



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Departamento de Engenharia Mecânica
DEM/POLI/UFRJ



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

"TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS EM PROTOTIPAGEM RÁPIDA E MANUFATURA ADITIVA"

ALLAN ANDRÉ DO NASCIMENTO
(DRE:107431033)

Projeto Final de Curso

**Orientador :
Prof.Ricardo Manfredi Naveiro,D.Sc.**

Julho de 2013

TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS EM PROTOTIPAGEM RÁPIDA E
MANUFATURA ADITIVA

Allan André do Nascimento

PROJETO FINAL SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO MECÂNICO.

Aprovado por:

Prof. Ricardo Manfredi Naveiro

Prof. José Luis Lopes da Silveira

Prof. Fábio Luiz Zamberlan

Prof. José Antonio Monassa Heide

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JULHO DE 2013

Nascimento, Allan André.

Tendências Tecnológicas em Prototipagem Rápida e
Manufatura Aditiva / Allan André do Nascimento.

Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013

vii, 91 p.; il.

Orientador: Prof. Ricardo Manfredi Naveiro

(Projeto de Graduação) – Universidade Federal do Rio de
Janeiro, Escola Politécnica, 2013.

Curso de Engenharia Mecânica, 2013

Referências Bibliográficas: p. 91-94.

1. Construção em Prototipagem Rápida 2. Tecnologias em
Prototipagem Rápida. 3. Base de Dados de Patentes. 4. Tendências
Tecnológicas. I. Ricardo Manfredi Naveiro. II. Universidade
Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia
Mecânica. III. Tendências Tecnológicas em Prototipagem Rápida.

“An invincible determination can accomplish almost anything and in this lies the great distinction between great men and little men.”

Thomas Fuller

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer em primeiro lugar à Deus, que me fez acreditar na conquista dos meus sonhos, ainda que esses parecessem extremamente difíceis e longínquos.

Um agradecimento especial à cada um dos tios, tias, primos e primas da minha família também que sempre me deram o suporte emocional necessário para seguir na batalha, ainda que os dias fossem sombrios.

Muito Agradeço também à todos os meus amigos, em especial os de longas datas : Danilo, Diego, Luiz, Pedro e Rodrigo por sempre estarem ao meu lado desde o início desta caminhada. Aos meus amigos feitos durante a graduação : Adriano, Cesar, Filipe, Hugo, Kelvin e Pedro, pelo constante apoio às minhas decisões e por tornarem meus dias na faculdade mais prazerosos.

Um grande Obrigado ao meu orientador Ricardo Manfredi Naveiro, por sua paciência e colaboração neste projeto de final de curso.

Não poderia esquecer de agradecer enormemente aos meus primos e mentores Bruno e Filipe, que sempre me auxiliaram muito durante toda a minha caminhada profissional, além de sempre estarem dispostos a ajudar, me servem como fonte de inspiração ao trabalho.

Por ultimo e mais importante, gostaria de agradecer às pessoas mais formidáveis que tive o prazer de conhecer até então : Meu pai Francisco, por todo o apoio e carinho, à minha avó Lenira que apesar de não estar mais presente fisicamente, sempre fara parte de cada vitoria, à minha melhor amiga e irmã Fernanda pela companhia e apoio que sempre me deu, à minha tia e segunda mãe Regina, guerreira implacável nos dias de glória e batalha e à minha mãe Maria de Fatima por todo o amor e paciência durante esses 5 duros anos de aprendizado.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Tendências Tecnológicas em Prototipagem Rápida e Manufatura Aditiva

Allan André do Nascimento

Julho/2013

Orientador: Ricardo Manfredi Naveiro

Curso: Engenharia Mecânica

A tecnologia de construção de protótipos por técnicas de prototipagem rápida traz inúmeras vantagens à indústria atual, apesar de muitas limitações ainda estarem presentes.

Existem diversas técnicas de construção por prototipagem rápida nos dias de hoje, sendo essas extremamente vantajosas na construção de peças de geometria complexa, protótipos de pequena escala e produção em pequena escala. Em geral, estas peças não são direcionadas ao uso final. Esta tecnologia vem encontrando aplicação nas mais diversas áreas, que hoje abrangem desde a medicina até a produção para a engenharia propriamente dita. Mesmo com toda a evolução presente nos últimos anos, essas técnicas ainda apresentam algumas restrições quanto à quantidade de peças, tipos de materiais construídos, aplicação final dos protótipos, dentre outros.

Neste trabalho, fez-se em primeiro lugar um breve levantamento das tecnologias atuais existentes. Apresenta-se resumida explicação sobre cada uma delas, assim como pontos fortes e fracos de cada uma seguidos de suas aplicações. Em seguida fez-se pesquisa em duas bases de dados de patentes, de forma que se pudesse, à partir de análise, filtragem e contagem dos abstracts de patentes, tentar inferir uma possível tendência destas tecnologias. Terminada esta parte, tenta-se corroborar tal opinião à partir de pesquisas em periódicos e revistas especializadas na área. Ao final apresenta-se um estudo de caso, relatando uma situação onde esta tecnologia foi utilizada, assim como as vantagens e desvantagens de tê-la escolhido.

Esse tópico aqui apresentado é de grande importância para a indústria, que, munida de tais informações pode tentar antever o mercado, mantendo-se portanto competitiva e atualizada.

Palavras-chave: Prototipagem Rápida, Tendências Tecnológicas, Base Dados de Patentes.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

TECHNOLOGICAL TRENDS IN RAPID PROTOTYPING AND ADDITIVE MANUFACTURING

Allan André do Nascimento

July/2013

Advisor: Ricardo Manfredi Naveiro

Course: Mechanical Engineering

The technology of building prototypes by rapid prototyping techniques brings numerous advantages to the industry today, in spite of many limitations be still present.

There are several construction techniques for rapid prototyping nowadays, these being extremely advantageous in the construction of complex geometry pieces, small scale prototypes and small scale production. In general, these parts are not directed to the final use. This technology is applicable in many areas, which ,today , range from medicine to engineering production itself. Even with all this progress in recent years, these techniques still have some restrictions in the number of parts, types of materials constructed, final implementation of prototypes, among others.

In this work, it was done, first, a brief survey of current technologies available. It is Presented a brief explanation of each one of these technologies , as well as its strengths and weaknesses followed by its applications. Then was made a research in two different patent databases, so that it could be found a possible trend in rapid prototyping technologies. This hint came from the analysis, filtering and counting of patent abstracts. After this , a research in periodicals and magazines in this area was done so that it could either corroborate or not that first opinion. At the end it is presented a case study, reporting a situation where this technology was used, as well as the advantages and disadvantages of choosing it.

The topic herein presented is of great importance to the industry, who, armed with this information, can try to predict the market, while remaining competitive and updated.

Keywords: Rapid Prototyping, Technological Trends, Patent Data Base.

ÍNDICE

1–INTRODUÇÃO.....	1
1.1–HISTÓRICO.....	2
1.2–APLICAÇÕES.....	2
1.3– MANUFATURA ADITIVA.....	6
2–TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA.....	7
2.1– PROCEDIMENTO ATUAL.....	7
2.1.1 –Técnicas de Digitalização com Contato.....	8
2.1.2–Técnicas de Digitalização sem Contato.....	8
2.1.3–Conversão para o Formato STL.....	10
2.1.4–Corte do Arquivo STL.....	12
2.1.5–Construção Camada por Camada.....	12
2.1.6–Limpeza e Acabamento.....	13
2.2– PROTOTIPAGEM RÁPIDA.....	14
2.2.1–Processos Baseados em Líquidos.....	15
2.2.2–Processos Baseados em Sólidos.....	20
2.2.3–Processos Baseados em Pó.....	24
2.3–FERRAMENTAL RÁPIDO.....	29
2.3.1–Processos Indiretos.....	30
2.3.2–Processos Diretos.....	32
2.4–VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA.....	36
3–USO DE PATENTES.....	38
3.1–DEFINIÇÃO, TIPOS E SISTEMAS DE PATENTES.....	38
3.2 – PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA.....	40
3.3 – MINERAÇÃO DE DADOS.....	42
3.4 – PEAQUISA NA BASE DE DADOS.....	43
3.2.1 – Uspto.....	44
3.2.2 – Espacenet.....	61
4 – RESULTADOS.....	76
5 – TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS.....	80
6 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA.....	83
7 – CONCLUSÃO.....	90
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a intensificação da concorrência, aliada à crescente complexidade dos produtos fabricados, tem exigido das empresas alterações substanciais no Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), visando reduzir o tempo total de desenvolvimento, juntamente com o aumento de qualidade e competitividade. Para alcançar-se tais objetivos dispõe-se de métodos, normalmente, derivados da fusão e posterior moldagem do material (ex. vários tipos de fundição de metais em molde permanente ou não, moldagem por injeção de plástico, etc.), da remoção de material, até se chegar à forma desejada (torneamento, fresamento, furação, retífica, eletroerosão, usinagem química, eletroquímica, etc.), da Conformação, que são os métodos que geram a geometria final da peça a partir da deformação plástica do material inicial (ex. forjamento, conformação e estampagem de chapas, extrusão, laminação, metalurgia do pó, entre outros), e da adição de material (ex. soldagem, brazagem, colagem, entre outros, podendo promover a junção de partes mais simples objetivando a composição de peças mais complexas). Oriundo deste último grupo, um novo processo foi desenvolvido no final da década de 80, sendo este também baseado na adição de material, com a diferença de que este processo se baseia na adição de material em camadas planas. Conhecido mais comumente por Prototipagem Rápida, este método permite obter peças físicas semi-acabadas, de modo automático, de forma quaisquer e em dimensões finais, com complexidade e detalhes que não seriam alcançados em máquinas convencionais de usinagem, ou tornariam sua execução demorada ou complexa em centros de usinagem numericamente comandados. Dessa forma, tais máquinas possibilitam em certos casos uma maior velocidade e menor custo na obtenção de protótipos se comparado aos processos tradicionais de usinagem. Além disso, em certos casos estas técnicas permitem a obtenção de matrizes capazes de produzir uma quantidade limitada de peças, ideal para o emprego na produção de lotes pilotos. Tal tecnologia possibilita que as empresas possam desenvolver produtos mais rapidamente (menor time to market) e com menor custo, e, principalmente, com um acréscimo na qualidade por meio de uma melhor avaliação do projeto, levando também à uma diminuição das incertezas e riscos [1],[2].

