - Ilustração de área que precisa de suporte em regiões em balanço



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p.132)

Após processamento das peças é necessário remover os suportes, tarefa que pode ser realizada através de operações manuais quando material utilizado como suporte é mais frágil do que o da peça, por imersão em soluções líquidas (agentes corrosivos ou detergentes) que dissolvem o material suporte, sendo possível apenas nos processos mais recentes, ou mesmo por fusão por temperatura, onde o protótipo é submetido à alta temperatura e o material suporte funde-se devido ao menor ponto de fusão. (VOLPATO et al, 2007)

Superfícies inclinadas podem ser construídas sem a necessidade de suporte, desde que esta inclinação seja suficiente para que a camada anterior suporte a posterior. O valor da inclinação máxima que permite a construção do modelo sem necessidade de suporte para uma determinada superfície é dependente do processo e material utilizado.

Para reduzir a quantidade de suportes, que também implica em tempo de processamento para a sua deposição, é importante orientar o modelo de forma mais estável possível na base e com o menor número possível de estruturas em balanço. (VOLPATO et al, 2007, p.132; 133).

Ainda no planejamento para fabricação por camada, deve ser considerada a possibilidade de planejar o fatiamento e preenchimento da camada. VOLPATO et al (2007), esclarece que as fatias são definidas pela espessura da camada, onde será feita a deposição do material que constitui o protótipo através da interação entre os planos paralelos ao eixo de construção e a malha do arquivo STL. O fatiamento pode definir a qualidade superficial do protótipo e o tempo necessário para sua construção. É necessário entender que quanto maior for às camadas, maiores serão os degraus nas superfícies, garantindo menor tempo de construção, porém o comprometimento da qualidade superficial do protótipo. O mesmo

acontece vice-versa. Conhecendo essas particularidades do fatiamento, podemos perceber que o mais importante é estudar cada caso, cada construção de protótipo, pois em cada um deles ou o tempo de construção ou a qualidade superficial pode ser o mais importante.

Em algumas tecnologias de RP em impressão 3D mais modernas, já pode ser observado o conceito de fatiamento adaptativo, onde a camada passa a ter uma espessura variável dependendo da variação dos ângulos das superfícies. Nas regiões com detalhes são geradas camadas finas e nas com poucos detalhes ou inclinação, são geradas camadas mais espessas. Existe também a possibilidade de se considerar como uma estrutura 3D, e ao invés de possuir bordas verticais, passa a ter bordas interpoladas por retirada de material por processo subtrativo (fresagem por exemplo), reduzindo ou eliminando o efeito degrau. Sistemas que utilizam o fatiamento adaptativo ou camada 3D ainda estão a nível de pesquisa ou utilizam montagens manuais das camadas. (VOLPATO et al, 2007, p.134).

Para finalizar o planejamento para fabricação por camada, é realizada a seleção dos parâmetros de processo, responsáveis por criar fisicamente o protótipo. Os parâmetros são específicos por processo, como por exemplo, diâmetro do bico, temperatura do bico, fluxo de material a ser depositada (quantidade), potência de laser são exemplos de alguns parâmetros. A programação adequada é em grande porcentagem dependente da experiência do usuário e a sua interação com os programas, o equipamento e o processo de RP em impressão 3D, além do conhecimento da aplicação do protótipo. (VOLPATO et al, 2007)

Apesar de não estarem inclusos dentro do planejamento para fabricação por camada, também devem ser relatados o pós-processamento e o acabamento do protótipo, atividades que agregam valor ao protótipo melhorando sua qualidade final em termos de acabamento e coloração.

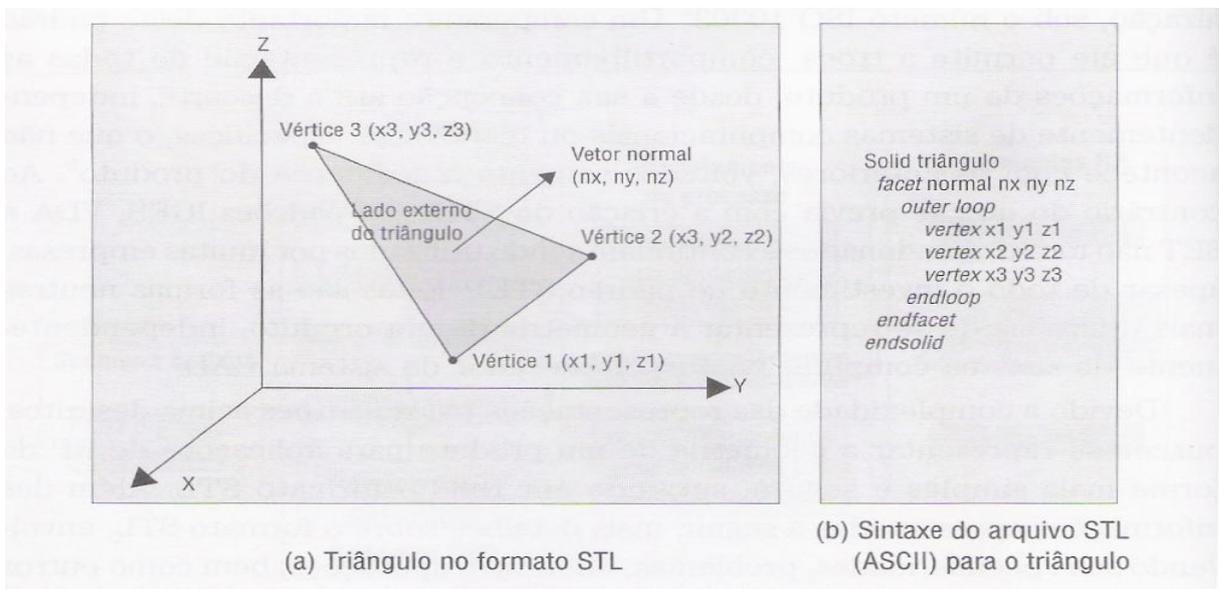
VOLPATO et al (2007) descreve como principais atividades do pós-processamento a finalização com a cura da resina utilizada na construção do protótipo em um forno ultravioleta, a limpeza e retirada de materiais em excesso e a aplicação de resina especial para garantir maior resistência ao protótipo. Já o acabamento é realizado após o pós-processamento, é responsável por adequar o protótipo afim que se destina através de pinturas, revestimentos, polimento, colagem, texturização, entre vários outros. O pós-processamento e o acabamento conferem ao protótipo a realidade mais próxima possível do produto desejado.

1.5 Formato do arquivo STL –StereoLithography

Desenvolvido pela Albert Consulting Group, o formato STL (StereoLithography) foi originalmente idealizado para o processo de Stereolitografia – STL da 3D Systems, porém atualmente é utilizado por todas as tecnologias de RP em impressão 3D.

Este formato representado na Figura 7 apresenta de forma simples e robusta as superfícies de objetos na forma de triângulos irregulares não ordenados que recobre toda a superfície do objeto com malhas, desconsiderando informações de cor e textura. (VOLPATO et al, 2007)

Figura 7 - Malha STL



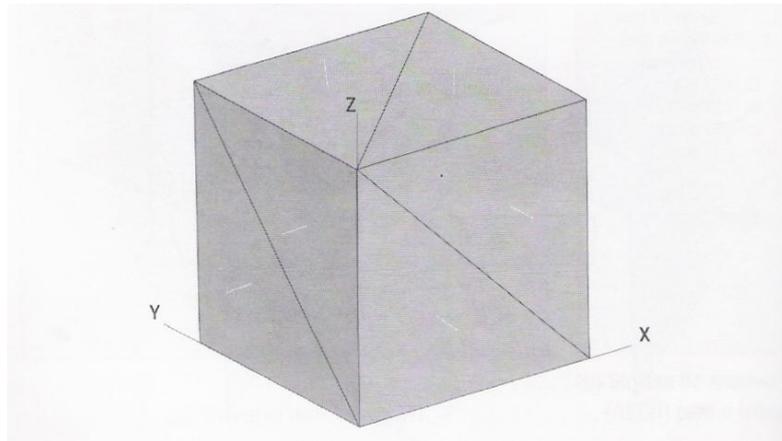
Fonte: VOLPATO et al, (2007, p.106)

O arquivo STL guarda a representação numérica em ponto flutuante das coordenadas cartesianas (x, y,z) dos vértices de cada triângulo. Associado a estes vértices, é definido um vetor de norma unitária de acordo com a “regra da mão-direita”, cuja direção representa a superfície externa do triângulo e dos modelos por eles representados. A concepção básica dessa representação é a de oferecer a possibilidade de poder ser interpretado por qualquer sistema de RP, independentemente dos recursos computacionais ou sistema operacional utilizado. Isto torna altamente portátil, conferindo um caráter de interoperabilidade muito útil, devido ao universo de sistemas e recursos operacionais que operam nesta área. (VOLPATO et al, 2007, p.106).

O arquivo STL pode ser gravado em duas formas distintas: ASCII e Binário.

Quando gravado em ASCII (caracteres de texto), objetiva-se que o arquivo possa ser interpretado de forma mais simples por pessoas ou diversas plataformas computacionais. A Figura 8 representa um arquivo gravado em ASCII.

Figura 8 - Cubo representado em STL com vetores normais



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p.108)

Já quando gravado em Binário, o arquivo evidencia-se mais compacto, porém menos legível para interpretação por pessoas e menos compatível entre as diferentes plataformas computacionais. O arquivo em formato binário está representado na Tabela 1.

O formato binário consiste de um cabeçalho de 84 bytes com informações do arquivo e o número de triângulos, seguido por blocos de dados representando os vários triângulos. Cada bloco de dados contém 50 bytes, sendo que cada um dos três vértices e o vetor normal utilizam 12 bytes e os 2 últimos bytes são utilizados para representação de cores. (VOLPATO et al, 2007, p. 111)

Tabela 1 - Estrutura de uma representação de arquivo STL binário

Header:		
Description	ASCII	80 bytes
nr. Of triangles	Unsigned long	4bytes
Datablock:		
Vertex 1	3xfloat	12 bytes
Vertex 2	3xfloat	12 bytes
Vertex 3	3xfloat	12 bytes
Normal	3xfloat	12 bytes
Attribute	Unsigned integer	2 bytes (para representar cores)

Fonte: VOLPATO et al, (2007, p.111)

Apesar de maneiras diferentes de gravação, ASCII ou Binária, a representação é igual: representados por três vértices e o vetor normal direcionado para o lado externo do mesmo, vários triângulos formam a representação. Os vetores normais determinam a região do volume onde deve ser depositado o material formando o protótipo. (VOLPATO et al, 2007).

Segundo o autor VOLPATO et al, (2007, p.111) *“Por resultar em um tamanho do arquivo menor do que o formato ASCII, normalmente a representação binária é a forma mais utilizada para gerar arquivos STL e é configurada como opção default na maioria dos sistemas CAD.”*

Quando foi desenvolvido, o formato STL não permitia a representação de objetos com atributos de cores e texturas. Com o passar do tempo essa necessidade foi surgindo e os estudos foram evoluindo junto aos processos de RP em impressão 3D. Na realidade atual, a representação em cores já foi incorporada em alguns sistemas de RP em impressão 3D devido a algumas modificações que foram aceitas no formato STL. O ultimo atributo do bloco de dados da representação binária passou a ser utilizado formado por 2 bytes para atribuir cor a cada triângulo. (VOLPATO et al, 2007)

A cor do triângulo é determinada por uma composição de RGB (Red, Green, Blue – Vermelho, verde e azul, representação padrão de cores em sistemas computacionais) utilizando para cada uma das componentes básicas (R, G, ou B) 5 bits, o que soma um total de 15 bits. O último bit dos 16 bits reversados para esta representação não é utilizado. Cada componente pode então assumir $2^5 = 32$ valores diferentes (entre 0 e 31) que combinado podem representar até $32 \times 32 \times 32 = 32.768$ diferentes cores. Estes arquivos podem ser interpretados normalmente por sistemas monocromáticos de prototipagem que simplesmente ignoram a informação de cor. (VOLPATO et al, 2007, p. 112)

1.6 Processos de Prototipagem Rápida em impressão 3D

Apesar dos princípios de construção de protótipos pelas tecnologias de RP em impressão 3D serem os mesmos, existe vários processos e tecnologias distintas entre eles. Por este motivo, nesta seção, serão apresentadas as principais tecnologias de RP em impressão 3D classificadas segundo estado ou formato da matéria prima inicial.

1.6.1 Processos baseados em líquido

Os processos baseados em líquidos utilizam a polimerização de uma resina líquida conforme apresentado abaixo:

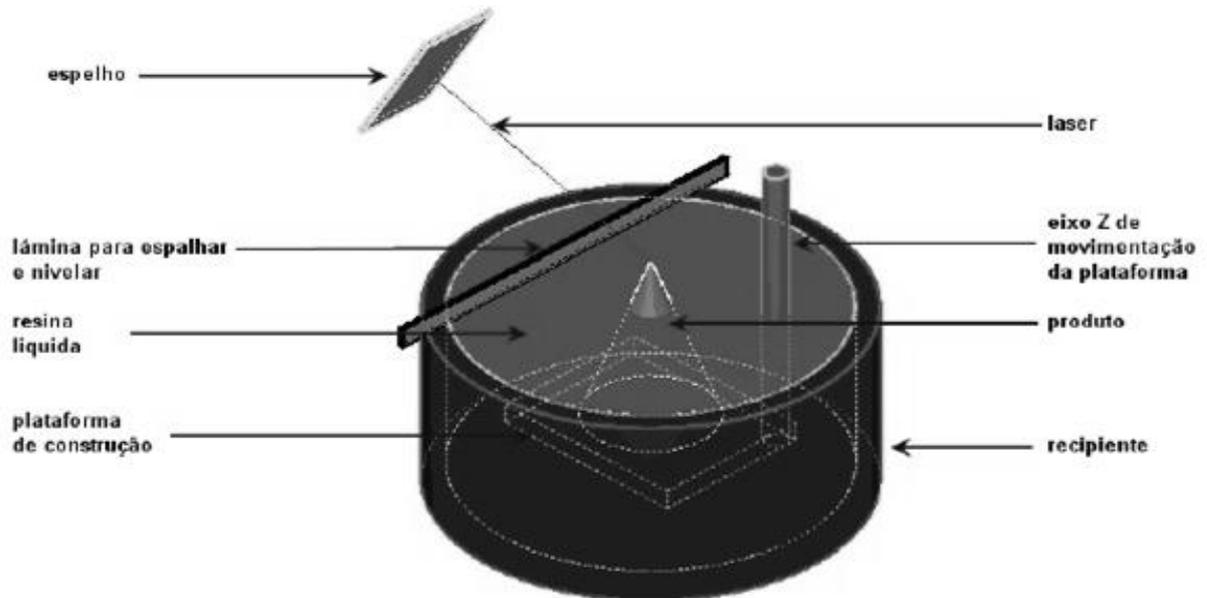
1.6.1.1 Estereolitografia (SL ou SLA)

A Estereolitografia (SL, Stereolithography ou SLA, StereolithographyAppatarus) da 3D systems foi um dos primeiros processos de RP em impressão 3D, patenteado em 1986, abriu portas para surgimento dos demais processos que surgiram e continuam surgindo.

A matéria prima básica é uma resina líquida fotocurável, ou seja, sensível à luz, que exposto à radiação ultravioleta se solidifica. Essa radiação ultravioleta é aplicada por um laser com comprimento de onda específico sobre um recipiente inundado de material conforme ilustrado na Figura 9. (GORNI, 2001; CUNICO, 2009; VOLPATO et al, 2007)

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 líquida. 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. (GORNI, 2001, p.3)

Figura 9 – Funcionamento do processo Estereolitografia (SLA)



Fonte: SILVA, (2008, p.72)

1.6.1.2 Impressão a jato de tinta (IJP) – Polyjet da Objet

Segundo VOLPATO et al (2007), esta é uma tecnologia recente desenvolvida por uma empresa de Israel. O autor relata ainda que apesar de não manter os mesmas características da SL, esta tecnologia também trabalha com resinas fotocuráveis.

A segunda geração da PolyJet utiliza resolução de 600X300 dpi, com uma possibilidade de espessura de camada de somente 16 microns. O sistema de deposição trabalha com oito cabeças de jato de resina e um sistema de controle que permite que estas trabalhem de forma sincronizada e harmônica.