Este trabalho tem como objetivo avaliar as possíveis tendências tecnológicas da prototipagem rápida, sendo avaliada somente a prototipagem rápida aditiva. Este trabalho não tem como objetivo fazer comparações qualitativas / quantitativas da prototipagem rápida com técnicas de fabricação tradicionais, como fresamento, conformação, laminação, extrusão, construção em torno CNC e etc. Também não será objetivo deste trabalho avaliar os materiais e sua influência na construção das peças, assim como não se estudará como cada técnica influencia a resistência de cada material.

1.1. HISTÓRICO

As raízes da prototipagem rápida são derivadas em grande parte de duas áreas, são elas: A Topografia e a Fotoescultura. Após anos de pesquisa e subsequente desenvolvimento, projetou-se a máquina que pode ser considerada como precursora da técnica atual de Estereolitografia. A técnica desenvolvida por Munz por volta de 1951 consistia de um sistema com exposição seletiva de seções transversais do objeto a ser desenvolvido, sobre a emulsão foto transparente. Ao término da produção de uma camada, um pistão era acionado abaixando a plataforma e acionando-se a quantidade apropriada de emulsão do agente fixador para o início da produção da próxima camada e assim sucessivamente, acabado este processo o objeto era esculpido manualmente ou fotoquimicamente estampado, criando-se, portanto, um objeto tridimensional. Com avanços na área de fotopolimerização, em 1982, Herbert, da empresa 3M, propôs um sistema no qual o feixe de laser Ultravioleta (UV) polimerizava uma camada através de um sistema de prismas em uma plotter X-Y. A tarefa seria realizada por meio de um computador, sendo este utilizado para comandar os movimentos do laser. O processo era repetido camada por camada até o término da peça. As técnicas foram desenvolvidas por mais alguns anos e em 1987 a prototipagem rápida começou a ser empregada comercialmente por meio do equipamento SLA-1, desenvolvido pela empresa americana 3D Systems [1], [2], [3].

1.2. APLICAÇÕES

A prototipagem rápida vem se apresentando útil nos mais diversos campos de aplicação, desde setores diretamente ligados à fabricação de peças mecânicas para automóveis, aviação, setores aeroespacial e militar e até mesmo maquinário pesado como também áreas não diretamente correlatas como design (desde peças decorativas até embalagens de produtos), medicina dentre outros. A aplicação da prototipagem rápida apresenta aproximadamente a divisão (em percentual) do gráfico apresentado abaixo:

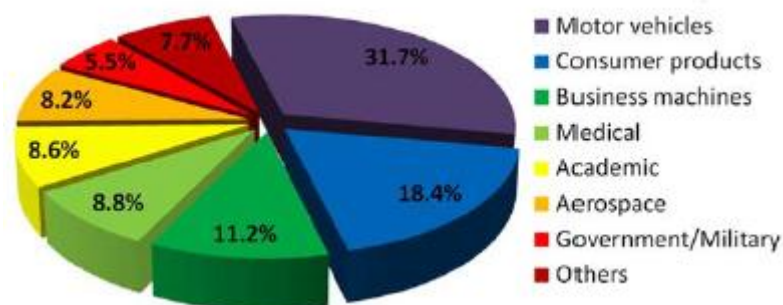


Figura 1 - Divisão das Aplicações [4]

Atualmente a medicina vem não só tirando proveito dessa área como também evoluindo bastante na área de próteses. O design e desenvolvimento de aparatos e instrumentos para a área médica é uma área que vem mostrando grandes resultados até então, especialmente no campo de ferramentas cirúrgicas. Na área de próteses essa técnica vem se mostrando muito útil pois a capacidade de construção rápida de próteses de acordo com as proporções físicas de cada paciente vem substituindo velhas próteses pré-fabricadas de tamanhos padrões, às quais nem sempre eram de perfeita adaptação por meio dos pacientes. Hoje já se faz grande uso de implantes espinhais, juntas de joelhos dentre outros. Um exemplo de implante que vem atraindo bastante atenção é a fabricação de próteses de orelhas de cera por meio da tecnologia de sinterização à laser a partir de um molde de orelha em gesso já existente. Outra área de aplicação na medicina também é a área de planejamento cirúrgico. O uso de modelos médicos em 3D ajuda o cirurgião não só a simular o procedimento que deverá performar, como a estudar a estrutura óssea do paciente antes da cirurgia. Isso, em geral, reduz não só o tempo, como o custo e principalmente o risco da cirurgia. A possibilidade de construção de tecidos em diferentes cores é de grande valia em casos de cirurgias de câncer, por exemplo, onde o tumor pode ser reproduzido e pintado com uma cor diferente, sendo então distinguido claramente. As peças construídas para planejamento cirúrgico são em geral construídas por meio de estereolitografia, enquanto as que precisam ser coloridas são em geral construídas pela técnica impressão 3D (3DP) por demandar construção com mais de duas cores.

Na área médica tem-se usado muito a prototipagem rápida para o aprendizado dos estudantes, não sendo mais necessária a utilização de ossos de cadáveres. Ultimamente grande foco dos estudos dessa área é o design e a manufatura de tecidos biocompatíveis, o que possibilitaria a implantação imediata de tecidos de difícil reposição [5].



Figura 2 - Parte de Crânio Reproduzido por Prototipagem Rápida [6].

Outras áreas de aplicação como o setor automobilístico e militar vem aplicando estas técnicas na criação de modelos em escala para testes funcionais, a aviação vem aplicando grandemente a prototipagem rápida também na área de criação de partes de avião , em escala, para testes em túnel de vento. Em aeromodelos a prototipagem rápida vem sendo aplicada para diminuir o peso dos aeromodelos fazendo estruturas mais delgadas, similares a osso de pássaros .



Figura 3 - Painel construído por RP [7].

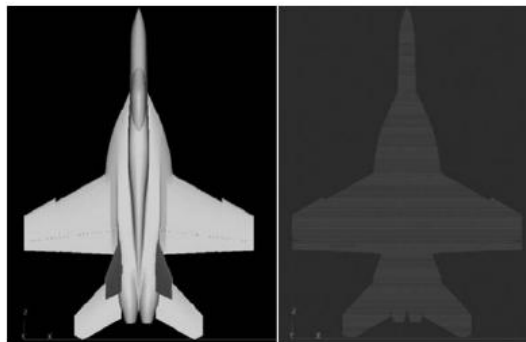


Figura 4 - Modelo Digital de aeromodelo [4]

Na indústria aeronáutica, até então, a maioria dos desenvolvimentos tem sido muito custosos. A prototipagem rápida vem ajudando muito não só no processo de redução de custos como na redução de tempo de construção de modelos. O aumento da complexidade geométrica das peças do ramo aeronáutico vem dificultando cada vez mais a construção por meios tradicionais, como também, vem dificultando a sua constante atualização, devido aos grandes custos de produção destas peças. A prototipagem/manufatura rápida vem sendo de grande ajuda na área de atualização/teste de novas peças projetadas. A possibilidade de produção em baixa escala, somente para testes, vem alavancando o interesse nesta área. Na área da aeronáutica (assim como na medicina) nem todas as tecnologias de prototipagem rápida são aplicáveis a

construção de peças para a área. As técnicas úteis a esta área são Sinterização seletiva à laser, estereolitografia e modelagem por fusão e deposição [4].



Figura 5 - Aeromodelo Construído com resina Fotocurável [8]

1.3. MANUFATURA ADITIVA

O termo prototipagem rápida foi cunhado pela indústria com o intuito de designar processos de criação de sistemas ou parte deles objetivando representação de tal peça antes de sua versão final ou comercialização. Em outras palavras, a ênfase desse termo é na criação de um objeto rapidamente, onde o resultado desta criação é um prototipo ou modelo de base onde, a partir destes, outros modelos aperfeiçoados poderão ser criados.

A nomenclatura prototipagem rápida vem sendo considerada inadequada, além de não descrever alguns dos processos mais recentes deste tipo de tecnologia. Melhoras na qualidade de produção destas máquinas criaram uma correlação muito mais forte com o produto final. Em alguns casos, certas partes já são diretamente manufaturadas destas máquinas, o que faz com que o termo “prototipagem” seja avaliado como incorreto. Uma outra restrição deste termo é que ele negligencia o princípio básico de construção das peças por essa tecnologia, a construção por adição de camadas.

Um comitê técnico formado pela ASTM acordou que um novo termo técnico deveria ser adotado. Apesar de ainda estar em debate, o novo termo seria Manufatura Aditiva. O objetivo desta nova nomenclatura é deixar claro que com algumas máquinas desta tecnologia pode-se construir objetos finais à partir de modelos gerado em CAD, sem a necessidade de maiores planejamentos. Além disso, o problema de mencionar a técnica básica de construção desta tecnologia (superposição de camadas), foi contornado com o termo Manufatura Aditiva, que vem não só se tornando de grande importância para a indústria, como cada vez menos raro [9].

2. TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM RAPIDA

2.1. PROCEDIMENTO ATUAL

Existem diversas técnicas de criação de modelos a partir da prototipagem rápida. Em geral cria-se um modelo 3D no CAD ou importa-se para o CAD um modelo previamente scaneado de uma peça já existente, a qual se deseja recriar com programa adequado (engenharia reversa) e a partir daí escolhe-se uma técnica de prototipagem rápida para se reproduzir fisicamente a peça. Em geral todos os métodos existentes se desenrolam a partir de 5 passos básicos.

São eles:

1. Criar ou importar um modelo em 3D no computador utilizando o CAD
2. Converter o modelo feito no CAD para o formato STL (mais usado) ou outro qualquer
3. Fatiar o modelo de extensão STL em camadas de fina espessura
4. Construção do modelo a partir do empilhamento dessas camadas
5. Acabamento do modelo (seja este a cura do protótipo, ou posteriores tratamentos da superfície do material)

Será listado abaixo algumas técnicas de scanneamento de objetos assim como se explicará um pouco mais sobre os cinco passos tratados acima.

Engenharia Reversa e Integração CAD/CAM Manufatura Rápida

Atualmente se faz grande uso de scanners para a coleta de dados sobre o formato da peça a ser construída. Esse fato ocorre em grande parte, nos casos em que se deseja reproduzir uma peça, não se criando essa do zero, ou em casos em que o projeto original foi perdido, não está disponível ou tem-se o arquivo corrompido. Peças quebradas ou desgastadas também podem ser reconstruídas a partir de tal método. Uma área que vem usando essas técnicas enormemente é a área médica. Próteses ósseas e dentárias vem sendo construídas em larga escala a partir de tal método. Esta alternativa se mostrou de grande valia também pelo fato de poder dar a possibilidade de países não possuidores de tal design/peça a isenção da necessidade de re-importar tal peça, ou mesmo recriar peça rara .

A engenharia reversa tem se mostrado de grande importância na construção de peças de reposição. A engenharia reversa assistida por computador se baseia no uso de ferramentas computacionais para obtenção da geometria da peça. A peça ou parte da peça é necessária para a coleta de dados do programa. Os dados do modelo podem ser exportados/importados para o CAD/CAE/CAM usando formatos padrão do tipo: IGES,

STL, VDA e STEP. A partir de tal fato se gera o modelo, no CAD, caso necessário se analisará a composição química do modelo e em seguida se iniciará a construção [10].

Obtenção da geometria e scanneamento

Um modelo 3D da peça é necessário, como mencionado anteriormente, para a construção do modelo. Como , também já dito anteriormente , ou cria-se o modelo 3D utilizando-se softwares como AutoCAD, CATIA, I-DEAS, Pro-Engineer, SolidWorks, e Unigraphics, ou se digitaliza automaticamente a imagem da superfície de tal peça (no caso já seja existente). Atualmente se dispões de dois meios de digitalização. Com contato ou sem contato com a peça.

2.1.1. Técnicas de digitalização com contato

Nesse método se utiliza de contato físico com o modelo para obtenção de dados. Instrumentos de medida serão utilizados para coleta de dimensões, obtendo-se a maior quantidade de medidas possível da peça. Os meios mais fáceis de medição com contato são medições por meio de instrumentos manuais como micrômetros, calibradores vernier e etc. Um outro meio mais sofisticado é se usar máquinas medidoras.

2.1.2. Técnicas de digitalização sem contato

Neste tipo de procedimento não há contato entre a peça e o sistema de medição, sendo esse método dividido em duas classes. Ativo e passivo. Técnicas ativas utilizam iluminação da peça por uma máquina e a partir da reflexão dessa luz obtêm-se o dado da superfície, enquanto a passiva utiliza luz ambiente.

Diversos tipos de técnicas sem contato estão disponíveis no mercado, como Scanner a laser, Tomografia Computadorizada, Interferômetro de Moiré e Triangulação de luz branca. Se tratará brevemente sobre estes métodos neste texto.

- Scanneamento a laser

Uma sonda emite raio laser de baixa energia, em seguida esse raio (de fina espessura) é projetado na superfície da peça a um ângulo de 30° a 45° do receptor óptico. Após isto esse raio é scanneado por um mecanismo possuidor de receptores ópticos com lentes coletoras que coletam o laser refletido pela peça. O método de triangulação é utilizado para determinar a posição de cada ponto na superfície desta peça. Este método gera um dado de coordenada (x,y,z) a cada medida.

- Tomografia Assistida por Computador

Utiliza raio-x e sensores para criar uma “foto” de uma fina camada de um objeto, associado ao dado dimensional, similar à uma tomografia computadorizada hospitalar. O aparelho scannea fatias transversais de objetos , (uma de cada vez) e cria uma densa nuvem de pontos em cada plano. Medindo a quantidade de energia do raio-x absorvida pela camada , o formato da peça e seu preenchimento (quantidade de material, porém não tipo do material) podem ser estimados. A distância entre camadas pode ser decidida até certo limite. Um modelo em 3D é gerado no CAD a partir das camadas em 2D, utilizando um software como por exemplo o Mimics da Materialise, Inc. A maior vantagem de tal método é a capacidade de capturar características ou anomalias. A geometria da peça, independente da sua complexidade pode ser obtida sem a necessidade de fusão das diferentes nuvens de pontos [10],[11].

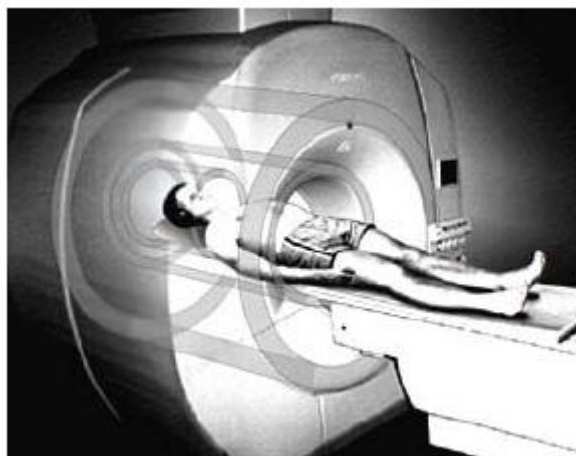


Figura 6 - Tomografia Computadorizada [5]

- Interferômetro de Moiré

É uma técnica baseada nas franjas de interferência do feixe incidente e do feixe refletido. A forma e a distribuição das franjas, fornecem informações da parte da peça. Em geral este método projeta na peça um feixe padronizado com faixas de luz branca e sombra. Este feixe é comparado com o feixe padrão projetado em um plano (que apresenta-se de forma uniforme). De acordo com as distorções sofridas pelo feixe, extrai-se informações sobre a superfície da peça [10].

- Triangulação de Luz Branca

Método que usa técnica óptica baseada em estereovisão. Este princípio é similar ao scanneamento à laser. A medição é feita a partir do ângulo entre a luz projetada , a luz refletida e as posições da fonte emissora e da câmera. Uma grande vantagem desta técnica em relação ao scanneamento à laser é que esta técnica scannea e mede uma série de pontos de uma só vez. Varias vistas do objeto são capturadas, estas vistas são então

transformadas e fundidas em uma nuvem de pontos 3D. Este processo é muito mais rápido e preciso que o scaneamento à laser, pois as vistas são capturadas estaticamente[10].

Em resumo o resultado desses métodos são nuvens de pontos, que determinam as coordenadas no espaço de cada ponto do objeto. Analisar tamanha quantidade de pontos no CAD é complicado, sendo necessário alguns softwares de engenharia reversa como: Geomagic, Imageware Surfacar, Magics, Pro/Scan Tools, Rapidform e o STRIM, os quais foram especialmente desenvolvidos para esse propósito.

Estas técnicas são necessárias no caso de engenharia reversa, podendo ser feita posterior análise de composição química da peça por alguns meios como química analítica, espectrometria mássica, microscopia a scaneamento eletrônico e etc, que não serão aqui aprofundadas. Ultrapassada essas etapas faz-se a conversão do arquivo para o formato escolhido (em geral com extensão STL), sendo seguida do início da manufatura rápida por meio de processo direto (prototipagem rápida) ou indireto (ferramental rápido).

2.1.3. Conversão para o formato STL

O segundo passo, portanto, é o de converter o arquivo CAD em formato STL. Os vários pacotes CAD usam um número de diferentes algoritmos para representar objetos sólidos. O formato STL (estereolitografia) é o mais usado na indústria de prototipagem rápida atualmente. Este formato representa uma superfície tridimensional “recortada” ou redesenhada como um conjunto de triângulos. O arquivo contém as coordenadas dos vértices e a direção da normal externa de cada triângulo.