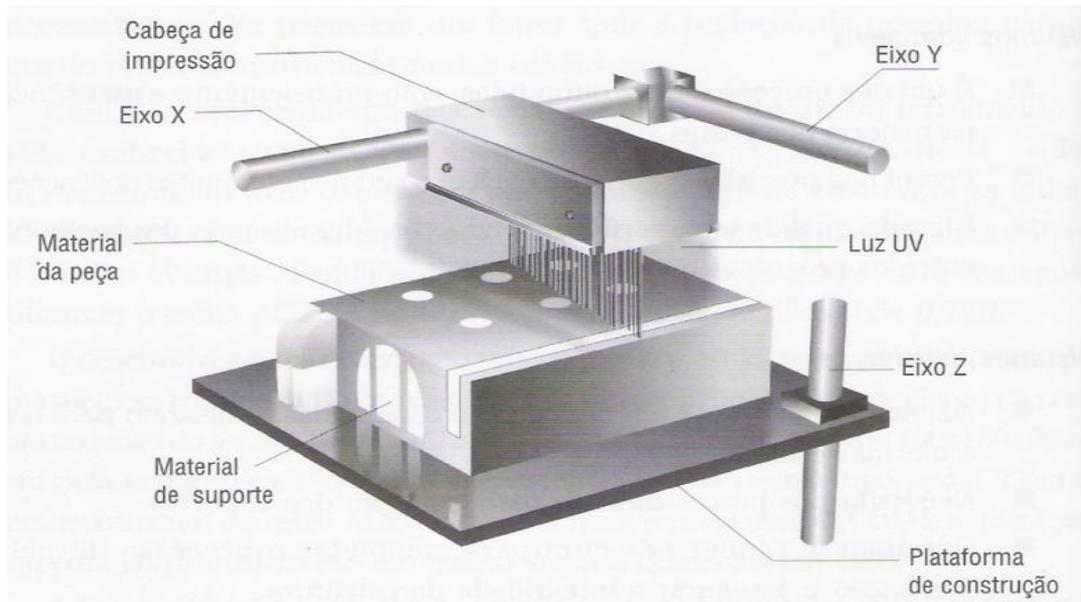
Esta tecnologia utiliza dois materiais diferentes para a fabricação, uma resina para a peça e um material tipo gel, também fotocurável, para o suporte.

O princípio da PolyJet é utilizar um sistema tipo jato de tinta para depositar a resina em pequenas gotas sobre uma bandeja e, imediatamente após a deposição, lançar uma luz UV para a cura da camada.

Após o término do processo, o material de suporte é facilmente removível com um jato d'água misturado com componente proprietário ou mesmo manualmente. A resina é totalmente curada durante o processo de deposição, não sendo necessária pós-cura da peça. (VOLPATO et al, 2007, p. 62;63)

O princípio de funcionamento da tecnologia impressão a jato de tinta da polyjet está representado na Figura 10.

Figura 10 – Funcionamento do processo Polyjet (IJP)



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p. 62)

1.6.1.3 Impressão a jato de tinta (IJP) – InVision da 3D Systems

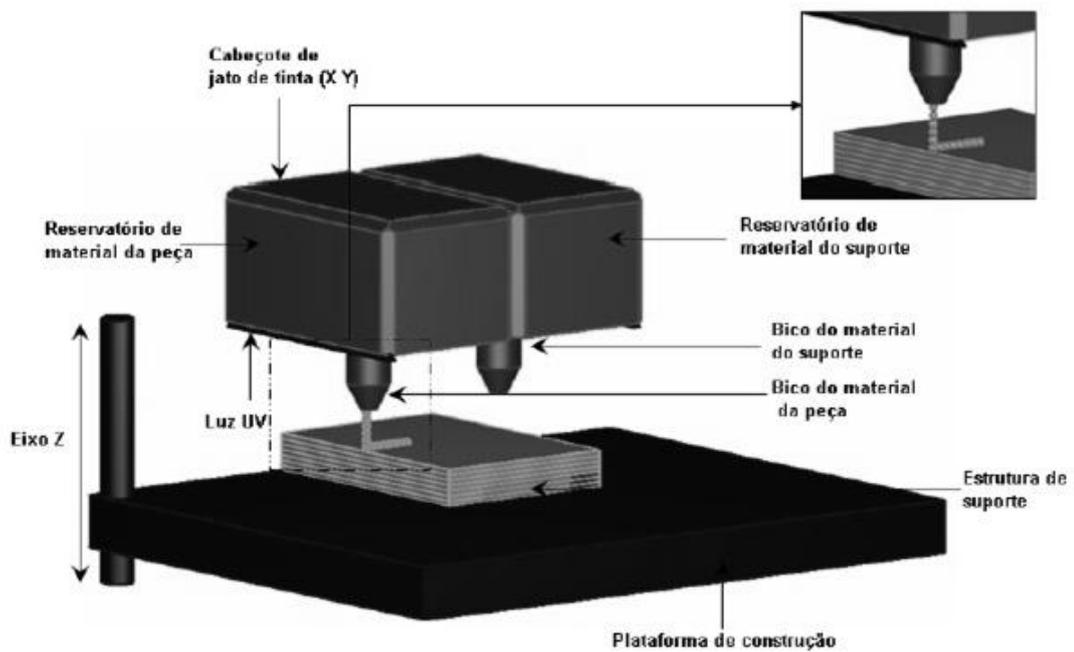
VOLPATO et al (2007) relata que a impressão a jato de tinta (IJP) – InVision da 3D Systems, também é uma tecnologia que deposita um material fotocurável em pequenas gotas e posteriormente aplica uma luz ultravioleta para a cura da camada conforme ilustrado na Figura 11. O autor relembra ainda que, nesta tecnologia também é necessário à criação de suporte para apoiar as regiões desconectadas da peça.

Um avanço significativo da tecnologia em questão em relação à impressão a jato de tinta (LJP) – Polyjet da Objet é a utilização de um cabeçote com vários jatos de impressão utilizados para acelerar o processo de fabricação do protótipo.

Ao finalizar a impressão do protótipo, uma etapa posterior é realizada em um forno, onde, após o aquecimento é eliminado o material suporte.

Esta tecnologia possui boa precisão, qualidade superficial e ainda não utiliza laser. Em contra partida, necessita de suporte em regiões não conectadas, pós-processamento para remoção dos suportes, e são poucos os materiais disponíveis, sendo restrita a utilização de resinas poliméricas. (VOLPATO et al, 2007)

Figura 11 – Funcionamento do processo InVision (IJP)



Fonte: SILVA, (2008, p.77)

1.6.2 Processos baseados em sólido

Os processos baseados em sólidos utilizam na maioria das vezes um material granulado, ou em filamento, sendo que na maioria dos processos, ocorre a fusão do material antes que o mesmo seja depositado conforme apresentado abaixo:

1.6.2.1 Modelagem por fusão e deposição (FDM) da Stratasys

Segundo VOLPATO et al (2007), foi a empresa Stratasys que desenvolveu a modelagem por fusão e deposição (FDM), uma tecnologia de RP em impressão 3D que constrói protótipos por deposição de um material extrudado.

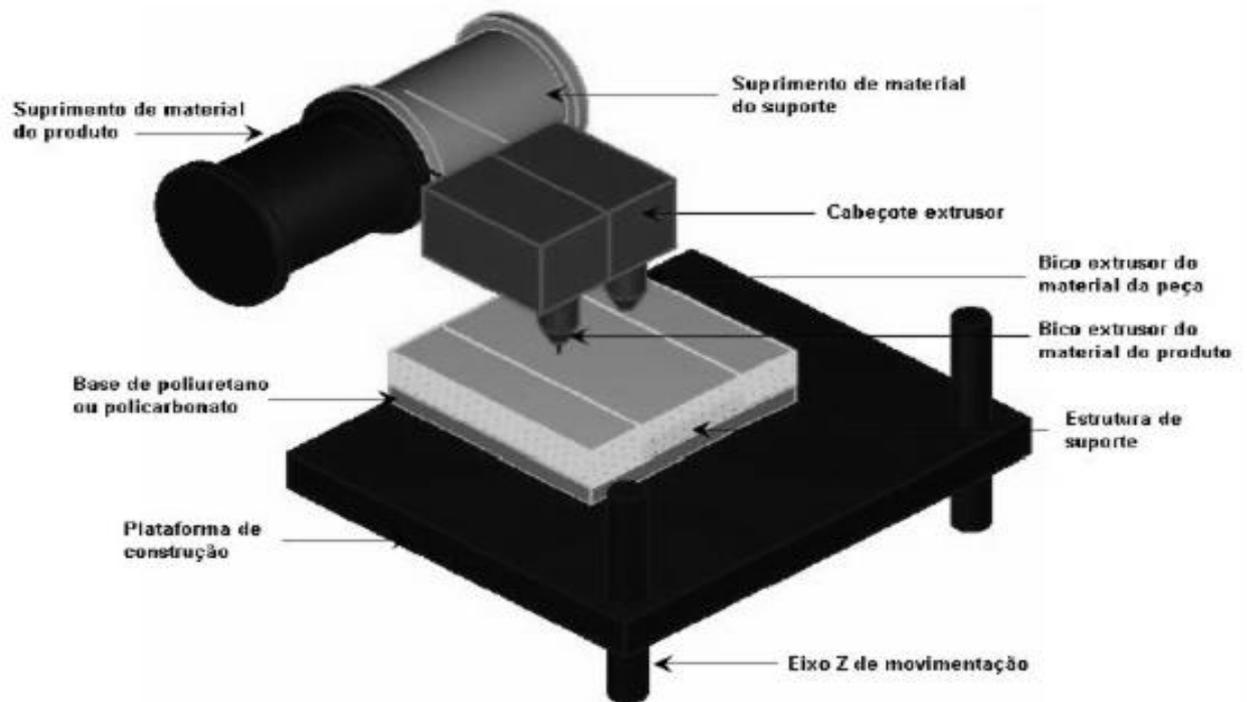
O filamento de uma resina termoplástica é aquecido até o ponto semilíquido ou pastoso, e extrudada a partir de uma matriz em forma de ponta com movimentos no eixo Y-X, posicionada sobre o eixo Z. (GORNI, 2001; VOLPATO et al, 2007).

Assim como as tecnologias já apresentadas, na FDM também é necessário fazer uso de material suporte em partes não conectadas do protótipo. Devido a essa necessidade, a máquina FDM possui uma matriz extrudora adicional para deposição de material suporte, diferenciados somente pelo sistema de remoção após construção do protótipo (operação manual ou imersão em solução líquida aquecida). A operação manual é possível, quando material utilizado como suporte é mais frágil do que o da peça, já a remoção por imersão em solução líquida só é possível no sistema mais recente. (VOLPATO et al, 2007).

VOLPATO et al (2007) garante que inicialmente é importante que algumas camadas de suporte sejam depositadas na plataforma do eixo Z para formar uma superfície plana que garanta a qualidade do protótipo. Logo em seguida, a matriz de extrusão controlada deposita os filamentos de material sobre a camada de suporte mencionada anteriormente. Como a plataforma permanece em temperatura inferior a do material depositado, o mesmo endurece rapidamente, e neste momento a plataforma do eixo Z abaixa para que a matriz de extrusão possa depositar a segunda camada de material sobre a primeira já endurecida. Até a construção total do protótipo este ciclo é repetido diversas vezes. GORNI (2001) relembra que nas partes em que os protótipos tem paredes desconectadas é depositado o material suporte para da sustentação ao protótipo. O principio de funcionamento está representado na Figura 12.

Os protótipos construídos pela tecnologia FDM permite, em alguns casos, que eles sejam utilizados em testes funcionais. Isto se torna possível devido à garantia de até 85% de resistência que essa tecnologia oferece em relação ao processo de injeção convencional com o mesmo material. (VOLPATO et al, 2007)

Figura 12 - Funcionamento do processo FDM



Fonte: SILVA, (2008, p.80)

1.6.2.2 Manufatura Laminar de Objetos (LOM) da Cubic Technology

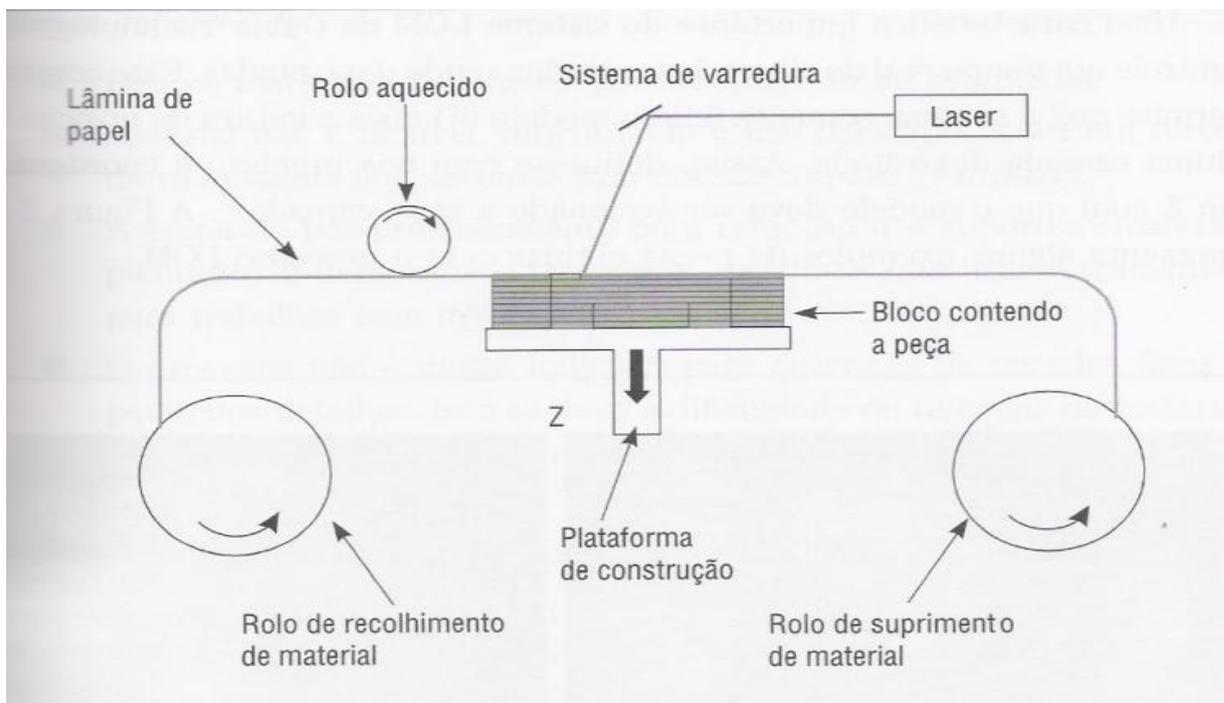
Comercializado pela empresa Cubic Technology, o processo de manufatura laminar de objetos (LOM) também está entre os primeiros processos disponíveis comercialmente.

O processo é simples, baseia-se na sucessiva deposição de folhas de materiais que contêm adesivo em uma de suas faces. As folhas de material devem manter a face com adesivo direcionada para baixo, inicialmente a folha é depositada sobre uma plataforma e sobre a folha é depositada outra folha, um rolo aquecido é passado sobre a folha para ativar o adesivo direcionado para baixo que unirá a folha de cima sobre a de baixo. Com o auxílio de um conjunto de espelhos, um feixe de laser controlado por um sistema de deslocamento X,Y, corta a camada com o perfil da peça referente a camada em questão. Em sequência, o mesmo laser picota em forma de retângulos o material que não faz parte da peça com intuito de facilitar a posterior remoção. A Plataforma desce no eixo Z, e uma nova camada é iniciada

conforme ilustrado na Figura 13. Este processo continua até que o protótipo seja finalizado. (VOLPATO et al, 2007)

VOLPATO et al (2007) lembra que neste processo não é necessário determinar regiões que deveriam ter suporte para apoiar as partes suspensas durante a construção do protótipo, pois o material das folhas que não pertencem ao protótipo, transformado em blocos retangulares pelo laser servem como suporte natural.

Figura 13 - Funcionamento do processo LOM



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p.71)

As lâminas utilizadas para este processo como matéria prima pode variar em plásticos, papel, cerâmica, tecido ou mesmo folhas metálicas, porém o mais comum é o papel tipo Kraft com adesivo à base de polietileno, um material de baixo custo que não é agressivo ao meio ambiente. (VOLPATO et al, 2007)

Após construção do protótipo, o acabamento superficial, como pintura, polimento e lixamento, deve ser realizado de forma cuidadosa devido ao tipo de material utilizado no processo. Para finalizar, uma resina epóxi, uretano ou silicone, deve ser aplicada sobre toda a superfície para garantir resistência ao protótipo. (VOLPATO et al, 2007)

VOLPATO et al (2007) menciona ainda uma característica interessante referente ao processo em questão, o mesmo pode ser interrompido a qualquer momento e reiniciado sem o sacrifício da peça.