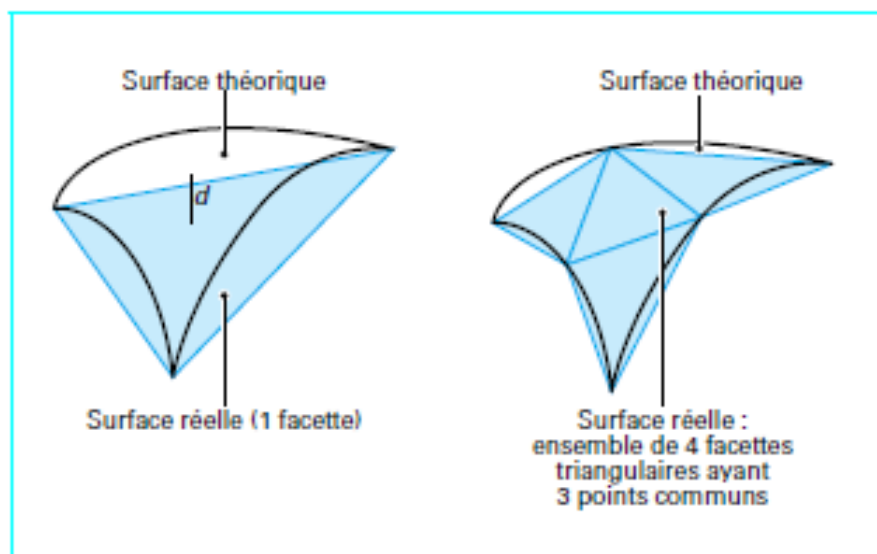


Figura 7 - Superfície Teórica e Real com diferentes resoluções [12]

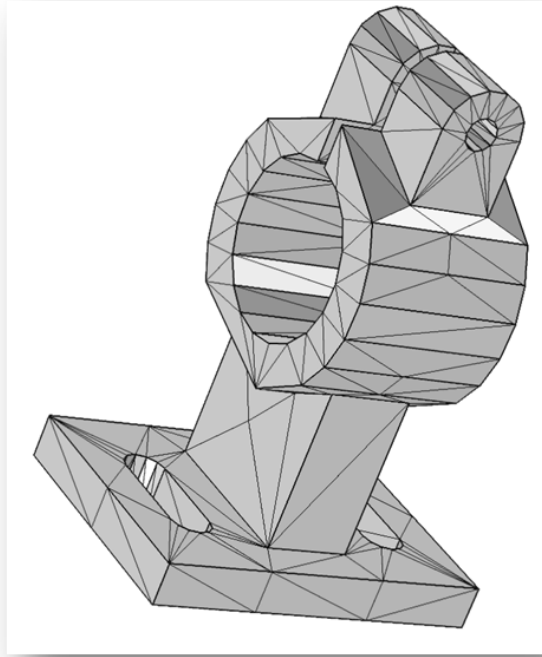


Figura 8 - Peça dividida em malha de triângulos [13]

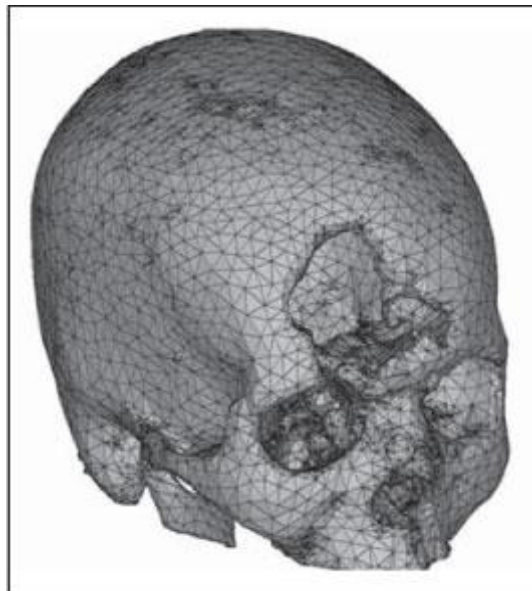


Figura 4. Malha de triângulos, construída a partir do algoritmo *marching cubes*, recobrimdo todas as superfícies da imagem.

Figura 9 - Crânio dividido em Malha de Triângulos [14]

Como os arquivos STL usam elementos planos, eles não podem representar superfícies curvas exatamente. Pode-se aumentar o número de triângulos melhorando-se a aproximação à custa de um arquivo de maior tamanho. Arquivos grandes e complicados requerem mais tempo de pré-processo e construção. A grande tarefa do projetista é saber balancear a precisão que é necessária à construção do projeto e o tempo/custo para construção do projeto.

2.1.4. Corte do arquivo STL

Na terceira etapa, um programa de pré-processamento prepara o arquivo STL do modelo a ser construído. Essa etapa permite ao usuário ajustar o tamanho e orientação do modelo. Essa fase é importante, pois algumas decisões precisam ser tomadas pelo engenheiro/operário encarregado da tarefa. Por exemplo, os protótipos são normalmente mais fracos e menos precisos na direção z (vertical) em relação ao plano xy. Além disso, a orientação da peça, em parte, determina a quantidade de tempo necessário para construir o modelo. Colocar a menor dimensão na direção z, reduz o número de camadas, encurtando assim o tempo de construção. As fatias de pré-processamento de software do modelo STL em geral tem variados tamanhos de espessura, cada um dependendo da técnica de construção [11].

2.1.5. Construção camada por camada

O quarto passo é a construção real da peça. Usando uma das várias técnicas que serão aqui citadas, as máquinas constroem uma camada de cada vez a partir de matérias primas como: polímeros, papel, metal em pó e etc. A maioria das máquinas são bastante autônomas, precisando de pouca intervenção humana. Esta construção por camadas apresentam certas limitações, não só por parte do software, como mais criticamente, por parte da construção física. Após pesquisa junto à fabricantes, tem-se que a espessura das peças construídas hoje por meio da prototipagem rápida podem ser reduzidas até 0,0006 polegadas ou 0,016 milímetros (Objet 1000 da Stratasys) variando com a técnica escolhida e máquina escolhida [15]. Em resumo algumas técnicas utilizadas hoje em dia tem a seguinte limitação de espessura:

Tabela 1 - Resoluções das técnicas [15]

Processo	Resoluções possíveis (Polegadas)	Resoluções possíveis (Milímetros)
Estereolitografia	Alta Resolução -0,02	Alta resolução -0,05
	Baixa Resolução -0,06	Baixa Resolução -0,15
Sinterização à Laser	Alta Resolução-0,002	Alta Resolução-0,06
	Baixa Resolução-0,007	Baixa Resolução-0,18
Fused Deposition Modeling	Alta Resolução-0,007	Alta Resolução-0,178
	Baixa Resolução-0,01	Baixa Resolução-0,254
Polyjet	Alta Resolução-0,0006	Alta Resolução-0,016
	Alta Velocidade-0,001	Alta Velocidade-0,03

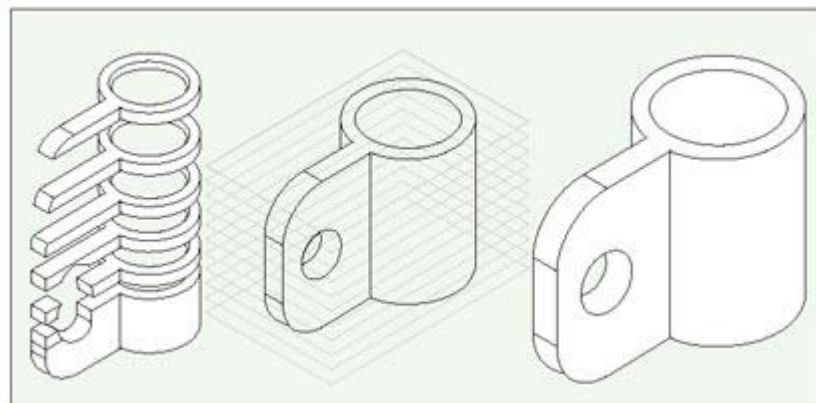


Figura 10 - Construção de Caneca por Camadas [16]

2.1.6. Limpeza e Acabamento

O passo final é o pós-processamento. Isto envolve a remoção do protótipo da máquina e retirada de quaisquer suporte. Alguns materiais fotossensíveis precisam ser totalmente curados antes da utilização. Protótipos podem também exigir pequenas limpezas e tratamento de superfície. Lixar e / ou pintar o modelo irá melhorar a sua aparência e durabilidade.

O esquema abaixo resume o processo como um todo:

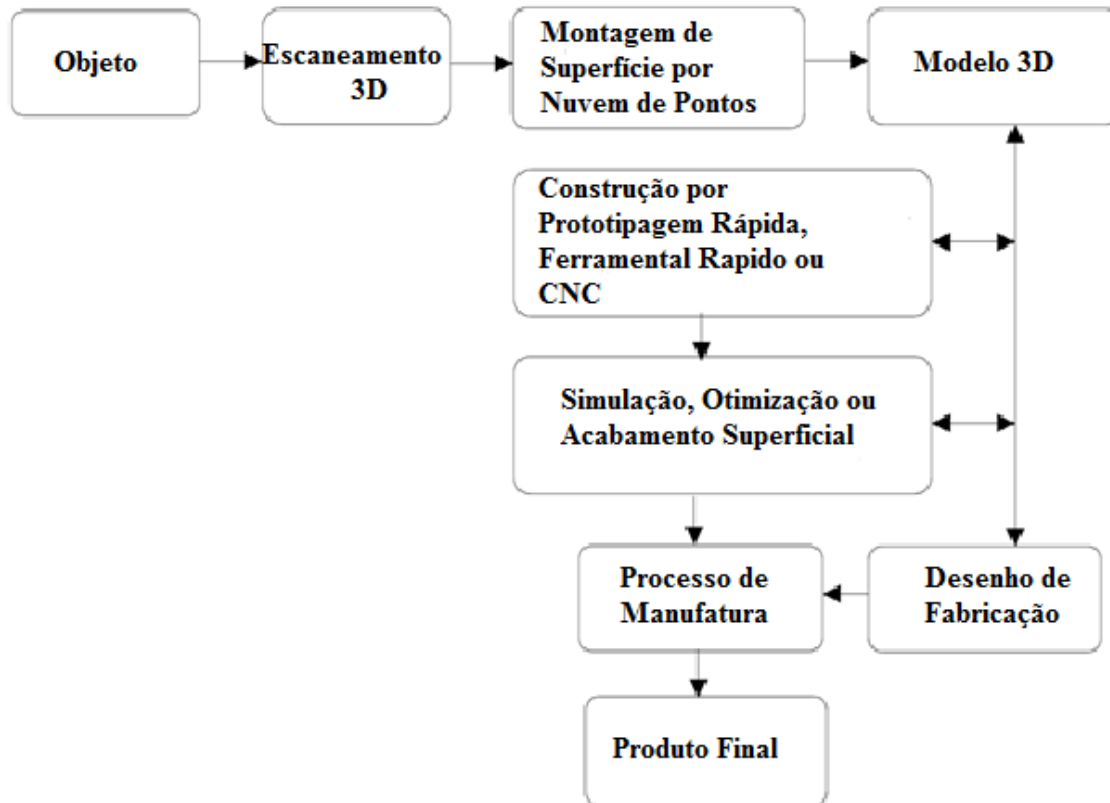


Figura 11 - Diagrama Ordenado de Etapas [10]

2.2. PROTOTIPAGEM RÁPIDA

Existem diversos sistemas de prototipagem rápida disponíveis no mercado, que basicamente, se baseiam-se no mesmo princípio de adição de camadas planas. Estas tecnologias são agrupadas pelo estado ou forma inicial da matéria-prima utilizada na fabricação. Esta classificação é flexível pois algumas técnicas são capazes de utilizar suas matérias primas em diferentes estados (caso da IJP). Esses processos, portanto, são baseados em três tipos distintos de matéria prima (alguns autores consideram 4 tipos incluindo o estado inicial semi-líquido como um tipo diferente de matéria prima), aqui serão abordados os 3 métodos, sendo eles: Líquido, Sólido e Pó.

- Baseados em Líquido: A matéria prima utilizada na fabricação da peça encontra-se no estado líquido antes do processamento. Nesta categoria encontra-se tecnologias envolvendo a polimerização de resina líquida por laser UV, jateamento de resina líquida (similar a um processo de impressão à jato de tinta) seguida de cura pela exposição à luz UV dentre outros.
- Baseados em Sólido: A matéria prima neste caso (também antes do processamento) se encontra em estado sólido. Existem processos que vão desde fusão do material antes da deposição e construção da camada (fusão de

filamentos, laminas e etc) até os que recortam as laminas do material selecionado.

- Baseados em Pó: Aqui tem-se a matéria prima na forma de pó antecedendo o processamento da mesma. O processamento do material pode ser feito a partir de exposição ao Laser ou mesmo a um aglutinante (este seguindo processo similar, também , à impressão a jato de tinta).

2.2.1. Processos baseados em líquidos

As técnicas abaixo citadas estão listadas da seguinte forma: Primeiro faz-se menção à técnica com sua sigla entre parêntesis (caso haja). No caso de se ter um hífen com um nome ao lado, esse nome significa que a técnica citada tem uma meio específico de produção, sendo este chamado desta forma. Caso um próximo nome apareça é que tal técnica é fabricada por este fabricante, sendo este assim nomeado. No caso ainda de somente um hífen , se trata do nome de tal tecnologia e seu respectivo fabricante. As maquinas abaixo comparadas são máquinas de cunho industrial, alta produtividade e precisão. Seus preços giram em torno de dezenas e centenas de milhares de dólares.

- Estereolitografia (SL) – 3D Systems

Patenteado em 1986, a estereolitografia é considerada a técnica que iniciou a revolução da prototipagem rápida, possibilitando a disponibilização comercial desta técnica.

A Estereolitografia tem como matéria prima uma resina fotocurável, onde a cura é obtida por meio de exposição desta resina em geral a um laser de comprimento de onda na faixa ultravioleta. Após preenchimento do recipiente (contendo uma plataforma) com a resina fotocurável (podendo ser esta atualmente à base de acrilatos, epóxi e etc) inicia-se a construção da peça. O laser reproduz a geometria em 2D obtida pelo fatiamento da peça em CAD. Ao se expor ao feixe de laser a resina se polimeriza, solidificando-se portanto e gerando uma camada. A plataforma abaixa e o processo anterior é repetido para a camada de cima. Esta rotina é continuada até o final da fabricação da peça. Caso as peças tenham partes desconectadas um suporte do mesmo material da peça é criado (pelo próprio sistema computacional) para que não ocorra flutuação ou afundamento da parte solta. A peça em estado “verde” necessita limpeza

com solvente, seguida de remoção cuidadosa do suporte, sendo posteriormente levada à um forno UV para sua cura completa. Pode ser necessário subsequente acabamento superficial manual .

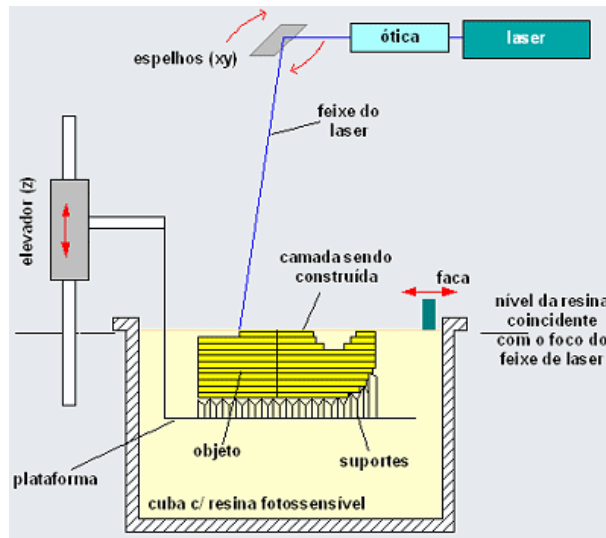


Figura 12 - Esquema de Construção por Estereolitografia [17]

A Estereolitografia possui vantagens como ser muito difundida mundialmente, apresentando assistência técnica em diversos países e possuir boa precisão e qualidade superficial quando comparadas a outros processos de prototipagem rápida.

As desvantagens apresentadas por essa técnica são: Necessidade de suporte para construção de regiões não conectadas, sendo necessário consumo da resina que constrói a peça. Em geral necessita de pós cura em forno UV, matéria prima , em geral , resinas poliméricas, são danosas ao operador da máquina [3].

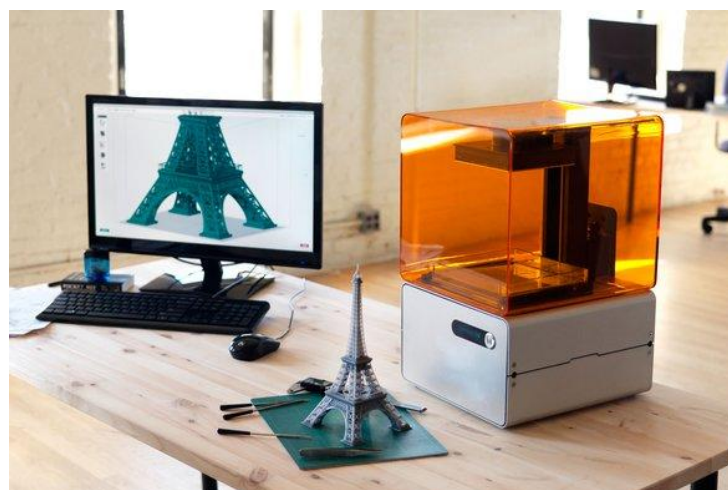


Figura 13 - Máquina de Construção Caseira [18]

- Impressão à Jato de Tinta (IJP) – PolyJet - Objet

Trabalha com resinas e um material tipo gel (para construção do suporte) ambos fotocuráveis. Tem como princípio básico a deposição de pequenas gotas de resina em uma bandeja seguida da cura por luz UV, lançada logo após a deposição da resina. O processo de construção é feito em camadas, porém neste caso o suporte pode ser removido facilmente e o operador não fica exposto à resina uma vez que ela vem em cartuchos segundo o fabricante.

Possui boa precisão e qualidade superficial. A resina é totalmente curada durante a deposição, não necessitando pós-cura, além de não utilizar laser economizando-se assim energia, apresenta também fácil remoção do suporte (manual ou por jateamento de água).

Por outro lado esta técnica também necessita de suportes para partes não conectadas.

Obs.: A impressão à jato de tinta também pode ser considerada uma técnica baseada em sólido, bastando para isso que a matéria prima seja derretida antes de sua utilização [3],[19].

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

Princípio muito similar ao relatado acima porém nesse a resina utilizada como matéria prima é uma resina epóxi com 30% de cera, sendo o suporte confeccionado com um material de características semelhante à cera. Para retirada do suporte é necessária uma etapa de pós processamento em forno sendo este tempo proporcional à quantidade de suporte a ser removida. Apresenta as mesmas vantagens e desvantagens da IJP da Polyjet salvo que esta precisa de pós processamento para retirada de suportes [3] .