Entre as vantagens do processo LOM, estão à alta velocidade de processamento, à dispensa de suporte nas regiões desconectadas e pós-cura do protótipo após processamento. E como desvantagens, a impossibilidade de usar muitos materiais, e os materiais disponíveis não serem flexíveis impossibilitando a realização de alguns testes, além de não ser um processo indicado para obtenção de protótipos que tenham paredes finas e detalhes minuciosos. (VOLPATO, 2007)

1.6.2.3 Tecnologia com Lâminas de Papel (PLT) da Kira

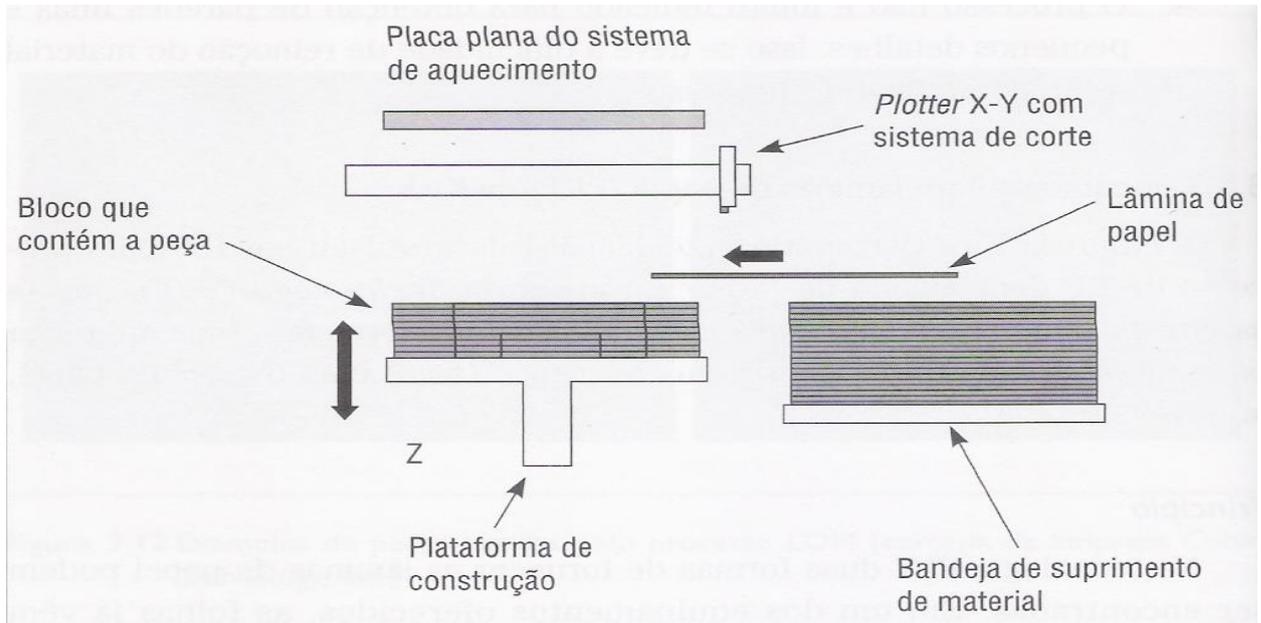
Desenvolvida pela Kira Corporation Ltd, uma empresa japonesa, o processo com lâminas de papel (PLT) é semelhante ao processo LOM se diferenciando em poucos detalhes.

No processo PLT existem duas formas de fornecer as lâminas, uma a uma ou em forma de rolos. Para serem fornecidas uma a uma, as folhas já vem previamente cortadas e um sistema de alimentação coleta e deposita estas folhas umas sobre as outras. Quando fornecidas na forma de rolos, o próprio sistema corta as folhas. Com a folha cortada o processo continua de forma igual para ambas as formas de fornecer as lâminas. Um sistema de impressão deposita na geometria 2D obtida pelo fatiamento do modelo 3D um pó de resina sobre a plataforma de construção, a folha cortada é então depositada sobre a resina na plataforma, que elevada até uma placa aquecida ativa o adesivo direcionado para baixo e elimina bolhas. A folha cola sobre a anterior ou sobre a plataforma apenas onde o pó de resina foi depositado, desta forma a posterior remoção do material que não faz parte da peça é facilitado. A plataforma desce para reiniciar o processo, porém antes um sistema de facas corta o perfil do protótipo que está sendo formado e picota o restante do material que assim como no processo LOM serve de suporte natural para partes suspensas do protótipo. O princípio de funcionamento está ilustrado na Figura 14. Estas etapas se repetem até que o processo seja finalizado. (VOLPATO et al, 2007)

Quando processo for finalizado, deve ser feita a remoção do material em excesso, posteriormente um polimento com lixa fina também pode ser realizado para dar acabamento

do protótipo. Quando necessário melhorar a resistência do protótipo é aconselhável aplicar uma resina epóxi. (VOLPATO et al, 2007)

Figura 14 – Funcionamento do processo com lâminas de papel (PLT)



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p.74)

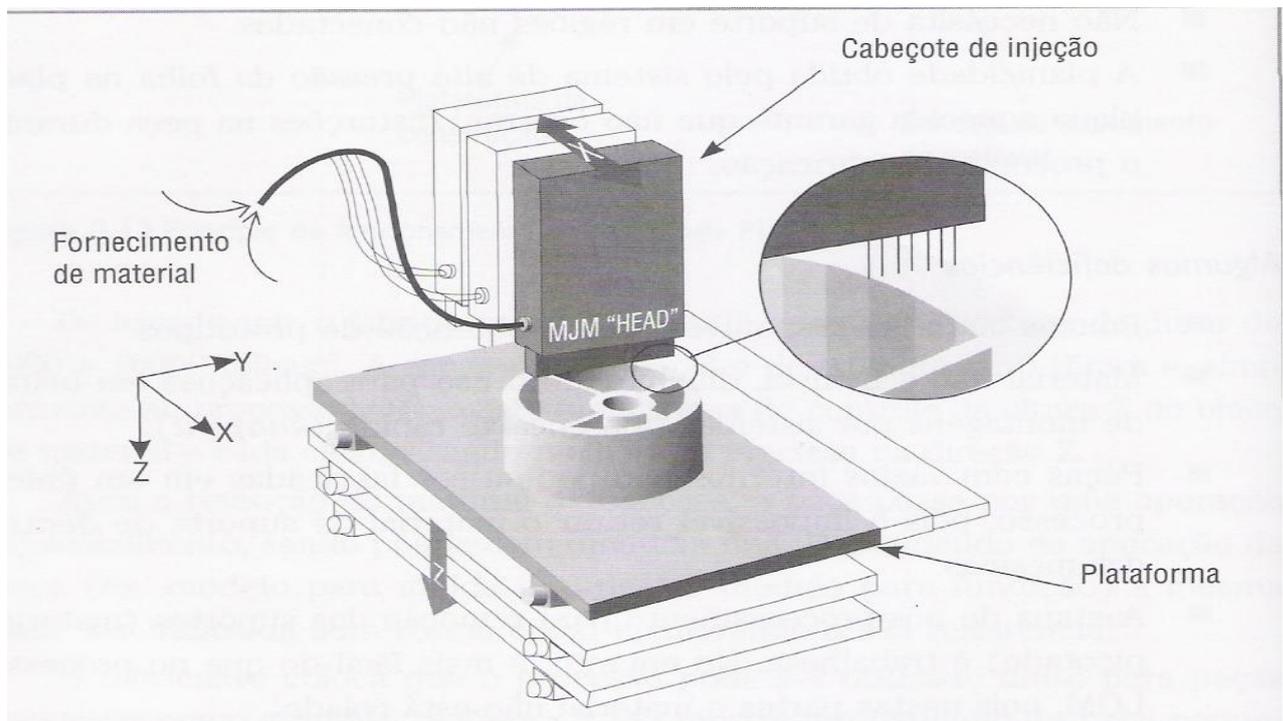
Assim como nos outros processos, o PLT também apresenta vantagens e desvantagens que se assemelham ao processo LOM. Como vantagem este processo não precisa de pós-processamento, não é necessário planejar suportes, pois o próprio processo fornece suportes naturais, além de ser um processo que dispensa uso de laser. Já como desvantagens também é um processo que dispõe de poucos materiais, e os materiais disponíveis não são flexíveis, não é indicado para obter paredes finas e a remoção dos suportes deve ser cuidadosa. (VOLPATO et al, 2007)

1.6.2.4 Impressão a Jato de Tinta (IJP) – Thermojet da 3D Systems

Desenvolvido pela empresa 3D Systems, o processo é semelhante às impressoras jato de tinta convencionais conforme ilustrado na Figura 15.

Neste processo, o material utilizado é aquecido e depositado em forma de pequenas gotas, similarmente ao que ocorre no processo de uma impressora jato de tinta. Com o contato das gotas com a plataforma onde a peça vai ser construída, ou com as camadas já depositadas, o material se solidifica formando a camada. Para acelerar o processo de fabricação é utilizado um cabeçote com múltiplos jatos de impressão. Um dos equipamentos utiliza um cabeçote com 352 jatos alinhados em 200mm de largura. Este sistema é então capaz de depositar material em camada de até 200mm de largura, em uma única passada. Se a largura da camada for maior que este valor, o cabeçote se desloca lateralmente e imprime o restante da camada. (VOLPATO et al, 2007, p. 76; 77)

Figura 15 – Funcionamento da Impressão a jato de tinta (IJP) - Thermojet da 3D Systems



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p.76)

No começo a matéria prima utilizada neste processo era a cera, porém dois termopolímeros foram desenvolvidos pela própria empresa 3D Systems, apresentando melhores propriedades. O interessante é que estes mesmos termopolímeros são utilizados como material suporte. (VOLPATO et al, 2007)

Após construção pelo processo IJP, é necessário realizar o acabamento retirando o material suporte de maneira cuidadosa para não danificar a estrutura do protótipo. VOLPATO et al (2007) menciona que a empresa 3D Systems revela que, a refrigeração do protótipo por algum tempo facilita a retirada do material suporte.

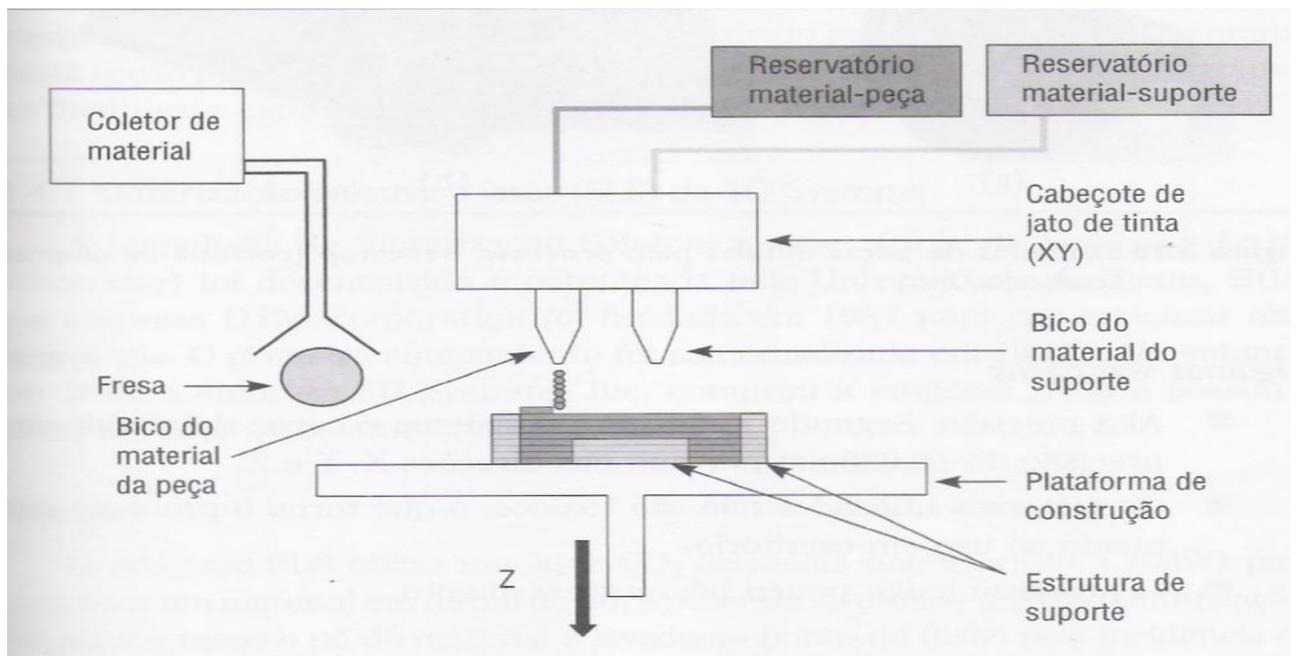
Como vantagens, é um processo que pode ser realizado em escritórios, rápido e não utiliza laser. Porém como desvantagens, ainda é necessário utilizar material suporte que

posteriormente precisará ser retirado em uma operação de acabamento, além dos protótipos serem frágeis, limitando talvez a sua utilização apenas para visualizações. (VOLPATO et al, 2007)

1.6.2.5 Impressão a Jato de Tinta (IJP) – benchtop da Solidscape

Desenvolvido pela empresa americana Solidscape, o processo é semelhante às impressoras jato de tinta, se diferenciando pela existência de um cabeçote a mais para deposição de um material diferente como suporte. Ou seja, o processo utiliza dois cabeçotes de impressão jato de tinta, um para depositar o material termoplástico que fará parte do protótipo e outro para depositar uma cera como material suporte nas regiões do protótipo que estiverem suspensas conforme ilustrado na Figura 16. Após a impressão de cada uma das camadas, uma ferramenta denominada por VOLPATO et al (2007) como fresa passa sobre a superfície com intuito de deixá-la plana para que a próxima camada seja impressa. Além de ser funcional como material suporte nas áreas suspensas, a cera pode ser depositada em toda a superfície do protótipo a fim de conferir resistência durante a sua construção.

Figura 16 – Funcionamento da Impressão a Jato de Tinta (IJP) - Benchtop da Solidscape



Esta tecnologia possui um sistema de segurança quando à falha na impressão que consiste em, de tempos em tempos, fazer uma verificação nos jatos dos cabeçotes de impressão. Se for constatado algum entupimento, a ferramenta retira todas as camadas adicionadas depois da última verificação e o processo reinicia deste ponto. (VOLPATO et al, 2007, p. 78;79)

É um processo com alta precisão dimensional, o que garante que pequenos detalhes possam ser realizados com qualidade. Em números, a precisão pode alcançar de +/- 0,025mm nas direções X, Y e Z. Após sua construção, a facilidade de retirar o material suporte por imersão da peça em óleo mineral também garante que a qualidade seja mantida. (VOLPATO et al, 2007)

1.6.3 Processos baseados em pó

Os processos baseados em pó são na maioria das vezes baseados em fusão por calor conforme apresentado abaixo.

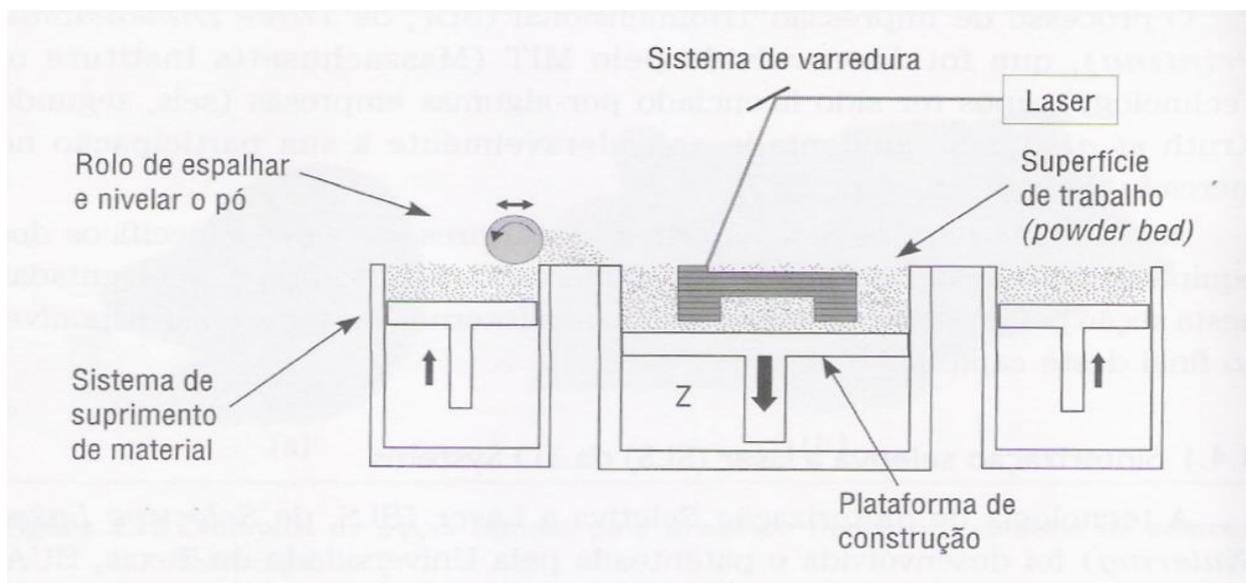
1.6.3.1 Sinterização Seletiva a Laser (SLS) da 3D Systems

Apesar de ter sido desenvolvida pela parceria entre a Universidade do Texas, EUA e a empresa DTM Corporation, este processo passou a ser de responsabilidade da empresa 3D Systems a partir da compra da DTM. (VOLPATO et al, 2007)

O processo SLS utiliza um laser CO₂ de média potência (25 a 1000W) para sinterizar um material em forma de pó. A construção física da peça se inicia com o material sendo espalhado e nivelado por um rolo na câmara de construção do equipamento sobre uma plataforma. Esta câmara é aquecida a uma temperatura um pouco abaixo do ponto de fusão do material e mantida em atmosfera inerte, controlada usando nitrogênio, o que evita a oxidação e risco de explosão das partículas mais finas. Um sistema de varredura desloca o feixe do laser sobre a superfície formada pelo material espalhado, fornecendo a energia restante para “sinterizar” as partículas de acordo com a geometria da camada 2D da peça. Na sequência, a plataforma que suporta a peça desce, na direção do eixo Z, um incremento igual à espessura da camada fatiada no CAD e uma nova camada de material é espalhada sobre a anterior. Uma vez que a temperatura da nova camada atinja a temperatura de trabalho, o laser inicia novamente a varredura na superfície, resultando em nova sinterização. O material de suprimento fica armazenado em reservatórios laterais à câmara de construção. Este ciclo é repetido até que todas as camadas sejam depositadas e a peça seja reproduzida. (VOLPATO et al, 2007, p. 81)

O princípio de funcionamento da tecnologia SLS está representado na Figura 17.