- Base de Cura Sólida (SGC, Solid Ground Curing) – Z Corporation

Este processo é de grande similaridade com o método SL, uma vez que ambos utilizam luz UV para fazer a cura de resinas fotocuráveis. A diferença entre esse e o processo anterior, é que o SGC cura uma camada inteira de uma vez. O processo tem início quando a resina foto-sensível é aspergida sobre a plataforma de construção. Em seguida a máquina gera uma foto-mascara correspondente a camada a ser construída, sendo essa impressa sobre uma placa de vidro em processo similar ao das máquinas de fotocópias. Esta máscara é então exposta à radiação UV, a qual passa através de porções transparentes da máscara, endurecendo portanto seletivamente a camada de construção atual. Ocorrida a cura da resina, seu excesso é succionado por vácuo e em seguida, cera é borrifada em seu lugar, servindo de suporte para construção da próxima camada ou de partes desconexas da peça. A superfície é planificada por meio de fresamento e em seguida é dado início à construção da nova camada. Após finalização da peça a cera é removida por meio de imersão num banho de solvente. Essas máquinas são de grande porte, construindo também protótipos de grande porte [20].

Abaixo temos um quadro comparativo, mostrando as informações acerca das técnicas baseadas em líquidos.

Tabela 2 - Processos Baseados em Líquido [3]

Processos	Baseados em Líquido		
Características	SL	IJP Polyjet	IJP InVision
Empresa	3D Systems	Objet	3D Systems
Custo Inicial de Aquisição	Alto	Médio	Baixo
Custo do Material	Alto	Alto	Médio
Custo do Protótipo	Alto	Médio	Baixo
Precisão	Alta	Média	Média
Variedade de Materiais	Pequena	Pequena	Pequena
Velocidade de Construção	Média	Média	Alta
Resistência Mecânica	Média	Média	Baixa
Cuidados especiais com ambiente de instalação	Resina toxica e deixa sujeira; Ocupa muito espaço nos modelos maiores	Necessita de local para lavagem das peças e remoção do suporte	Necessita de forno para remoção do material do suporte
Necessidade de Suporte	Sim	Sim	Sim
Acabamento Superficial	Excelente	Bom	Regular-Bom
Protótipo em cores	Sim. Duas Cores	Não	Sim. Monocromáticas
Perda de Material (Reutilização do material não processado)	Material do suporte não é o mesmo da peça e não é reaproveitável. Reutilização	Somente há perda do material do suporte	Somente há perda do material do suporte
Necessidade de pós-processamento	Sim. Pós-cura em forno e retirada de suportes	Sim. Retirada de suporte	Sim. Retirada de suporte
Tamanho máximo de peças	508 x 508 x 584 mm	336 x 326 x 200 mm	298 x 185 x 203 mm

2.2.2. Processos Baseados em Sólidos

- Modelagem por deposição (FDM) – Stratasys

O princípio básico de funcionamento desta técnica é a construção de protótipos por meio da extrusão da matéria prima. Uma “cabeça extrusora” com movimentação no eixo X-Y, expele o material no estado semilíquido ou pastoso, construindo portanto a primeira camada na plataforma, que é abaixada do mesmo valor da espessura de construção desejada. Esta tecnologia também necessita de suporte, que é construído de um material mais frágil que o material em que o objeto é construído (disponíveis atualmente: cera, poliéster, ABS, policarbonato e etc.) sendo de fácil remoção manual, ou , mais recentemente , por um material que é removido submergindo o protótipo em solução líquida aquecida. Este suporte é construído por um segundo bico extrusor presente na máquina.

Essa técnica apresenta as seguintes vantagens: Peças construídas de alta resistência, possibilitando em alguns casos testes funcionais, não requer pós-cura, não utiliza laser gastando assim menos energia e pode ser utilizado em ambiente escritório. Apesar destas vantagens citadas, a precisão do processo não é muito alta, como nas outras técnicas esta também demanda construção de suporte, sendo necessária sua posterior remoção e a velocidade do processo de construção é lenta [3].

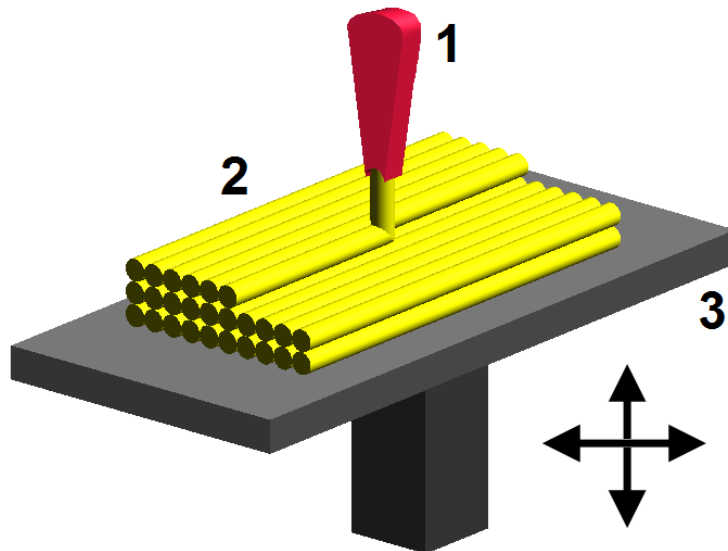


Figura 14 - Esquema explicativo tecnologia FDM [21]

- Manufatura Laminar de Objetos (LOM)-Cubic Technology

A tecnologia LOM baseia-se na sobreposição de folhas com um dos lados sendo adesivos. O processo ocorre da seguinte forma: Após deposição da folha sobre o local, um rolo aquecido é passado sobre a folha, fazendo com que ela ative sua cola, se aderindo a camada anterior. Um feixe de laser CO_2 é ativado, recortando o desenho da superfície e picotando a parte não utilizada em pequenos retângulos possibilitando a posterior retirada do material não utilizado manualmente. Este mesmo material não utilizado serve de suporte pois fica ao redor do recorte da peça. Os materiais disponíveis para a construção da peça atualmente são: plásticos, tecidos, cerâmicas, folhas metálicas e o de uso mais comum é o papel Kraft que não é danoso ao operador mas demanda posterior pulverização de resina epóxi sobre sua superfície, selando o objeto e evitando danos causados pela umidade.

Este processo apresenta como pontos fortes o não requerimento de pós-cura (apesar de posterior tratamento do material como lixamento, polimento ou selagem), possibilita a parada da máquina a qualquer hora e por somente necessitar da varredura do laser ao redor da superfície ao invés da superfície inteira esse processo apresenta alta velocidade de construção. Em contraposição esta técnica disponibiliza poucos materiais para a construção do protótipo, sendo estes não flexíveis, portanto não possibilitando aplicações em montagens em testes de encaixe rápido, a retirada de matéria não utilizada é demorada e ainda mais dificultada quando o material utilizado é madeira. Não se aconselha a utilização desse processo para a obtenção de peças com paredes finas ou pequenos detalhes [3],[19].



Figura 15 - Máquina LOM [22]

- Tecnologia com laminas de Papel (PLT) - Kira

Os passos de construção do objeto são muito similares aos passos da técnica anterior. Em primeiro lugar deposita-se um pó de resina no formato da superfície fatiada em 2D pelo CAD, em seguida a plataforma se eleva e prensa a folha contra uma placa plana aquecida, ativando portanto a cola do papel, a plataforma desce, e a faca recorta o contorno da superfície na folha. Como no outro método (porém sem o laser) , a faca retalha em retângulos, a parte não utilizada, servindo esta de suporte para construção de partes desconexas da peça. A remoção da parte não utilizada é facilitada pelo fato de que o papel só adere à parte de baixo na região dentro do contorno desenhado pelo pó de resina, podendo esta ser feita manualmente também. Neste método, dependendo da aplicação, pode-se infiltrar resina epóxi para aumento de resistência da peça.

Esta técnica não utiliza laser, não demanda pós-cura dos materiais, não requer construção de suportes para construção de peças não conectadas e devido ao processo de prensa de alta pressão, distorções em geral não ocorrem. Como pontos negativos a tecnologia PLT apresenta poucos materiais disponíveis, os quais não são flexíveis. Peças com vazios internos não podem ser construídas em um só processo pois não seria possível a retirada do material de suporte de dentro do objeto. Apesar de a remoção do material não utilizado ser mais fácil que na última técnica apresentada , a retirada ainda é trabalhosa. Como na última técnica não se aconselha construção de perfis finos na direção de construção da peça devido à falta de resistência transversal da peça [3].

- Impressão de Jato de Tinta (IJP) – Thermojet – 3D Systems

Nesta técnica , similar ao que ocorre em uma impressora à jato de tinta, a matéria prima utilizada é aquecida e expelida na plataforma de construção em forma de pequenas gotas que ao entrar em contato , seja com a camada anterior , seja com a plataforma , se solidificam formando a camada. A máquina conta com um cabeçote com vários jatos de impressão. A matéria prima inicial era a cera, que foi substituída posteriormente por dois termopolímeros que não só se adaptam melhor ao processo como possuem melhores propriedades. O suporte nessa técnica é do mesmo material que é constituído o protótipo, logo sua retirada é de certa forma delicada devendo ser cuidadosa para não danificar o protótipo.

A IJP Thermojet da 3D Systems não utiliza laser, é relativamente rápido e pode ser utilizado em escritórios e ambientes fechados pois os termopolímeros vem em cartuchos. Necessidade de suporte para construção da peça, pós processamento para remoção dos mesmos (resfriamento do suporte), poucos materiais para construção de protótipos resultando em peças frágeis são aspectos negativos dessa forma de fabricação [3],[19].

Abaixo temos um quadro compactando e comparando as informações acerca das técnicas baseadas em sólidos.

Tabela 3 - Processos Baseados em Sólidos [3]

Processos	Baseados em sólido				
Características	FDM	LOM	PLT	IJP Thermojet	IJP Benchtop
Empresa	Stratasys	Cubic	Kira	3D Systems	Solidscape
Custo Inicial de Aquisição	Médio	Médio	Médio	Baixo	Baixo
Custo do Material	Alto	Baixo	Baixo	Alto	Alto
Custo do Protótipo	Médio-Alto	Baixo	Baixo	Médio	Médio-Alto
Precisão	Média	Baixa	Baixa	Média	Alta
Variedade de Materiais	Média	Pequena	Pequena	Pequena	Pequena
Velocidade de Construção	Baixa	Média-Alta	Média-Alta	Média-Alta	Baixa
Resistência Mecânica	Média	Média	Média	Baixa	Baixa
Cuidados especiais com ambiente de instalação	Gera um pouco de calor; Modelos dos equipamentos maiores necessitam de mais espaços	Ocupa muito espaço nos modelos maiores	-	Não requer	Gera ruído devido à operação de fresamento
Necessidade de Suporte	Sim	Não	Não	Sim	Sim
Acabamento Superficial	Regular	Regular-Ruim	Regular-Ruim	Regular	Excelente
Protótipo em cores	Sim. Monocromáticas	Não	Não	Não	Não
Perda de Material (Reutilização do material não processado)	Somente há perda do material do suporte	Grande (não há reutilização)	Grande (não há reutilização)	Material do suporte não é o mesmo da peça e não é reaproveitável.	Somente há perda do material do suporte
Necessidade de pós-processamento	Sim. Retirada de suporte	Sim. Retirada de suporte, lixamento e selamento superficial	Sim. Retirada de suporte, lixamento e selamento superficial	Sim. Retirada de suporte	Sim. Retirada de suporte
Tamanho máximo de peças	600 x 500 x 600 mm	813 x 559 x 508 mm	400 x 580 x 300 mm	250 x 204 x 204 mm	304 x 152 x 152 mm

2.2.3. Processos baseados em Pó

- Sinterização seletiva à laser – (SLS) – 3D Systems

A sinterização à laser da 3D Systems utiliza um laser CO₂ para a sinterização do pó (matéria prima), que algumas vezes pode ser até mesmo levado ao ponto de fusão, ocorrendo então a formação do corpo da peça camada por camada. O processo é iniciado com o material sendo espalhado e nivelado por um rolo sobre a plataforma dentro de uma câmara, sendo esta aquecida na proximidade do ponto de fusão do pó e mantida em atmosfera inerte (utiliza-se nitrogênio), evitando oxidação e possível explosão das partículas mais finas. Após o sistema de varredura fornecer a energia restante necessária para a sinterização das partículas na superfície construída a plataforma desce e o processo é reiniciado para a construção de uma nova camada. Um problema recorrente apresentado nessa técnica é o processamento de material além da profundidade especificada (quando não existe uma camada anterior processada, devido à energia fornecida pelo meio e pelo laser). Uma solução para contornar esse problema, encontrado pela fabricante é deslocar os triângulos de face para baixo de um determinado valor para cima. O pó não utilizado serve de suporte para construção de partes desconexas, múltiplas construções (peças separadas) empilhadas não sendo necessária a remoção de suportes ao final do processo. O pó excedente é removido (por escova, ar comprimido...) e reutilizado (dentro de um determinado limite, devido à degradação decorrente do reuso ao longo do tempo).

Vários materiais podem ser utilizados como matéria prima (não tóxicos), sendo um único equipamento que processa vários tipos de materiais (polímeros, cerâmicas e metais). Fabrica tanto peças para visualização quanto funcionais, e, dependendo da escolha do material, se aproximando bastante (em relação às propriedades) do produto final. Como já relatado anteriormente é desnecessária a retirada de suportes, podendo inclusive se empilhar várias peças para a fabricação, sendo que ao final da construção é exigido pouco pós-processamento, o caso de pós cura por exemplo só é exigido quando se escolhe como matéria prima o metal com polímero, que requer que a peça seja levada ao forno de alta temperatura.

O acabamento superficial da peça fica restrito ao tamanho das partículas utilizadas, sendo as vezes não muito bom. O custo elevado do equipamento e o alto consumo de energia pesam financeiramente na hora da escolha deste equipamento [3].

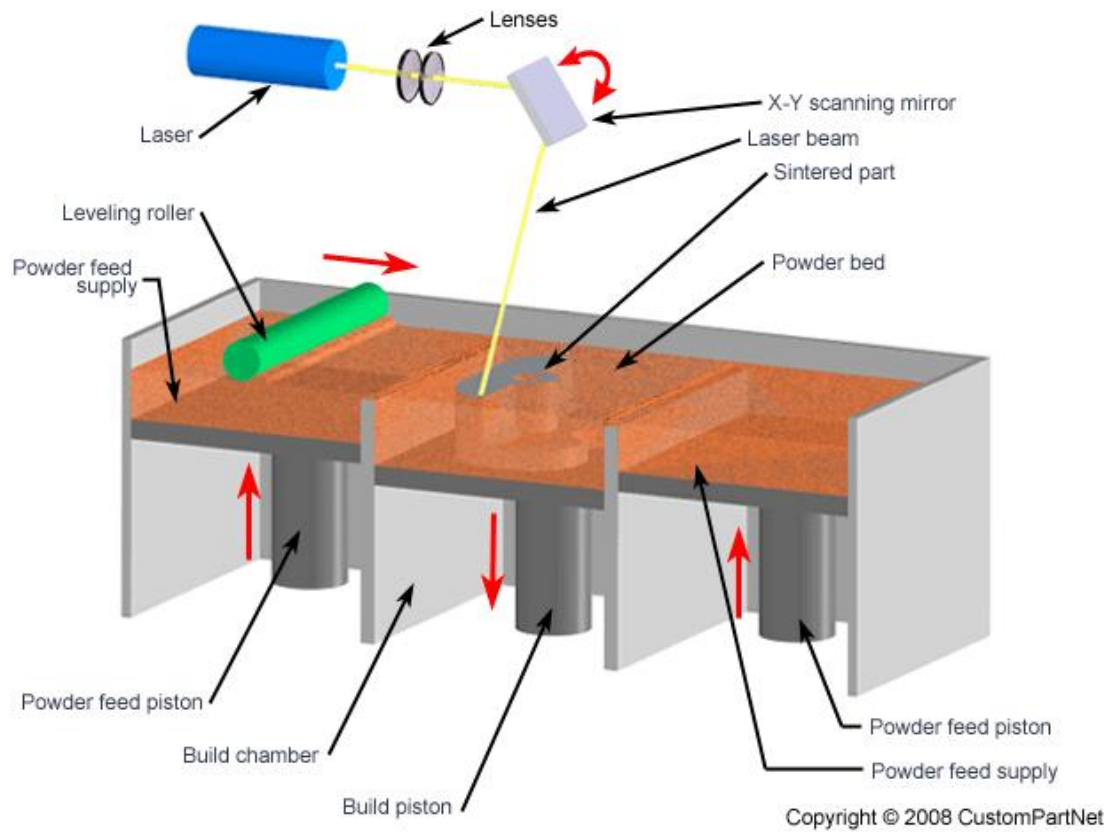


Figura 16 - Esquema demonstrativo Sinterização à Laser [23]



Figura 17 - Peças Construídas a partir de Sinterização à Laser [24]

- Fabricação da forma final a laser (LENS) – Optomec

O processo se inicia com acionamento do laser formando uma poça fundida de metal. O pó metálico é direcionado por um bico para o ponto focal do laser, sendo o material depositado em finas linhas de determinada largura. Este processo é realizado dentro de uma câmara com atmosfera controlada, sendo utilizado gás argônio com baixa pressão. Neste processo peças maciças são construídas com boa resistência mecânica.

Esta técnica possibilita a obtenção de peças metálicas com um material denso e com alta qualidade mecânica, não necessitando de pós-processamento em forno, somente operações de acabamentos superficiais. Este processo ainda pode ser usado para reparar peças danificadas, podendo ser combinado com outros processos de fabricação com o objetivo de adicionar pequenos detalhes, reforços ou camadas de revestimento. A utilização de energia para o laser é grande, sendo por enquanto a fabricação de protótipos somente realizável com peças metálicas (atualmente são em aço inox, aço ferramenta, titânio, superligas como iconel, alumínio dentre outros), a criação de suporte é difícil dificultando a fabricação de peças desconectadas. O acabamento superficial da peça também não é dos melhores, necessitando acabamento superficial ao final do processo de fabricação [3],[19].

- Impressão tridimensional (3DP) – Z Corporation

Esta tecnologia utiliza aglutinante para agregar o material por meio similar à impressão a jato de tinta. Com um rolo, a matéria prima é nivelada, seguida de deposição do aglutinante, desenhando assim a camada 2D. Esta técnica não demanda suporte uma vez que a própria matéria prima funciona como tal. Vários materiais podem ser utilizados para construção do objeto, porém para cada material diferente, é necessário aglutinante e pós processamento específicos.

Similar ao processo já relatado anteriormente (SLS) a princípio qualquer material que pudesse ser transformado em pó serviria como matéria prima. A empresa fabricante da máquina em si fornece alguns materiais (dois materiais a base de gesso e um material à base de amido e celulose). O pós tratamento é feito com infiltração de cera (aumento da resistência da peça) , resinas epóxi (aumento maior ainda da resistência da peça) ou infiltrante à base de uretano para que o protótipo se torne mais flexível simulando borracha.