Figura 17 – Funcionamento da Sinterização Seletiva a Laser (SLS)-3D Systems



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p.82)

Após construção do protótipo pelo processo de SLS, o pó que não foi sinterizado pelo laser, utilizado como material de suporte é facilmente removido com auxílio de escovas e até mesmo com o uso de ar comprimido. Uma novidade deste processo é a possibilidade de reutilizar o material suporte removido, o material pode ser utilizado até certo limite, evitando a degradação proveniente do reuso ao longo do tempo. (VOLPATO et al, 2007)

Diferente dos processos já mencionados, o processo SLS permite a utilização de uma gama de matérias, entre os principais estão: Náilon, elastômeros, cerâmica, poliamida com microesferas de vidro, entre outros. VOLPATO et al (2007) menciona ainda que qualquer material que possa ser transformado em pó poderia ser utilizado neste processo. E o caso, por exemplo, do metal com polímero para obtenção de peças e insertos metálicos, porém quando utilizado, após a confecção do protótipo é necessário submetê-lo à alta temperatura em um forno.

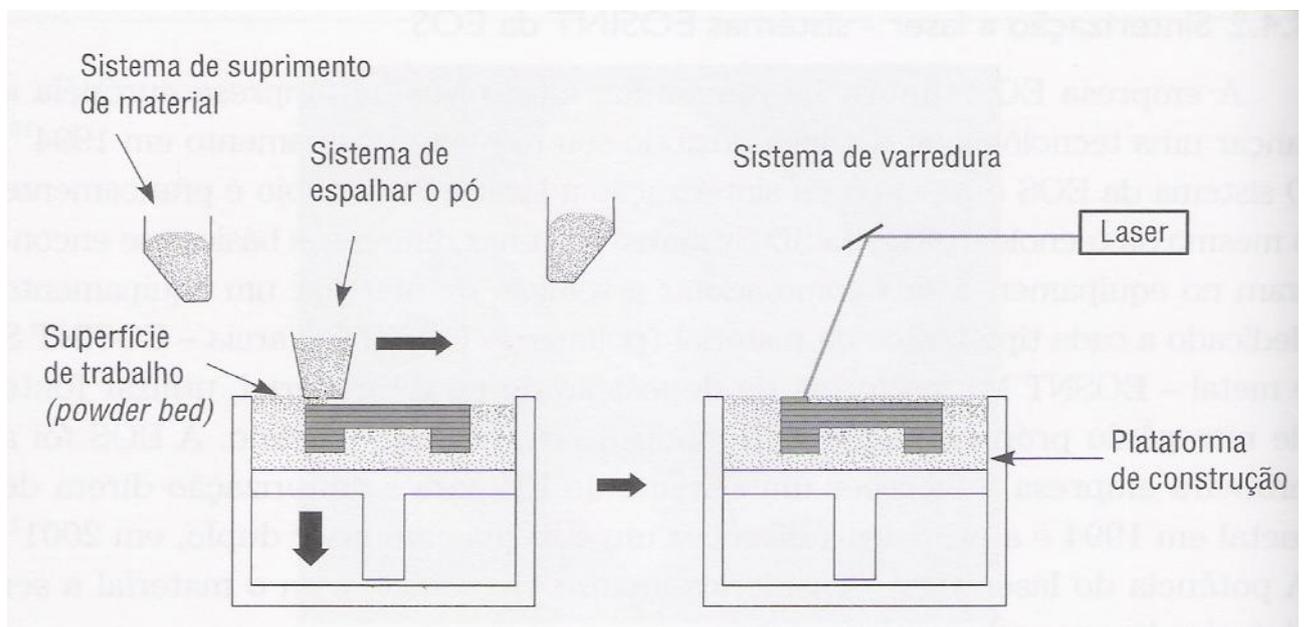
1.6.3.2 Sinterização a Laser – sistemas EOSINT da EOS

O processo inicia com o material sendo espalhado e nivelado por um sistema de lâmina e tremonha em uma câmara de trabalho. O material é suprido ao sistema de depositar e espalhar quando o mesmo finaliza o curso e alcança a lateral do equipamento. A câmara também se encontra a uma temperatura controlada e com

atmosfera inerte através de gás nitrogênio que é gerado por uma fonte na própria máquina, não necessitando de suprimento externo como na SLS da 3D Systems. Um sistema de varredura por espelhos controla o feixe de laser CO₂, descrevendo a geometria da camada sobre a superfície do material espalhado. Com a incidência do laser, as partículas do material são aquecidas ao ponto de fusão, unindo-se umas às outras e também à camada anterior. Quando o laser terminar a sinterização da camada o sistema elevador desce em Z no valor referente a uma espessura de camada e o material é novamente espalhado. O processo então se repete até a última camada. (VOLPATO et al, 2007, p.85)

O princípio de funcionamento da tecnologia sinterização a laser da EOSINT está representado na Figura 18.

Figura 18 – Funcionamento da Sinterização a Laser – sistemas EOSINT da EOS



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p.86)

Após processamento, também faz-se necessário retirar o material suporte, construído com o mesmo material utilizado para fabricação do protótipo. A remoção é facilitada devido à forma de pó que o material tem. (VOLPATO et al, 2007)

Conforme relatado pelo autor VOLPATO et al (2007), o processo de sinterização a laser da tecnologia EOSINT é similar ao processo SLS da 3D Systems, porém se diferencia em alguns pontos: equipamentos dedicados são oferecidos a cada tipo de material escolhido para a confecção do protótipo e o equipamento ainda possui uma fonte própria para gerar nitrogênio e manter a câmara em uma temperatura controlada e atmosfera inerte.

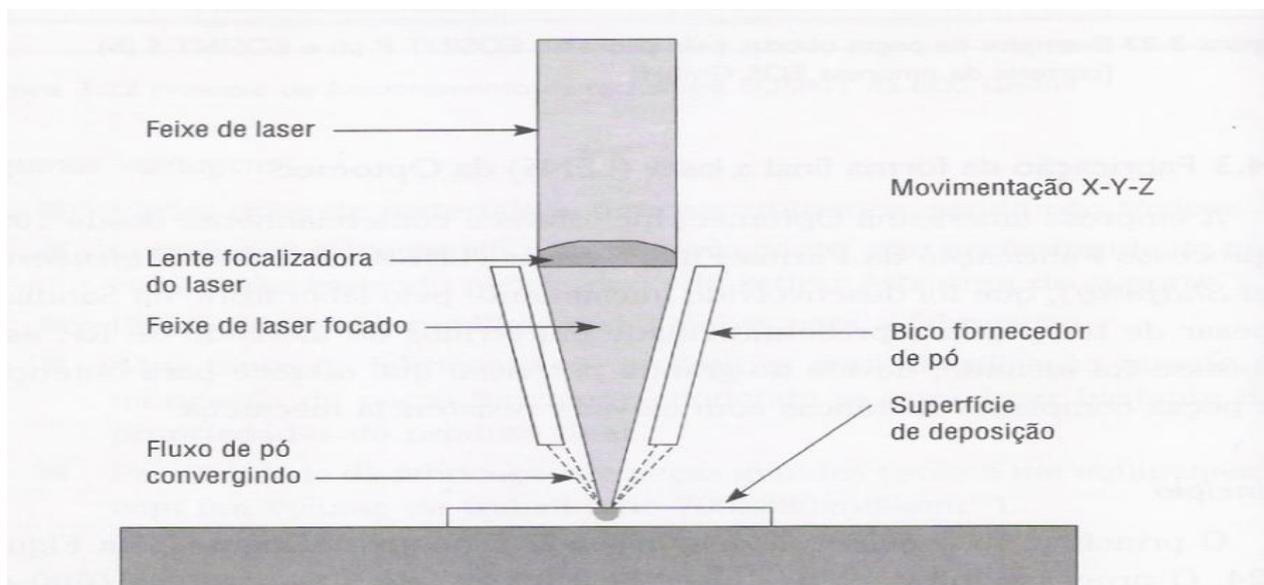
1.6.3.3 Fabricação da forma final a laser (LENS) da Optomec

A fabricação da forma final a laser (LENS) tem alta qualidade para obtenção de peças metálicas de alta complexidade e exigência de resistência mecânica, porém pouco procurado para RP em impressão 3D. (VOLPATO et al, 2007)

O processo se inicia com o laser Nd:YAG, de alta potência (600 ou 1000W), focado sobre a superfície da peça sendo fabricada, formando uma poça fundida. O pó metálico é então direcionado continuamente por um bico para o ponto focal do laser, fundindo-se e aumentando o volume da peça. O material é depositado em finas linhas com determinada largura e espessura. O bico de deposição movimenta-se nas direções X-Y-Z em relação à mesa e, em um modelo disponível, possui a possibilidade de inclinação de $\pm 90^\circ$ e rotação de $\pm 180^\circ$. Adicionalmente, a mesa da máquina permite rotação inclinação. Esta característica de 5 eixos permite que vários detalhes, que normalmente exigiriam suporte, possam ser fabricados sem os mesmos. (VOLPATO et al, 2007, p.87;88)

O princípio de funcionamento da tecnologia LENS está representado na Figura 19.

Figura 19 - Funcionamento do processo LENS da Optomec



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p.88)

Todo esse processo é realizado dentro de uma câmara fechada, com a atmosfera controlada com gás argônio à baixa pressão a fim de evitar a ação do oxigênio. Após finalização do processo, os protótipos precisam passar por um acabamento superficial para

remover algumas imperfeições geradas pelas resoluções de construção nos eixos X-Y e Z. Este processo gera peças com ótima qualidade mecânica e depois de sua construção não é necessário pós-processamento, apenas o acabamento superficial. Porém o consumo de energia é elevado proveniente do uso do laser de alta potência, também é possível construir apenas peças metálicas e problemas com criação de suporte torna a fabricação de regiões desconectadas uma tarefa difícil. (VOLPATO et al, 2007)

1.6.3.4 Impressão Tridimensional (3DP) da Z Corporation

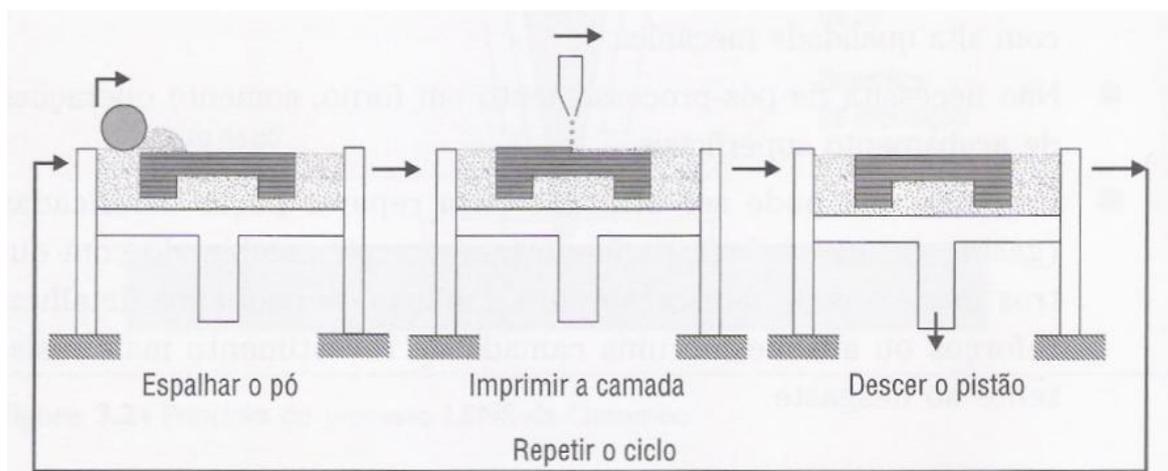
A impressão tridimensional (3DP) também é um processo a base de pó, teoricamente qualquer material que possa ser transformado em pó pode ser utilizado para construção do protótipo. A empresa Z Corporation que atualmente tem a licença da tecnologia, oferece para comercialização um material a base de gesso e outro a base de amido e celulose, além do aglutinante, uma espécie de cola a base de água que une os grãos do material utilizado na construção do protótipo. (VOLPATO et al, 2007)

Para iniciar o processo, um rolo espalha o material nivelando-o em cima da plataforma de construção, em seguida por meio de uma impressão semelhante a jato de tinta o aglutinante é depositado nas regiões determinadas pela geometria 2D da camada que está sendo processada. Em seguida a plataforma desce em Z, o rolo espalha novamente o material sobre a camada processada e novamente a cabeça de impressão deposita o aglutinante de terminados pela geometria 2D. Essa operação é repetida até finalização do protótipo, o material que não é processado em cada uma das camadas atua como material suporte natural e em um único processamento é possível fabricar varias peças empilhadas uma sobre as outras ou mesmo uma ao lado das outras conforme ilustrado na Figura 20. (VOLPATO et al, 2007)

VOLPATO et al (2007) relata que o aglutinante deve ser específico para cada tipo de material escolhido.

Este processo não confere resistência ao protótipo, por este motivo é necessário submeter à peça a um pós-processamento que deve ser escolhido de acordo com o material utilizado no processamento. A peça pode ser infiltrada por cera, resinas epóxi ou mesmo infiltrante a base de uretano que simula a borracha. (VOLPATO et al, 2007)

Figura 20 – Funcionamento da Impressão Tridimensional (3DP) da Z corporation



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p. 90)

1.6.3.5 Impressão tridimensional (3DP) – ProMetal da EX One Corporation

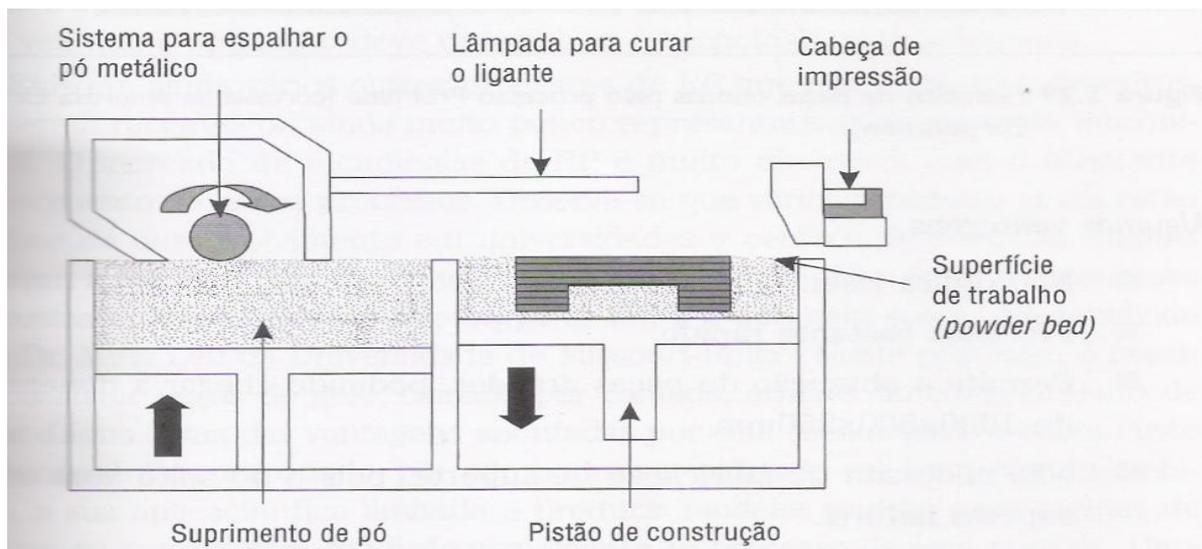
O processo de impressão tridimensional (3DP) da EX one Corporation é muito semelhante ao processo de impressão tridimensional (3DP) da Z Corporation, se diferencia pela presença de uma lâmpada para curar o aglutinante logo após a impressão de cada uma das camadas. (VOLPATO et al, 2007)

O processo se inicia quando o sistema de abastecimento composto por um rolo coleta material do reservatório de suprimento e o espalha sobre a plataforma em que vai ser construído o protótipo. O rolo recua novamente para o reservatório de suprimentos, e o cabeçote de jato de tinta imprime o material aglutinante sobre as partículas nas regiões determinadas pela geometria 2D. O sistema de abastecimento recolhe mais material e avança até que a lâmpada ligada ao sistema fique sobre a camada que acabou de ser impressa, neste momento, a luz UV da lâmpada cura o aglutinante que foi impresso nas regiões determinadas pela geometria 2D. Após a cura do aglutinante, a plataforma desce em Z e o sistema de abastecimento avança e espalha mais uma camada de material de forma nivelada, recua novamente e cabeçote de jato de tinta imprime mais uma vez o material aglutinante sobre as partículas determinadas pela geometria 2D. O processo continua até que sejam impressas todas as camadas para formar o protótipo, e em todo esse processo, as partículas de material

que não forem aglutinadas continuaram soltas e servem como material suporte natural para as partes suspensas da peça conforme ilustrado na Figura 21. (VOLPATO et al, 2007)

“O aglutinante utilizado é o látex coloidal e o material é o aço inox ou aço-ferramenta, com tamanho de partícula de 50-60mm.”(VOLPATO et al, 2007, p. 93)

Figura 21 – Funcionamento da Impressão Tridimensional (3DP)



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p.9)

Este processo não confere resistência suficiente para a peça, por este motivo é necessário submetê-la a um pós-processamento em um forno. A peça é aquecida queimando o aglutinante e iniciando a sinterização metálica das partículas. (VOLPATO et al, 2007)

Ao final desta etapa, tem-se uma peça com uma porosidade de 60%. A peça vai novamente a um forno a 1100C° onde, pela ação da capilaridade, uma liga de bronze é infiltrada, obtendo-se uma peça completamente densa. (VOLPATO et al, 2007, p.93)

Depois de garantir a resistência da peça é importante submetê-la a um acabamento que pode ser realizado por meio de usinagem, polimento a fim de garantir também a qualidade superficial. (VOLPATO et al, 2007)

É um processo vantajoso em termos de rapidez, a sua utilização permite a construção de peças grandes, não é necessário planejar material suporte, não utiliza laser. Porém exige um pós-processamento e é possível produzir apenas peças metálicas. (VOLPATO et al, 2007)

1.7 Ferramental Rápido

Uma novidade que cerca a RP em impressão 3D é a possibilidade de utilizar os processos e tecnologias já apresentadas para confecção de moldes com intuito de inseri-lo dentro do processo produtivo, e a partir deles produzir protótipos, peças com os materiais originais. Partindo deste princípio todos os protótipos seriam funcionais, aptos a serem submetidos a testes de aplicação real. Essa novidade abriu novas possibilidades no desenvolvimento de produtos e se consolidou em uma área denominada Ferramental Rápido (RT). (VOLPATO et al, 2007)

Desde o surgimento da RP em impressão 3D, diversos processos/técnicas foram desenvolvidas para construção de ferramentas, em especial construção de ferramentas para injeção. A confecção do ferramental é classificada de acordo com o processo utilizado, direto ou indireto. Quando a confecção for direta todo o ferramental inclusive as cavidades são fabricadas pela RP em impressão 3D. Já na confecção indireta, a peça é construída pelos processos de RP em impressão 3D como modelo da cavidade, sendo utilizada posteriormente para confecção do ferramental. (SILVA, 2008; VOLPATO et al, 2007)

1.7.1 Confecção Direta

Com o uso de materiais poliméricos e metálicos, a confecção direta utiliza dos processos de RP em impressão 3D como estereolitografia, sinterização a laser e impressão tridimensional para fabricar cavidades dos moldes de injeção. (VOLPATO et al, 2007)

Cada um dos processos utilizados recebeu um nome específico para fabricação destes moldes:

1.7.1.1 Moldes poliméricos por SL – “Direct AIM”

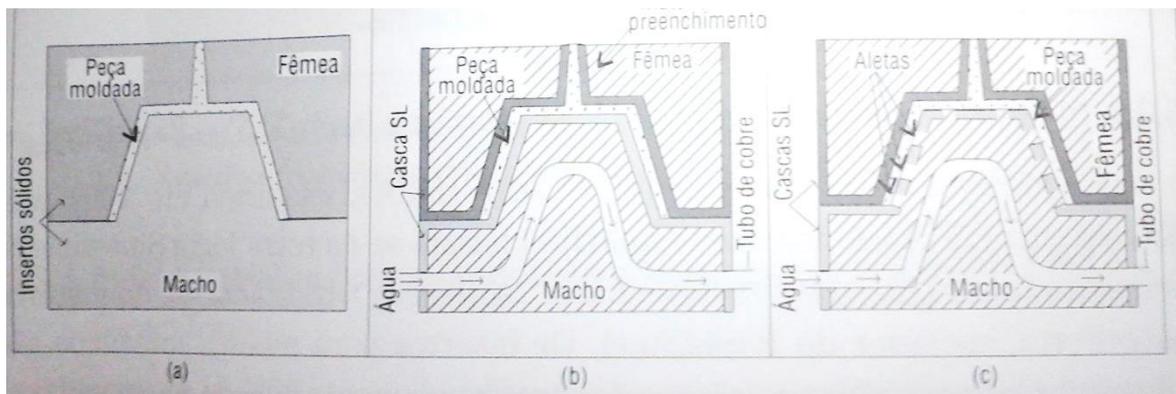
Comercialmente o processo é conhecido como “Direct AIM”, utiliza o processo SL da RP em impressão 3D para confeccionar moldes de injeção com suas respectivas cavidades. (VOLPATO et al, 2007)

VOLPATO et al (2007) menciona três formas básicas de construção das cavidades conforme ilustrado na Figura 22. A primeira consiste em confeccionar as cavidades do molde de forma maciça. A segunda é a sua confecção na forma de uma caixa ou casca, com espessura variando entre 1,5 e 3mm. Esta forma tem pouca resistência mecânica e requer um

preenchimento posterior da parte interna da caixa. A terceira forma é fundamentada na confecção do molde em forma de uma caixa com pequenos orifícios que permitem o contato do material de preenchimento com o polímero que é injetado durante a moldagem, acelerando o processo de resfriamento da peça. (VOLPATO et al, 2007)

Figura 22 - Tipos de cavidades construídas por SL:

(a) formato sólido, (b) forma de caixa e (c) forma de caixa com orifícios.



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p. 175)

Qualquer uma das formas escolhidas para confeccionar o molde tem uma vida útil reduzida. VOLPATO et al (2007) chega à citar entre 50 a 500 peças injetadas em PP.

Uma das principais causas dessa limitação é a baixa condutibilidade térmica das atuais resinas utilizadas para SL, que dificulta a troca de calor entre o molde, a peça moldada e o ambiente externo. Outro aspecto que limita a vida dos moldes é também a baixa resistência mecânica destas resinas, já que, segundo estudos realizados por Hopkinson e Dickens e comprovados por Ribeiro Jr., a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade do material diminuem significativamente com o aumento da temperatura. Isso ocasiona a ruptura durante a extração da peça injetada, quando as tensões atuantes, devido às forças de atrito, ultrapassam a resistência à tração do material do molde, resultando em ruptura por tração. (VOLPATO et al, 2007, p.176)

1.7.1.2 Moldes metálicos por sinterização seletiva a laser (SLS) – “Rapid Tool”

Com uso da tecnologia sinterização seletiva laser (SLS), o material “LaserForm”, sucessor do “RapidSteel” é processado para confeccionar as cavidades do molde. Para moldes

metálicos, as cavidades são confeccionadas pela composição de 60% de aço inoxidável da série 420 e 40% de bronze. (VOLPATO et al, 2007)

VOLPATO et al (2007) descreve o processo de confecção das cavidades iniciado com modelagem das cavidades em um sistema CAD tridimensional. O desenho é submetido à construção física pelo processo SLS, processo escolhido em função do material utilizado ter partículas de aço misturadas com material polimérico. Após construção, a cavidade é submetida a um pós-processamento em um forno para remover o aglutinante á base de polímero Utilizado pelo processo SLS e completar a sinterização do metal. Ao final do pós-processamento, as cavidades estão porosas e precisam ser infiltradas por bronze e ser polidas. As cavidades prontas são encaixadas em porta moldes e pode produzir de 50.000 a 100.000 peças injetadas com termoplásticos.

1.7.1.3 Moldes metálicos por sinterização a laser em equipamentos EOS – “DirectTool”

As cavidades confeccionadas por sinterização a laser tem grande resistência e apresenta uma vida útil admirável, grande quantidade de componentes plásticos injetados podem ser fabricados. Podem ser utilizados neste processo dois materiais: uma liga níquel, bronze e fosfato de cobre que permitiria a produção de aproximadamente 34.000 peças injetadas com termoplásticos; ou um aço, com propriedades semelhantes ao P20 que permitiria a produção de cerca de 100.000 peças também injetadas em termoplásticos. O processo de confecção é semelhante ao mencionado anteriormente. (VOLPATO et al, 2007)

Diferentemente do processo da empresa norte-americana, nestes processos não há a necessidade da etapa de extração do material aglutinante, pois as partículas metálicas de mais alto ponto de fusão são envolvidas pelo metal de mais baixo ponto de fusão com a ação de um laser de potência mais alta, o que possibilita um menor tempo de fabricação das cavidades. (VOLPATO et al, 2007, p. 178)

1.7.1.4 Moldes metálicos por impressão tridimensional (3DP) – “ProMetal”

Este processo permite a confecção de cavidades para molde que poderão produzir peças pelos processos de injeção, sopro, extrusão de termoplásticos ou mesmo fundição de alumínio e ligas semelhantes.

O processo se inicia quando a pulverização de um material aglutinante fotopolimérico, sensível à luz UV, é depositado sobre o pó metálico nas áreas determinadas pela geometria 2D obtidas pelo fatiamento da geometria 3D. Em seguida a plataforma de construção desce em Z, e um rolo espalha sobre a camada processada mais pó metálico e novamente a cabeça de impressão deposita o material aglutinante sobre o pó nas áreas determinadas pela geometria 2D, esta operação é sequenciada até a finalização da cavidade. Após confecção as cavidades estão porosas e devem ser infiltradas com bronze e posteriormente polidas. As cavidades prontas são encaixas em porta moldes e tem resistência para produzir até 100.000 peças em termoplásticos. (VOLPATO et al, 2007)

1.7.1.5 Cavidades metálicas pelo processo fabricação da forma final a laser (LENS)

O processo LENS tem chamado atenção e despertado interesse para confecção de cavidades metálicas. O princípio de funcionamento do processo já foi apresentação na subsecção 1.6.3.3. O processo é excelente, garante ótima resistência mecânica, porém, o acabamento superficial ainda é ineficiente sendo necessário realizar um polimento para deixar as cavidades lisas a fim de garantir que as peças produzidas tenham superfícies regulares. (VOLPATO et al, 2007)

1.7.2 Confecção Indireta

A confecção indireta está fundamentada na construção de uma peça modelo pelas tecnologias de RP que posteriormente será utilizada para fabricar as cavidades do molde propriamente dito. (SILVA, 2008)

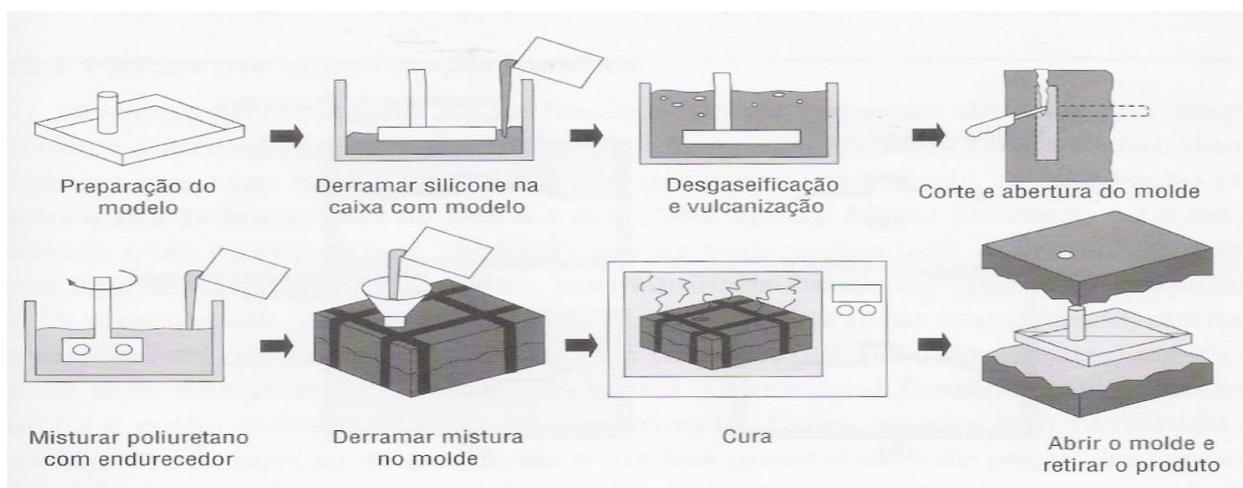
A confecção indireta já era utilizada antes do surgimento das tecnologias de RP em impressão 3D, porém, depois do seu surgimento a oportunidade de construir os modelos cada vez mais rápidos fez com que estes processos fossem utilizados com mais frequência. (VOLPATO et al, 2007)

1.7.2.1 Moldes de borracha silicone (RTV – Silicone “Rubber Molds”)

Este processo permite a construção de moldes de silicone que podem produzir de 20 a 30 peças em materiais como o poliuretano. Este material tem inúmeras propriedades que podem se comportar como se fosse um elastômero, acrílico, polipropileno entre vários outros. O processo se inicia com a construção do modelo da cavidade a ser moldada podendo ser produzida por qualquer uma das tecnologias de RP em impressão em 3D. VOLPATO et al, (2007) cita que este modelo é denominado como “master” e deve ter uma boa qualidade superficial, neste sentido, para alguns dos processos de RP em impressão 3D o acabamento merece grande atenção.

O modelo é posicionado no interior de uma caixa de moldagem onde o silicone será depositado envolvendo todo o modelo. “O silicone é misturado e desagaseificado, normalmente em câmeras de vácuo” (VOLPATO et al, 2007, p.167). Depois da vulcanização do silicone todo o conjunto é retirado da caixa, o molde será cortado manualmente para retirar o modelo e o molde está pronto para produzir peças. Estas peças são feitas com a mistura de um material líquido poliuretano com um endurecedor que pode ser vazado por gravidade ou a vácuo para o interior da cavidade com o molde fechado. O material é curado e o molde aberto para retirada das peças. Todas as etapas do processo para confecção de moldes de silicone estão representados na Figura 23.

Figura 23 - Etapas do processo para confecção de moldes de silicone



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p.167)

Os protótipos obtidos não possuem as mesmas propriedades da peça final, pois não são obtidas no mesmo material da peça final e também o processo de moldagem é diferente do que vai ser utilizado na produção. (VOLPATO et al, 2007)

1.7.2.2 Moldes de epóxi com carga de alumínio por vazamento

A partir de um modelo gerado por uma das tecnologias de RP em impressão 3D este processo permite a fabricação rápida de moldes feitos a partir de um material à base de epoxy com carga de alumínio no lugar do silicone.

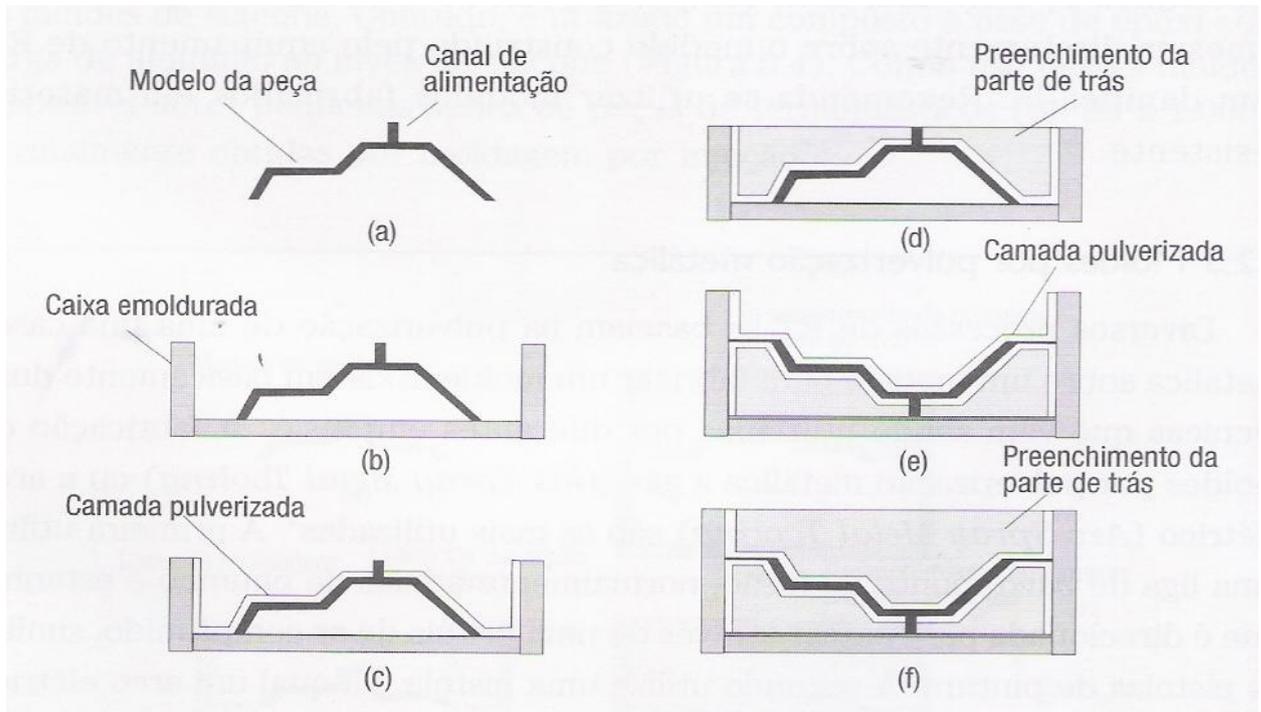
A fabricação do molde se inicia a partir de um modelo da peça, obtido por uma das tecnologias de RP em impressão 3D, que é posicionado e fixado em uma caixa de moldagem. A linha de partição do molde é definida neste ponto, com o uso de um material apropriado, normalmente plasticina. Canais de alimentação e ponto de injeção podem ser incorporados neste passo ou usinados posteriormente. O modelo é recoberto com um desmoldante e a primeira metade do molde é preenchida com a resina. Para favorecer a remoção de calor da peça no momento da injeção, tubos de cobre podem ser posicionados nos insertos, dentro da caixa de moldagem, antes do preenchimento da resina. Após a cura do epóxi reforçado com alumínio, a caixa de moldagem é invertida, para realizar o preenchimento da segunda metade do molde. Após a cura, o molde é aberto e o modelo retirado gerando a cavidade do molde. Moldes de epóxi podem ser utilizados para vazar resinas de poliuretano ou então serem utilizados no processo de injeção, sendo necessário alojar o mesmo em um porta moldes. (VOLPATO et al, 2007, p.169)

1.7.2.3 Moldes por pulverização metálica

O processo se fundamenta na pulverização de uma fina casca metálica sobre um modelo fabricado por uma das tecnologias de RP em impressão 3D.

O primeiro passo é fabricar o modelo por uma das tecnologias de RP em impressão 3D, como o objetivo de fabricar um molde de injeção, o modelo deverá incorporar ângulos de saída, sistemas de alimentação além de um bom acabamento superficial. Em uma caixa emoldurada o modelo é posicionado e fixado. Uma fina camada metálica é depositada ao longo de todo o modelo. Cubos de cobre são posicionados na parte de trás com função de refrigeração, e então a face do molde é preenchida com mistura de resina epóxi, com ou sem partículas de alumínio, ou mesmo uma liga metálica de baixo ponto de fusão. O molde é invertido e o processo se repete para a outra face. Ao final do processo, a caixa emoldurada é aberta, o modelo removido. Todo este processo está representado na Figura 24.

Figura 24 - Etapas para confecção de moldes por pulverização metálica



Fonte: VOLPATO et al, (2007, p. 170)

1.7.2.4 Moldes metálicos por eletrodeposição – “RePliForm”

Neste processo as duas faces da cavidade são produzidas pela tecnologia SL ou em cera. Num processo posterior, cada uma dessas faces é encaixada em placas individuais formando dois conjuntos de modelos. Esses conjuntos serviram como modelo para o processo de eletrodeposição que se inicia com a cobertura de uma tinta condutora de eletricidade, assim os conjuntos estão prontos para serem banhados em um ácido que contém partículas de cobre e/ou níquel. Quando uma corrente elétrica for aplicada ao banho, o cobre ou níquel é atraído para a tinta condutora por eletrólise que forma uma casca metálica que será completada com uma posterior pulverização. (VOLPATO et al, 2007)

1.7.2.5 Moldes metálicos por sinterização a partir de modelos de esteriolitografia

Neste processo as cavidades são confeccionadas em aço através da sinterização. Duas formas diferentes para fabricar as cavidades foram apresentadas:

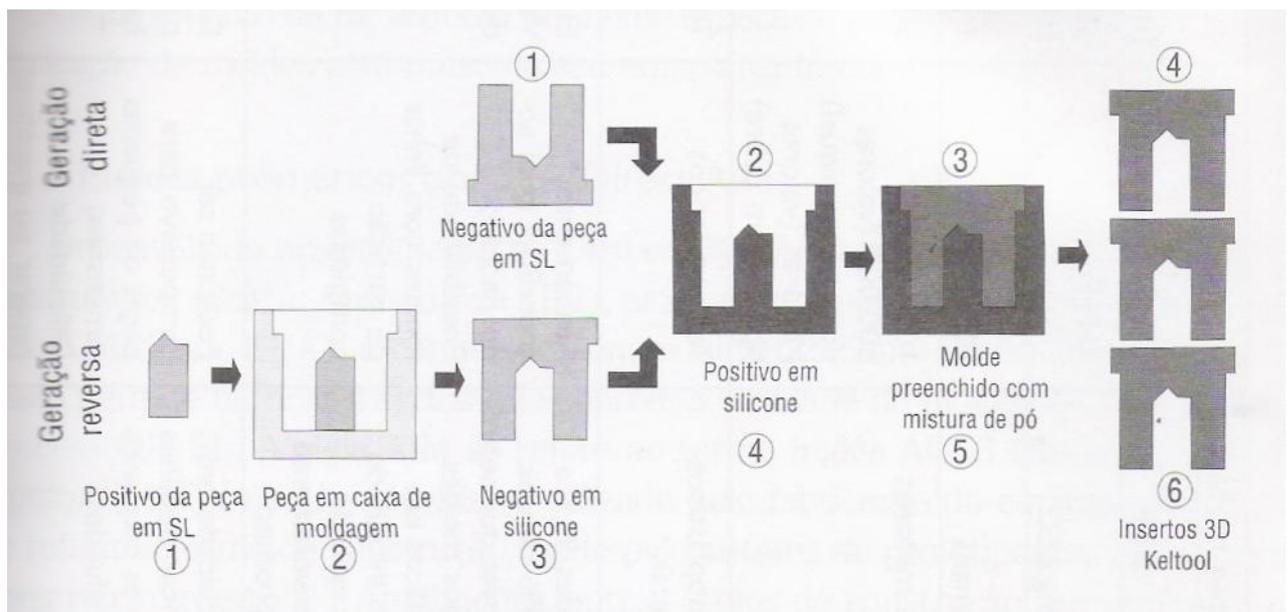
Na “geração direta”, um modelo negativo da peça, já na forma de inserto, é fabricado através da tecnologia SL. A partir deste modelo, é criado um positivo, em silicone, que é posicionado no interior de uma caixa apropriada, sendo esta preenchida com uma mistura de pó metálico e aglutinante.

Depois da cura do aglutinante, obtém-se a chamada “peça verde”, já na forma de inserto. Colocada em um forno, o aglutinante é eliminado e a peça sinterizada. Na “geração reversa”, o processo inicia-se com a fabricação, pela tecnologia SL, de um modelo positivo da peça. Este modelo é colocado numa caixa de moldagem, para a produção de um negativo na peça, em silicone, já na forma de inserto. A partir deste negativo, é criado um modelo positivo, também em silicone. Deste ponto em diante, o positivo em silicone segue a mesma sequência da “geração direta”, até a obtenção do inserto, em aço, sinterizado.

Em ambos os caminhos, o inserto produzido possui uma aparência porosa, precisando passar por uma etapa de infiltração de cobre. Após esta etapa e outras para dar acabamento superficial, os inserts podem ser montados em um portamolde, para produção das peças injetadas. (VOLPATO et al, 2007, p. 172;173)

As etapas deste processo está representado na Figura 25.

Figura 25 - Etapas para confecção da cavidade pelo processo 3D Keltool



1.8 Inovação

Inovação é a junção das tecnologias existentes e de invenções para desenvolver ou até mesmo melhorar um produto, serviço ou sistema. (VIDRIK, 2010)

Inovações não são apenas grandes avanços, grandes mudanças de paradigmas, como a invenção das copiadoras eletrônicas, do transistor, da penicilina, da manipulação genética: uma grande maioria das inovações de sucesso foi baseada em melhorias criativas e incrementais nas ideias, métodos e tecnologias já existentes. (VIDRIK, 2010, p. 33)

A capacidade de inovar constantemente é um dos fatores que garantem o sucesso das empresas mais rentáveis. A inovação é conseguida com as estratégias e ações para converter as ideias em novos produtos. (VIDRIK, 2010)

MANUAL DE OSLO (2007) defende que a empresa pode realizar diversos tipos de mudança em métodos de trabalho, fatores de produção, resultados que aumentam a produtividade e desempenho comercial. Todas essas mudanças são enquadradas em quatro tipos de inovação dentro das empresas: Inovações de produto, processo, organizacionais e inovações de marketing.

A organização de Cooperação para o Desenvolvimento Econômico (OCDE) considera a inovação tecnológica de produto ou processo como uma inserção de produtos e processos tecnologicamente novos que surgiram da identificação de necessidades do mercado que partiram para um processo de invenção ou criação. (VIDRIK, 2010)

A inovação não é um processo voltado apenas para grandes áreas na busca de transformações extraordinárias. Soluções simples podem gerar melhorias significativas em produtos e processos, além de garantir a permanência de muitas empresas no mercado. (VIDRIK, 2010)

Deve-se lembrar de que é necessário fazer a gestão das atividades de inovação para que ela ocorra de maneira eficaz baseada no conhecimento compartilhado. As atividades incluem o conjunto de etapas científicas tecnológicas, organizacionais, financeiras e comerciais, incluindo os investimentos em novos conhecimentos, coordenação de atividades, recursos e profissionais. É imprescindível que essas atividades ocorram em conjunto, pois pode ser que apenas uma delas é inovadora em si, porém as outras não são necessárias para a implementação da inovação. (VIDRIK, 2010; MANUAL DE OSLO, 2007)

O cenário econômico da inovação tem objetivos bem claros: substituir produtos que estejam sendo descontinuados, aumentar linha de produtos, manter ou aumentar participação de mercado, abrir novos mercados, aumentar a flexibilidade da produção, melhorar a qualidade dos produtos ou a capacidade de aprendizado e de implementação de mudanças, reduzir impactos ao meio ambiente, entre outros. Com os objetivos claramente definidos e suas respectivas importâncias para inovação, às empresas ganham forças que conduzem a atividade de inovação. (MANUAL DE OSLO, 2007)

O desenvolvimento de produtos pode ser considerado um processo de inovação. Ele é utilizado para desenvolver produtos a partir de novas ideias ou mesmo proporcionar melhorias em produtos já existentes. As tecnologias de RP em impressão 3D são utilizadas como ferramenta para aumentar o campo de invenções de maneira mais rápida e inovadora.

1.9 Dificuldades e Tendências

Anterior ao surgimento da RP em impressão 3D, os protótipos eram construídos em madeira ou metal, em processos que demoravam semanas ou às vezes meses e o custo se apresentava significativamente tão alto que os responsáveis pelo desenvolvimento do produto decidiam pular a etapa de construção do protótipo, ou seja, criar o desenho no CAD e encaminhá-lo diretamente para fabricação final nos centros de usinagem. Essas decisões implicavam na possibilidade de falhas de design ou mesmo de montagem, funcionamento que posteriormente gerava retrabalhos com grandes perdas, é o que relata a SKA (Empresa líder no fornecimento de tecnologia para as engenharias de design, projeto e processos de manufatura). A RP em impressão 3D surgiu a algumas décadas, porém só com a quebra de algumas patentes tornou se mais acessível a grande parte da população, ensinando as empresas a descobrir que o investimento em tecnologias de RP em impressão 3D podem reduzir os custos, erros e o tempo de desenvolvimentos de seus produtos proporcionando uma rápida inovação para aumentar a competitividade no mercado.

A primeira revolução industrial foi marcada pelo surgimento da máquina a vapor que eliminava aos poucos a mão de obra operaria incentivando o crescimento industrial com foco em alta produtividade, ou seja, produzir em escala. Já a segunda revolução industrial, foi marcada pelo surgimento de carros, eletricidade e motor a combustão que deu origem a ao Fordismo, a produção em serie ou em massa como muitos preferem chamar. A 3º revolução

industrial vem surgindo aos poucos com os conceitos do Toyotismo. E sem dúvidas a RP em impressão 3D pode ser vista como um marco na terceira revolução industrial ao dar poder de produção a pessoas comuns, que podem escolher o que querem, como e quando querem produzir. A Tecnologia é desenvolvida por grandes fabricantes como a Objet, Stratasys e Robtec. No final do ano 2012, as duas maiores empresas fabricantes de tecnologias de RP em impressão 3D, a Objet e a Stratasys se uniram, aumentando as possibilidades de crescimento da manufatura por camada. (WENZEL, 2013)

Nos últimos anos o Brasil subiu três posições no ranking que mede o número de impressoras 3D compradas. Com isso pode-se constatar que a tecnologia de RP em impressão 3D está em grande expansão, inclusive algumas empresas nacionais como a Cliever aproveitaram essa oportunidade para iniciar a comercialização de máquinas. A empresa criou uma impressora 3D de tecnologia FDM totalmente nacional comercializada no valor de R\$4.650,00. Suas atividades estão voltadas para clientes de pequeno e médio porte, porém, empresas como a Embraer e a Intelbras já adquiriram máquinas. A Embraer para validação de peças internas como botões e a Intelbras para prototipar novos modelos de telefone e demais produtos. (WENZEL, 2013)

No momento atual o equipamento ainda é muito caro, a Stratasys, por exemplo, comercializam impressoras de US\$ 10 mil a US\$ 600 mil. A Robtec, uma empresa também renomada na área de RP em impressão 3D comercializa equipamentos que variam de R\$ 6mil a R\$ 45mil. Apesar dos valores mencionados, a compra da tecnologia é um investimento que quando bem utilizado nas fases de desenvolvimento gera economia. Dentre todos os setores, os que mais investem na RP em impressão 3D é o setor automobilístico. (WENZEL, 2013)

Uma das montadoras que utiliza a impressão 3D é a Fiat Automóveis, que trabalha com prototipagem rápida há quase meia década. Segundo o supervisor de modelagem de design da Fiat Automóveis, Celso Morassi, “essa ferramenta auxilia a engenharia otimizando tempo e investimentos no desenvolvimento de novos componentes”. Atualmente, a Fiat possui duas impressoras 3D no Brasil e chega a recorrer a parceiros para imprimir os protótipos quando há muita demanda. “Produzimos quase 500 protótipos por ano, entre confecção interna e de fornecedores”, cita Morassi. Ele afirma que, em alguns casos, utiliza-se o protótipo em testes iniciais de um novo modelo, porém é impossível usá-lo como componente funcional em sistemas que exijam esforços, por exemplo. A Mercedes-Benz do Brasil utiliza a prototipagem rápida desde o início dos anos 2000. Segundo Luis Carlos Costa, gerente de desenvolvimento de cabinas brutas e suspensão de cabinas e materiais metálicos da Mercedes- -Benz do Brasil, a montadora conta com três impressoras 3D, com diferentes tecnologias (SLA, SLS e 3DP). “O número de protótipos varia conforme a necessidade de projetos, mas pode chegar a dezenas por mês”. (WENZEL, 2013, p. 8)

A tendência para os próximos anos é de grande crescimento para RP em impressão 3D, uma vez que as empresas sintam necessidade de serem rápidas e inovadoras no desenvolvimento de seus produtos e a tecnologia se torne mais acessível. Ainda é importante ressaltar a possibilidade de aplicação em outros segmentos como já ocorre na área médica. (WENZEL, 2013,P.8)

CAPÍTULO 2 – OBJETIVO

A proposta dessa pesquisa é caracterizar a tecnologia de RP em impressão 3D como sendo um ponto chave para o sucesso do desenvolvimento do produto. Defender que a sua aplicação pode possibilitar a redução significativa de custos, tempo total de desenvolvimento, juntamente com aumento de qualidade e agilidade que em consequência proporcionará alta competitividade no mercado.

2.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho contemplam:

- Levantar dados teóricos referentes à tecnologia de RP em impressão 3D;
- Elaborar em questionário exploratório com perguntas abertas e fechadas;
- Aplicar o questionário na forma de entrevista em três empresas da região;
- Analisar e comparar os resultados obtidos nas três empresas;
- Em forma de tabela apresentar os resultados obtidos na pesquisa;
- Apresentar os resultados caracterizando o objetivo principal deste trabalho.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

A metodologia a ser utilizada para a realização deste trabalho está fundamentada na pesquisa bibliográfica. Este tipo de pesquisa gera grande conhecimento, porém não geram ações de aplicação imediata. (CERVO; BERVIAN, 2002)

Define-se pesquisa bibliográfica como aquela que transcreve determinado problema com base em referências teóricas, ou seja, pensamentos científicos publicados em documentos formais como revistas, livros, dissertações e teses referentes ao tema proposto. Esse modelo de pesquisa pode ser usado individualmente ou em conjunto com a pesquisa descritiva. Tanto em um modelo como no outro, o objetivo principal é conhecer e analisar as informações científicas dos anos passados. (CERVO; BERVIAN, 2002, p. 65).

Neste trabalho, a metodologia de pesquisa bibliográfica não vai ser utilizada de forma independentemente, mas como parte da pesquisa descritiva.

A pesquisa descritiva se apresenta com intuito de observar, registrar, analisar e correlacionar os fatos ou fenômenos sem manipulá-los. Pode ainda ser subdivididas em: estudos descritivos, pesquisa de opinião, pesquisa de manipulação, estudo de caso e pesquisa documental. (CERVO; BERVIAN, 2002)

A necessidade de utilizar também a pesquisa descritiva nesse trabalho se deu com o intuito de entender a realidade das empresas, até que ponto elas conhecem a tecnologia apresentada neste trabalho, como essa tecnologia se desenvolveu, quais necessidades que levam ao seu uso e como a tecnologia está ajudando.

Para melhor explorar a tecnologia de RP em impressão 3D, foi utilizado o modelo de estudo de caso, uma das subdivisões da pesquisa descritiva.

Cervo e Bervian (2002) definem estudo de caso como análise e pesquisa sobre determinada organização, grupo, pessoa, família ou sociedade, que sejam por sua vez, representantes do universo estudado, possibilitando assim uma sustentável investigação de seus principais aspectos.

O instrumento utilizado para coleta de dados no presente estudo de caso foi o método de entrevista com 3 empresas da região de Marília-SP. O intuito foi obter dados que não podem ser encontrados em manuscritos, porém poderia ser fornecidos pelas empresas. As questões da entrevista foram definidas apenas depois da delimitação do assunto, revisão bibliográfica, definição dos objetivos, problemas e hipóteses. A entrevista deve ocorrer de

maneira orientada e com objetivos definidos, realizando o redirecionamento do entrevistado para o foco principal do assunto sempre que necessário. (CERVO; BERVIAN, 2002)

Opta-se pela realização da entrevista justamente para trazer as empresas para dentro do assunto, de forma participativa e atuante. Através das informações obtidas com a experiência dessas empresas, conseguir-se argumentos e soluções que demonstram a relevância do estudo. No próximo capítulo serão apresentados os resultados e opiniões referentes à aplicação da tecnologia de RP em impressão 3D no desenvolvimento de produtos das empresas da região.

3.1 Materiais

- Câmera fotográfica digital, Sony;
- Folha de papel A4;
- Caneta estereográfica cor azul;
- Questionário para entrevista.

3.2 Procedimentos

As experiências e expectativas das empresas em relação à tecnologia de RP em impressão 3D aplicada ao desenvolvimento de produtos foram levantadas através de entrevista aplicada a três (3) empresas da região de Marília-SP. O critério utilizado para escolha das empresas está interligado com o alto potencial de inovação que elas possuem no desenvolvimento de seus produtos.

3.3 Análises

Os resultados das entrevistas foram tabulados em tabela única, o que permitiu a comparação entre as empresas entrevistadas e a revisão bibliográfica.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS

A seguir, serão apresentados os resultados adquiridos através do instrumento característico do estudo descritivo, ou seja, a entrevista desenvolvida com os sujeitos da pesquisa tendo como referência as empresas entrevistadas.

4.1 Aplicação do Questionário na Empresa A

A empresa nomeada neste trabalho como empresa A é especializada na fabricação de equipamentos agrícolas da mais alta qualidade. Iniciou suas atividades no ano 1949 e atualmente seus produtos são dotados da tecnologia de agricultura de precisão, sendo considerada um das maiores empresas da região neste segmento.

Nesta empresa um engenheiro mecânico do setor de pesquisa e desenvolvimento de produtos foi entrevistado com o objetivo de levantar suas opiniões sobre as tecnologias de RP em impressão 3D.

Segundo o engenheiro mecânico entrevistado, a empresa conheceu a tecnologia de RP em impressão 3D há quase 10 anos. Desde então, o interesse em adquirir a tecnologia cresceu significativamente e o objetivo era reduzir os erros em projetos tendo o modelo impresso para avaliação visual e às vezes até mesmo funcional. A equipe de projeto queria materializar a ideia para mostrar para a diretoria, porém o objetivo não se concretizou devido ao alto custo da tecnologia na época.

Com o passar do tempo à tecnologia foi ficando mais acessível. Há 4 (quatro) anos a empresa A teve a oportunidade de adquirir umas das tecnologias de RP em impressão 3D. A tecnologia escolhida foi a FDM, uma modelação por extrusão de plástico. Quanto ao critério utilizado para escolha da tecnologia, o engenheiro relatou que na época em que a empresa estava decidida a investir na tecnologia alguns pontos foram relevantes na análise. O primeiro ponto foi o custo da tecnologia, seguida da resistência mecânica oferecida que possibilitava a utilização das peças impressas para teste, além da precisão e acabamento superficial.

A Figura 26 ilustra a máquina de tecnologia FDM utilizado pela empresa A. Foto registrada durante a entrevista.

Figura 26 - Equipamento FDM, uma modelação por extrusão de plástico



Fonte: O autor, 11/07/2013.

Em primeiro instante a inviabilidade financeira era o empecilho para aquisição do equipamento há dez anos, porém, há quatro anos ela se tornou possível. A empresa investiu o valor aproximado de R\$ 150.000,00 em um pacote que contemplava o equipamento com garantia de um ano e um pacote de treinamento para duas pessoas. Posteriormente o que ficaria caro era uma taxa de R\$ 26.000,00 por ano para renovar a garantia do equipamento. Para evitar este gasto, o engenheiro mecânico diz ter acompanhado o técnico responsável do fornecedor sempre que havia necessidade de fazer algum reparo no equipamento dentro do período do primeiro ano de garantia já incluso no pacote de compra. Ele foi curioso e ao acompanhar as assistências técnica aprendeu a mexer em todas as partes mecânicas do equipamento.

A matéria prima do processo FDM utilizado pela empresa A é um material ABS plus em filete de plástico. O custo em reais (R\$) varia de acordo com a cotação do dólar (US\$),

cerca de US\$ 250,00/1Kg, e o material suporte US\$ 120,00/1Kg . A tecnologia permite impressão em camadas de 0,254mm ou 0,325mm, porém, normalmente a empresa utiliza a camada mínima, 0,254mm para garantir um melhor acabamento superficial.

A Figura 27 ilustra o cartucho de impressão utilizado para armazenar o material.

Figura 27 - Cartucho de impressão (Filetes de plásticos ABS plus)

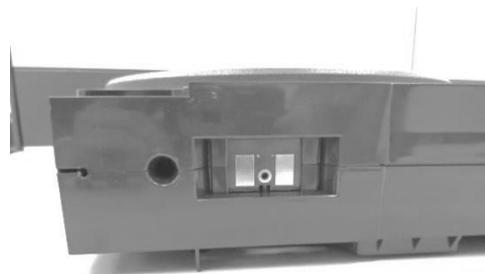


Fonte: O autor, 11/07/2013.

O filete de plástico ABS plus vem enrolado dentro de um cartucho. Em sua parte inferior tem uma porta para saída do material e um chip. Quando é realizada a troca de material a máquina reconhece o chip e faz a leitura de quantidade de material.

A Figura 28 ilustra a área do cartucho por onde sai o material para impressão.

Figura 28 - Saída de material pelo cartucho de impressão



Fonte: O autor, 11/07/2013.

Quanto à necessidade de treinamento, o engenheiro comentou sobre o pacote de treinamento que vem incluso na aquisição da máquina. Segundo ele, o treinamento é bem claro quanto à utilização do equipamento.

Durante esses quatro anos de experiência com a RP em impressão 3D a empresa A pode perceber vantagens e desvantagens.

Entre as vantagens alguns fatores podem ser visivelmente notados desde a inclusão da tecnologia na empresa. Um deles é a possibilidade de transmitir a ideia pré-projetada em um produto físico. Esse produto físico gera a possibilidade de maiores análises nas fases iniciais do desenvolvimento de produto, o que aumenta as chances de identificar falhas no desenho antes de confeccionar o ferramental definitivo em fases já avançado onde já houve maiores investimentos.

Como desvantagens, o engenheiro citou o alto custo do pacote de manutenção da máquina. Em alguns momentos a máquina em si já apresentou problemas mecânicos, além da necessidade de posterior acabamento depois da impressão, porém, quando adquiriu à tecnologia a empresa já estava ciente.

O acabamento é realizado dentro de uma câmara fechada com temperatura controlada ilustrada na Figura 29. Dentro da câmara tem água com um material detergente para facilitar a remoção do material suporte.

Figura 29 - Câmera de banho para remover material suporte



Fonte: O autor, 11/07/2013.

O engenheiro relatou que em meio às vantagens e desvantagens da RP em impressão 3D a sua utilização reduziu o tempo de desenvolvimento de produto de 30 a 40%. Essa redução está diretamente ligada à eliminação da necessidade de confecção de molde, ajustes, teste e mais ajustes. Antes de aplicar a RP em impressão 3D, previa-se um tempo para situações em que era necessário fazer alterações em ferramental, e elas eram frequentes. Hoje,

as alterações são realizadas ainda no desenho e impressão da peça. O molde é confeccionado somente com produto já definido após a RP em impressão 3D. A empresa produz produtos pequenos semanalmente e produtos maiores num período de 2 a 3 anos.

Pensando em sustentabilidade, surge o questionamento quanto à possibilidade de reutilizar o material processado, ou seja, os protótipos que não deram certo. Sobre este assunto o engenheiro confirmou a impossibilidade de reutilizar o material depois de processado, por este motivo é preciso analisar o desenho várias vezes antes de realizar a impressão.

Sobre a otimização do volume de trabalho, a empresa já fez a experiência de empilhar as peças no programa da máquina, porém não houve sucesso. Talvez a falta de experiência no planejamento de impressão tenha causado o insucesso.

Quanto aos ferramentais rápidos a empresa A relatou que nunca teve a necessidade de utilizar, porém reconhecem que poderia tentar em casos que precisam de muitas peças de um mesmo modelo.

O engenheiro não relatou ter encontrado problemas em utilizar a tecnologia de RP em impressão 3D, com exceção quando a máquina apresentava problemas e precisava de assistência técnica.

A empresa começou a usar a tecnologia com receios, porém com o passar do tempo foi se criando a confiança, mesmo assim, julga que deveria abusar mais da tecnologia que tem. O engenheiro comentou que a empresa trabalha com peças robustas, e talvez uma tecnologia mais avançada atendesse melhor as expectativas de resistência mecânica. Por este motivo ele recomenda a utilização da RP em impressão 3D para outras empresas, porém uma tecnologia mais avançada.

Sobre o crescimento da tecnologia de RP em impressão 3D o engenheiro diz que se a tecnologia continuar evoluindo na mesma velocidade, muitas surpresas podem acontecer. Talvez alguns processos de produção possam ser substituídos, ou seja, a impressão vai crescer dentro do desenvolvimento de produtos e estourar para produção em série. Pode ser questão de tempo. Outro fato que merece atenção são as impressoras de pequeno porte, domésticas sendo vendidas a um preço acessível que permite ao consumidor produzir o que quer, quando quer e do jeito que quer.

4.2 Aplicação do Questionário na Empresa B

A empresa entrevistada a qual será mencionada durante o desenvolver do trabalho como Empresa B é uma empresa de referência em comprometimento que atua no mercado oferecendo equipamentos de ginástica, jardinagem, náutica e inclusive equipamentos agrícolas. Um dado importante, que não poderia deixar de ser mencionado, é a preocupação da empresa com inovações tanto em design quanto na funcionalidade de seus equipamentos.

A entrevista foi acompanhada por um engenheiro de testes e um supervisor de projetos.

A empresa B, conhece a tecnologia de RP em impressão 3D. Recentemente, à aproximadamente quatro meses, adquiriu uma máquina de impressão a jato de tinta (IJP), uma tecnologia Polyjet da Objet que utiliza um sistema de jato de tinta para depositar a resina em pequenas gotas sobre uma bandeja e, imediatamente após a deposição, lança uma luz UV para a cura da camada. A impressora admite o uso de dois materiais, uma resina para a peça e um material tipo gel também fotocurável para o suporte. Os dois materiais são importados e demoram cerca de 40 dias para chegar depois do pedido de compra. O Engenheiro de Testes apresentou todos os compartimentos da impressora. A alimentação de material tem um fato curioso diferente de outras tecnologias. A impressora tem dois encaixes para cada material, essa função permite que ao término de cada vasilhame de material, automaticamente um novo vasilhame passe a ser utilizado conforme ilustrado na Figura 30. Outro relato não encontrado na literatura é o nivelamento da camada após a impressão das gotas de material antes de fotocura pela luz UV. O processo disponibiliza espessura de camadas apenas em 27 microns.

Figura 30 - Reservatório de matéria prima



A Figura 31 ilustra o equipamento utilizado pela empresa B. Na figura é possível visualizar a plataforma de construção do protótipo e o cabeçote de impressão.

Figura 31 - Equipamento de impressão a jato de tinta (IJP) da Polyjet.



Fonte: O autor, 12/07/2013

O processo é concluído com a lavagem da peça por um jato de água em uma câmara fechada ilustrado na Figura 32. A lavagem é necessária para remover o material suporte construído para sustentar partes vazias da peça e da o acabamento final.

Figura 32 - Lavagem a jato de água em câmara fechada.



Fonte: O autor, 12/07/2013

Em termos de custo, o investimento no equipamento chegou a R\$ 100.000,00. O material utilizado para impressões é comprado em proporções de 1Kg, o material para peça custa em torno de R\$ 800,00 e o material suporte R\$ 350,00.

Ao mencionar a avaliação para treinamentos, o engenheiro logo descreveu que um pacote de treinamentos foi adquirido junto à aquisição da máquina. Inclusive o fornecedor recomendou que 3 pessoas da Empresa B fossem treinadas. Neste treinamento foi abordada a operacionalização da máquina, como ligar, trocar o material, limpar os bicos de injeção, alinhar os cabeçotes, desligamento adequado, frequência de limpeza com álcool isopropílico, entre vários detalhes de utilização do equipamento. Um técnico do fornecedor fica ainda responsável pela manutenção preventiva da máquina por um período de 3 meses.

O engenheiro de testes relatou ter tido dificuldades para realizar a limpeza da máquina, porém, aos poucos foi pegando prática e as dificuldades foram sumindo.

A empresa B desenvolve produtos novos anualmente. Antes da aquisição da máquina de RP em impressão 3D, o tempo médio de duração do desenvolvimento girava em torno de um ano e quatro meses. Hoje, o supervisor de projetos disse que ainda não é possível quantificar a redução de tempo em todo o processo de desenvolvimento de produtos com o uso da RP em impressão 3D devido ao curto tempo de utilização da máquina, porém, quando analisa-se somente o tempo de prototipagem das peças, já é possível ver reduções significativas. Peças que demoravam em torno de duas semanas para serem prototipadas, hoje demoram apenas algumas horas.

O supervisor relatou que antes de adquirirem a máquina de RP em impressão 3D, os protótipos eram usinados em madeira ou plásticos, às vezes em metal ou tinham seus moldes construídos prevendo futuras alterações. Disse ainda que ambos os processos são caros, e existia o risco da construção do molde não dar certo. Se a modificação não desse certo, a probabilidade de perder o ferramental e todo o investimento era alta.

Na hora de escolher a tecnologia de RP em impressão 3D, a empresa considerou a resolução, acabamento da peça e tempo de remoção do material suporte. Eles chegaram a avaliar a tecnologia FDM, porém a remoção do material suporte era realizada em um banho meio ácido por algumas horas, enquanto a PolyJet permitia a remoção do material suporte em minutos por um jato de água. A lavadora utilizada pela empresa B está representada na Figura 33.

Figura 33 - Lavadora a jato de água



Fonte: O autor, 12/07/2013

A empresa B já precisou produzir um lote pequeno de peças prototipadas durante o desenvolvimento de seus produtos, e para facilitar o processo utilizaram a tecnologia de RP em impressão 3D para fabricar um ferramental rápido, ou seja, um molde prototipado. A empresa utilizou como matéria prima para formar a peça um poliuretano, um material

composto pela mistura de um líquido polioliol e isocianato. Os líquidos foram misturados e derramados dentro da cavidade do molde prototipado, e depois de um tempo a mistura dos líquidos se solidificou formando a peça desejada. O molde foi reutilizado para fabricar mais peças, o que talvez ficasse caro se confeccionado totalmente em impressão 3D.

Apesar de ter pouca experiência com o equipamento, a empresa B já consegue perceber vantagens e desvantagens da RP em impressão 3D.

Como vantagens, o engenheiro resume na palavra agilidade. Ele diz que peças que demoravam semanas para serem construídas em fibra ou plástico, hoje são confeccionadas em horas pela impressão 3D.

Já como desvantagens o Engenheiro levantou dois fatos: alto custo da matéria prima, porém mesmo assim o investimento é válido quando se coloca do outro lado da balança a redução de tempo no desenvolvimento de produtos e a cautela em não produzir os ferramentais definitivos antes de ter certeza da concepção do produto. Outra desvantagem citada é a impossibilidade de reproduzir alguns materiais, ou seja, nem todos os protótipos podem ser testados de forma funcional, apenas visual.

Sabe-se que a tecnologia de RP em impressão 3D é utilizada na construção de protótipos para testes e os mesmos têm possibilidade de dar certo ou não. Sobre este assunto o engenheiro relatou que quando a peça não dá certo perde-se todo material, ou seja, ele não pode ser reprocessado. Completou ainda que a cada 1Kg de material utilizado para impressão, 300 gramas são descartados durante processo de nivelamento da camada.

Sobre a otimização do volume de trabalho, empilhamento de várias peças em uma mesma impressão, o engenheiro relatou já ter feito esta experiência obedecendo ao critério de 1mm de distância entre as peças, inclusive colocando peça dentro de outra peça. Este procedimento foi realizado no CAD e enviado para impressora em arquivo único.

O engenheiro recomenda o uso da tecnologia que está instalada na empresa B. Ele diz que a tecnologia é ótima, proporciona muita agilidade no desenvolvimento de produtos, permite testar a funcionalidade e o design do produto. A tecnologia da empresa B tem um ótimo acabamento superficial, o que permite reprodução real dos produtos que estão sendo desenvolvidos.

Sobre a possibilidade da RP em impressão 3D ser considerada como uma nova revolução industrial, o engenheiro acredita que existam grandes chances. Comentou sobre a leitura que fez na revista 4 (quatro) rodas e se deparou com uma matéria que dizia que os bicos de motores de avião estavam sendo produzidos com impressão 3D em pó metálico para montagem do motor real, sem precisar recorrer a outros meios de produção.

4.3 Aplicação do Questionário na Empresa C

A empresa nomeada neste trabalho como Empresa C, é uma empresa familiar que atua no segmento alimentício há 56 anos. Suas atividades tiveram início com a fabricação artesanal de pipoca e amendoim. Hoje, é uma das gigantes no setor de doces e snacks. A empresa está presente no mercado de balas, caramelos, chicletes, pastilhas, confeitos, pirulitos e amendoins. Faz ainda exportação para mais de 60 destinos, incluindo os países do Mercosul, Austrália, África do Sul, parte da Europa e estados Unidos.

Nesta empresa a entrevista foi realizada com um gerente de projetos.

Ao iniciar a entrevista, o gerente de projetos logo relatou que já conhece a tecnologia de RP em impressão 3D. Ele disse que apesar da tecnologia existir a muito tempo, apenas agora está sendo melhor disseminado devido a quebra de patentes. Comentou que teve oportunidade de ver equipamentos desta tecnologia em feiras e revistas. E já adiantou que hoje está trazendo a tecnologia para dentro da empresa.

A empresa desenvolve produtos com frequência, certa de 15 a 20 produtos novos por ano. Um tempo médio de 30 a 45 dias por produto. O interessante que hoje a empresa ainda utiliza o processo artesanal, uma espécie de usinagem em fibra para reproduzir os moldes pilotos em alumínio. Para isso a empresa desenvolveu um fornecedor na Turquia, que fornece os moldes pilotos em acabamento teflonado. Com a RP em impressão 3D esses moldes poderão ser produzidos internamente sem incomodo com importações.

O interesse da empresa em adquirir um equipamento de RP em impressão 3D está interligado com a estruturação de um centro de inovação. A tecnologia de RP em impressão 3D vai auxiliar a empresa C a desenvolver produtos com mais agilidade, fazer brindes rápidos para os clientes, imprimir o projeto do produto para verificar estética/design, realizar pesquisa de mercado com lotes pilotos. Resumindo, o intuito real da empresa é criar um centro de relacionamento com o cliente, onde se possa mostrar a estrutura da produção e a variedade de produtos em escala de produção reduzida antes de lançar o produto no mercado.

Hoje a tecnologia está mais acessível devido às quebras de patentes, porém talvez ainda apresente um alto custo para algumas empresas. A empresa C está adquirindo um equipamento com custo de R\$85.000,00. A matéria prima é importada em filamentos sólidos. O gerente de projetos não soube informar em detalhes qual o tipo de processo da tecnologia que está sendo adquirida.

O interesse em investir na tecnologia de RP em impressão 3D surgiu desde o início do projeto para implantação do centro de inovação. O gerente relatou que a essência do

negócio está em produzir mais rápido, melhor e interno com segurança para garantir a patente do produto.

Relatou ainda que há 3, 4 anos a empresa se preocupava em desenvolver fornecedores melhores, ter agilidade e qualidade, e hoje o centro de inovação ou loja conceito como muitos preferem dizer é uma ferramenta moderna que torna a empresa fornecedora de si própria, a ter agilidade e qualidade no desenvolvimento de seus produtos de forma sigilosa e inovadora.

4.4 Tabela Comparativa de Resultados

Para facilitar o entendimento dos resultados obtidos com a Pesquisa de Campo, segue a Tabela 2, contendo os dados comparativos das empresas envolvidas na Pesquisa.

Tabela 2 - Comparação de informações

TABELA COMPARATIVA DE INFORMAÇÕES			
Dados	Empresa A	Empresa B	Empresa C
Segmento de atuação no mercado	Agrícola	Ginastica, jardinagem, náutica e agrícola	Alimentícia
Desenvolvimento de produtos	Sim	Sim	Sim
Aplicam a RP em Impressão 3D no desenvolvimento de seus produtos	Sim	Sim	Tecnologia está sendo adquirida.
Finalidade da RP em Impressão 3D	Construção de protótipos	Construção de protótipos	Centro de Inovação
Experiência com a RP em Impressão 3D	4 anos	4 meses	-
Investimento na Tecnologia	R\$ 150.000,00	R\$ 100.000,00	R\$ 85.000,00
Processo utilizado	FDM	Impressão a jato de tinta (IJP)	-
Critério utilizado para escolher processo	Custo tecnologia	Acabamento superficial	-
Material utilizado	Filamento plástico ABS Plus	Material líquido	-
Custo matéria prima	US\$ 250,00 - Kg	R\$ 800,00 - Kg	-
Material suporte	Sim	Sim	-
Custo material suporte	US\$ 120,00 - Kg	R\$ 350,00 - Kg	-
Espessuras permitidas pela tecnologia	0,254mm	27 microns	-
Investimento em treinamento	Incluso no pacote máquina	Incluso no pacote máquina	-
Dificuldades em manusear equipamento	Não	Houve dificuldades na limpeza do equipamento no início	-
Vantagens da Tecnologia utilizada	- Transmitir a ideia em um produto físico. - Aumenta as chances de detectar falhas antes de construir ferramental definitivo	- Agilidade no desenvolvimento de produtos. "Peças que demoravam semanas para serem construídas em fibra ou plástico são impressas em horas."	-
Desvantagens da Tecnologia utilizada	- Alto custo do pacote de manutenção. - Necessidade de acabamento após impressão.	- Alto custo da matéria prima. - Impossibilidade de reproduzir alguns materiais.	-
Frequência de desenvolvimento de produtos	- Produtos pequenos semanalmente. - Equipamentos de grande porte em 3 anos.	Anualmente	15 a 20 produtos por ano
Tempo médio para desenvolvimento de produtos	2 a 3 anos	1 ano e 4 meses	30 a 45 dias
Modificações de projetos anteriores a prototipagem	- Construção de ferramental definitivo com previsão de ajustes.	- Construção de ferramental definitivo com previsão de ajustes.	-
Modificações de projetos com a prototipagem rápida	- Antes de construir ferramental definitivo.	- Antes de construir ferramental definitivo.	-
Redução no tempo de desenvolvimento de produtos	30 a 40%	Ainda não é possível dimensionar.	-
Otimização de volume de trabalho	Sim	Sim	-
Possibilidade de reprocessar matéria prima ?	Não	Não	-
Já construíram Ferramentais Rápidos?	Não	Sim	É um dos propósitos
Recomendam o uso da tecnologia ?	Sim	Sim	Sim

Fonte: O autor

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com todas as informações levantadas e comparações dos resultados das entrevistas realizadas nas empresas da região de Marília-SP, conclui-se que a Tecnologia de RP em impressão 3D é uma ferramenta que, quando aplicada corretamente ao desenvolvimento de produtos proporciona a empresa agilidade e competitividade para inovar.

As entrevistas comprovam que as empresas estão investindo na tecnologia. Ao fazer um comparativo das experiências relatadas pelas empresas com a bibliográfica, comprova-se que os dados são semelhantes em toda a sua extensão, desde o princípio de funcionamento até as vantagens e desvantagens da tecnologia.

Uma das principais vantagens percebidas na tecnologia de RP em impressão 3D é a agilidade no processo de desenvolvimento de produtos. O fato de conseguir produzir um protótipo a partir de um desenho eletrônico sem envolver outros processos ou terceiros aumenta as chances de detectar falhas de projetos nas fases iniciais, onde ainda não houve grandes investimentos. Uma novidade que está ganhando espaço é a possibilidade de construir protótipos em materiais metálicos e cerâmicos.

Apesar das vantagens, ainda existem muitas desvantagens. O alto custo do equipamento, matéria prima e assistência técnica podem ser citados como desvantagens. O acabamento superficial final ou necessidade de realizar remoção de suportes também. Outro ponto de extrema relevância é a impossibilidade de fazer impressões com vários materiais, ou seja, para cada uma das tecnologias existentes é possível utilizar apenas um tipo material específico que seja compatível com a tecnologia. Existe ainda a impossibilidade de reproduzir alguns materiais mais rígidos, flexíveis ou mesmo transparente para testes funcionais, além da perda de dimensional do protótipo quando exposto muito tempo em temperaturas elevadas.

O cenário atual apresenta tendência para melhoria das tecnologias de RP em impressão 3D e seus materiais. O intuito principal é tentar diminuir ou mesmo eliminar as desvantagens percebidas pelos usuários atuais, até então comprovados na entrevista realizada neste trabalho. Diminuir ou eliminar as desvantagens significa dizer que a resistência mecânica e os danos causados ao meio ambiente pelo descarte do protótipo sejam melhorados. A redução do custo de equipamento, materiais e necessidade de acabamento também devem ser tratadas. E sem dúvidas, os esforços aplicados à prototipagem rápida em impressão 3D vão caminhar para tornar o protótipo uma peça pronta para uso.

A RP em impressão 3D está crescendo e ganhando espaço dentro do desenvolvimento de produtos de maneira eficaz para garantir a competitividade das empresas, a

qualidade de seus produtos e a sua sobrevivência no mercado através de um processo inovador.

REFERÊNCIAS

BARBOSA FILHO, Antônio Nunes: **Projeto e Desenvolvimento de Produtos**. São Paulo: Atlas 2009.

BAXTER, Mike R.: **Projeto de Produto (Guia prático para o design de novos produtos)**. 2. ed. rev. São Paulo: Blucher 2008.

CUNICO, Marlon Wesley Machado, **Estudo de Viabilidade de Tecnologia de Prototipagem Rápida Baseada em Materiais Fotopoliméricos Extrudados**, 2009. 204f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino: **Metodologia Científica**. 5. Ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CANDIDO Alves Henrique Luis; JUNIOR, Kindlein Wilson: **Design de produto e a pratica de construção de modelos e protótipos**. Ed. 2009. Publicado em LDSM – Laboratório de Design e Seleção de Materiais.

ECKHARDT, Moacir; RICK, Deivison A.; RIBEIRO, Luis F.; DIHLMANN, Christian. **Integração da Prototipagem na Elaboração do Produto**. Disponível em: <<http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/prototipagem.asp>>. Acesso em: 11 Julho 2013.

GORNI, Antônio Augusto: **Introdução à Prototipagem Rápida e seus Processos**. Ed. Março 2001, pág. 230 – 239. Editor Técnico: Revista Plástico Industrial.

MANUAL DE OSLO: Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação. Ed. 3, 2007. Publicação conjunta: OCDE e EUROSTAT / Financiadora de Estudos e Projetos.

ROZENFELD, Henrique; FORCELLINI, Fernando A.; AMARAL, Daniel C.; TOLEDO, José C.; SILVA, Sergio L.; ALLIPRANDINI, Dário H.; SCALICE, Régis K.; **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**. São Paulo: Saraiva 2006.

SILVA, Guilherme Canuto da. **Prototipagem rápida e ferramental rápido aplicados às peças utilizadas em ensaios estáticos de embalagens para acondicionamento e transporte de peças automobilísticas/G.C.** da Silva, 2008. 174p. Dissertação (Mestrado) – escola politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia mecânica.

SKA. [S.l.: s.n., s.d.]. **Cinco Motivos Importantes para Integrar a Impressão 3D no Ciclo de Vida de Desenvolvimento dos seus Produtos.** Disponível em:

< http://www2.ska.com.br/whitepaper_objet5motivos>. Acesso em: 09 set. 2013.

VANZOLINI, Carlos Alberto: **Gestão de Operações (A engenharia de produção a serviço da modernização da empresa).** São Paulo: Blucher 2007.

VOLPATO, Neri: **Prototipagem Rápida (Tecnologias e aplicações).** 1. Ed. São Paulo: Blucher, 2007.

VIDRIK, Valdeir Rejanildo: **Gestão da Inovação (Caminhos e Reflexões).** 1. Ed. Bauru, SP: Canal 6, 2010.

WENZEL, Karine: **Empresas investem na impressão 3D e reduzem drasticamente os tempos de elaboração de protótipos e desenvolvimento de produtos, garantindo inovação rápida e maior competitividade.** Ed. Março 2013, pág. 6 - 11. Editor Técnico: Revista Manufatura em Foco.

APÊNDICE A – Questionário

O questionário apresentado abaixo foi criado para avaliar a maturidade das empresas em relação às tecnologias de RP em impressão 3D disponíveis atualmente no mercado. Este foi desenvolvido para ser aplicado nas empresas que já utilizam a tecnologia na região de Marília-SP.

Questionário

Nome da Empresa:

Nome do entrevistado:

DATA:

1. Qual segmento em que a empresa trabalha?
2. A empresa conhece a tecnologia chamada RP em impressão 3D?
3. A empresa utiliza a RP em impressão 3D como ferramenta no desenvolvimento de seus produtos?
4. Há quanto tempo à RP em impressão 3D é utilizada na empresa?
5. Quando e porque surgiu a necessidade de investir na RP em impressão 3D?
6. Qual o processo/tecnologia escolhida para utilização pela empresa?
 - () Estereolitografia (SL ou SLA)
 - () Fabricação de objectos por camadas (LOM)
 - () Sinterização selectiva por laser (SLS)
 - () Impressão tridimensional (TDP)
 - () Modelação por extrusão de plástico (FDM)
 - () Outros. qual? _____
7. Qual foi o critério utilizado para escolha da tecnologia?
8. Quanto custou o investimento do equipamento?
9. Qual custo da matéria prima utilizada no processo?
10. Foi necessário investir em treinamento?

11. Qual principal vantagem percebida na tecnologia de RP em impressão 3D utilizada?
12. Qual principal desvantagem percebida na tecnologia de RP em impressão 3D utilizada?
13. Antes de implantar a prototipagem rápida, qual era o tempo médio de duração do desenvolvimento de produto?
14. Após implantação, houve redução no tempo?
15. Qual tempo médio atual para desenvolvimento de seus produtos?
16. Antes de aplicar a prototipagem rápida como eram as modificações de projeto?
17. Com o uso da prototipagem rápida como passaram a ser as modificações de projeto?
18. Desenvolve produtos com frequência?
19. Há possibilidade de reutilizar o material processado, ou seja, os protótipos que não deram certo?
20. Já realizaram a otimização de volume de trabalho empilhando varias peças em uma mesma impressão? (esse empilhamento é feito no CAD ou no programa da máquina)?
21. Quais as espessuras permitidas pela tecnologia utilizada?
22. Tiveram dificuldades em utilizar o processo de RP em impressão 3D escolhido?
23. Já utilizaram a tecnologia de RP em impressão 3D para fabricar ferramentais rápidos?
24. A empresa recomenda o uso da prototipagem rápida no desenvolvimento de produtos?
25. Vocês acreditam que a RP em impressão 3D resultará em uma nova revolução industrial?

APÊNDICE B – Questionário

O questionário apresentado abaixo foi criado para avaliar a maturidade das empresas em relação às tecnologias de RP em impressão 3D disponíveis atualmente no mercado. Este em especial foi desenvolvido para conhecer as empresas que ainda não utilizam a tecnologia, porém poderiam ser beneficiadas com esse recurso.

Questionário

Nome da Empresa:

Nome do entrevistado:

DATA:

1. A empresa conhece a tecnologia de RP em impressão 3D?
2. Como tomaram ciência da tecnologia?
3. Conhecendo a tecnologia a empresa acredita que poderia ser útil? Para qual finalidade?
4. Quando surgiu a interesse em investir na RP em impressão 3D?
5. Qual custo previsto para o investimento?
6. A empresa trabalha com o desenvolvimento de produtos?
7. Desenvolve produtos com frequência?
8. Qual tempo médio para desenvolvimento de seus produtos?
9. Como vocês avaliam a possibilidade de utilizar a prototipagem rápida no desenvolvimento de seus produtos?
10. Como são realizados protótipos neste tipo de empresa?
11. Existe a preocupação com o design/estética do produto?
12. O que a empresa acha de utilizar a tecnologia de RP em impressão 3D para fabricar ferramentais rápidos que permitirá a fabricação de um lote pequeno de peças reais e comestíveis?