A impressão tridimensional da Z Corporation não utiliza laser, sendo uma das tecnologias mais rápidas do mercado, não demanda suporte, a matéria prima pode ser reutilizada, possibilitando essa, a construção de peças coloridas. Apesar disso as peças necessitam pós-processamento e apresenta acabamento superficial razoável [3].

- Impressão tridimensional (3DP) – Pro Metal – Ex One Corporation.

Processo muito similar ao anterior, salvo que após se aspergir o aglutinante (látex coloidal), uma luz UV é acesa de forma a realizar a cura deste aglutinante. Na fase de pós processamento a peça é levada ao forno que queima esse aglutinante realizando então a sinterização das partículas metálicas. A peça então vai pela segunda vez ao forno tendo uma liga de bronze infiltrada, se tornando o objeto ao final desta operação completamente denso. Operações de acabamento tipo polimento, usinagem e etc são necessárias.

Apresenta pontos fortes e fracos também similares ao procedimento anterior com a exceção de que esse necessita pós-processamento em dois ciclos num forno à alta temperatura [3].

COMO FUNCIONA A IMPRESSÃO 3D

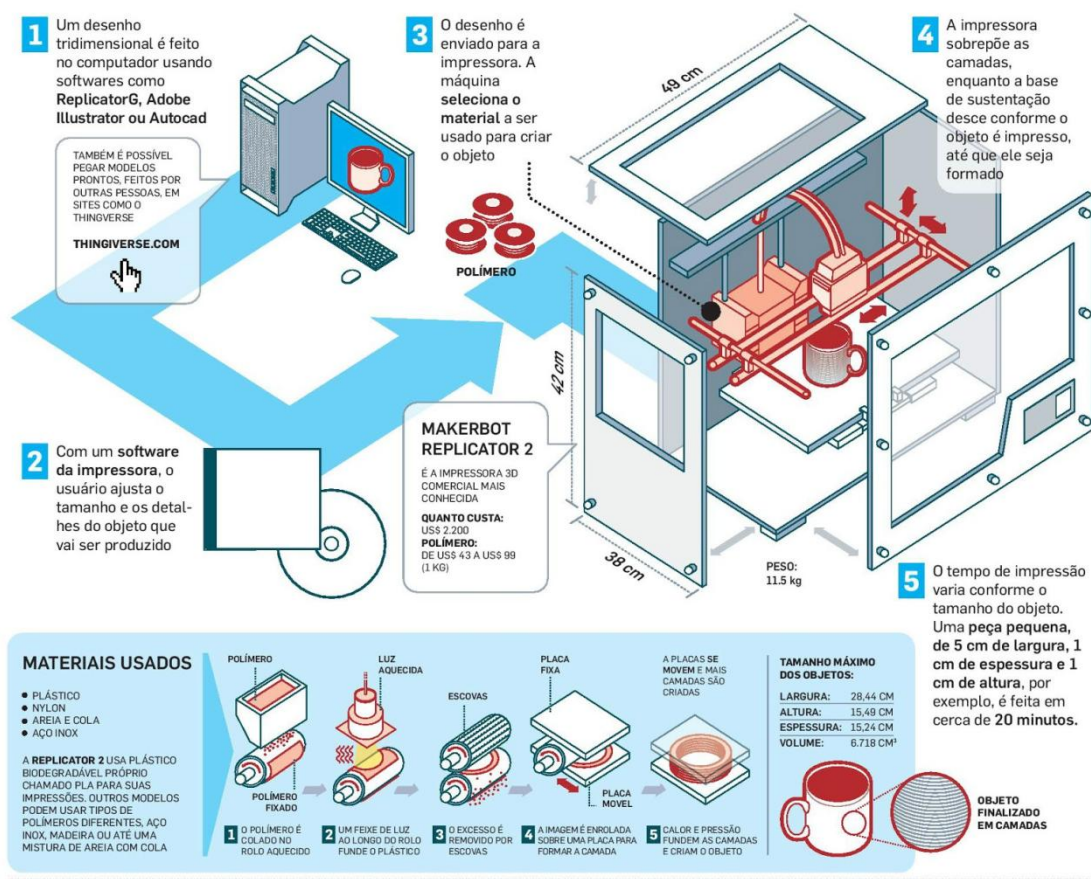


Figura 18 - Esquema Explicativo Impressão 3D [25]

Abaixo mais um quadro comparativo desta vez mostrando técnicas baseadas em pó.

Tabela 4 - Processos Baseados em Pó [3]

Processos	Baseados em pó				
Características	SLS	EOSINT	LENS	3DP	3DP ProMetal
Empresa	3D Systems	EOSINT	Optomec	Z Corp.	Ex One
Custo Inicial de Aquisição	Alto	Alto	Alto	Baixo	Baixo
Custo do Material	Médio	Médio	-	Médio	-
Custo do Protótipo	Alto	Alto	-	Baixo	-
Precisão	Média	Média	Baixa	Baixa	Baixa
Variedade de Materiais	Grande	Grande	Grande (metal)	Média	Pequena (metal)
Velocidade de Construção	Média	Média	Baixa	Alta	Alta
Resistência Mecânica	Alta	Alta	Alta	Baixa	Média
Cuidados especiais com ambiente de instalação	Gera muito calor; Gera pó em suspensão no manuseio; Ocupa muito espaço; Necessita fonte de nitrogênio; Gera ruído	Gera muito calor; Gera pó em suspensão no manuseio; Ocupa muito espaço; Gera ruído	Gera calor; Ocupa muito espaço; Gera ruído	Gera pó no ambiente e no manuseio; Sujeira e odores na infiltração de resina	Gera pó no ambiente e no manuseio; Requer forno de alta temperatura para a infiltração metálica; Acabamento superficial
Necessidade de Suporte	Não	Não	Sim	Não	Não
Acabamento Superficial	Bom	Bom	Regular-Ruim	Regular	Regular
Protótipo em cores	Não	Não	Não	Sim. Tom pastel	Não
Perda de Material (Reutilização do material não processado)	Reutilização parcial	Reutilização parcial	Não há perda	Não há perda	Não há perda
Necessidade de pós-processamento	Sim. Jateamento com ar e microesferas de vidro	Sim. jateamento com ar	Sim. Retirada de suporte e acabamento superficial (usinagem, lixamento e polimento)	Sim. Jateamento de ar e infiltração com resina	Sim. Infiltração metálica; Acabamento superficial (usinagem, lixamento, polimento)
Tamanho máximo de peças	381 x 330 x 457 mm	700 x 380 x 580 mm	1500 x 900 x 900 mm	508 x 609 x 406 mm	1500 x 750 x 700 mm

A tabela abaixo mostra um resumo das técnicas, suas empresas fornecedoras e os respectivos representantes nacionais, para a fabricação por meio da prototipagem rápida.

Tabela 5 - Resumo das Tecnologias e seus Fornecedores [3]

Tecnologia	Empresa	País	Endereço Eletrônico	Representantes no Brasil
SL,IJP, SLS	3D Systems, Inc.	EUA	www.3dsystems.com	Robtec - SP e RS www.robtec.com
FDM	Stratasys, Inc.	EUA	www.stratasys.com	Sisgraph - SP www.sisgraph.com.br
3DP-Z Corporation	Z Corporation	EUA	www.zcorp.com	Seacam - SP e SC www.seacam.com.br
IJP-Polyjet	Objet Geometries Ltd	Israel	www.2objet.com	Máquinas Kehl - RS www.kehl.com.br Artis Prototipagem www.artis.com.br
3DP - ProMetal	Ex One Corporation	EUA	www.prometal.com	Desconhecido
LOM	Cubic Technology, Inc.	EUA	www.cubictكنولوجيات.com	Desconhecido
PLT	Kira Corporation Ltd	Japão	www.kiracorp.co.jp	Desconhecido
LENS	Optomec, Inc	EUA	www.optomec.com	Desconhecido
IJP-Benchtop	SolidScape, Inc.	EUA	www.solid-scape.com	Desconhecido

2.3. FERRAMENTAL RÁPIDO

A tecnologia de prototipagem rápida permite não só a confecção de peças diretamente como também a criação de moldes ou ferramental protótipo. Esta possibilidade deu origem a uma nova área denominada ferramenta rápido ou (RT, Rapid Tooling). Este termo vem sendo conjugado com a usinagem CNC quando utilizado para a fabricação de moldes protótipo. O processo de fabricação dos moldes pode ser considerado direto (cavidade do molde fabricada direto pelo processo de prototipagem rápida) ou indireto (cavidade do molde fabricada por um processo posterior à prototipagem rápida). Esse método em alguns casos possibilita a produção de moldes-protótipos funcionais em pequenas ou médias quantidades usando o mesmo material da produção final, chegando em alguns casos inclusive a produzir ferramentas finais.

No estágio atual, muitas dessas ferramentas não conseguem competir com moldes definitivos em metal, em situações onde uma elevada quantidade de peças é necessária, sendo que de maneira geral a capacidade produtiva das peças por esses moldes é limitada.

Uma melhoria que alguns processos de ferramental rápido introduziram foi a possibilidade de inserir canais de refrigeração nesses moldes em conformidade com a

geometria da cavidade, podendo ser projetado sistemas de refrigeração mais balanceados e eficientes.

2.3.1. Processos indiretos

Esses processo já existiam antes das técnicas de ferramental rápido, porém com o advento da mesma , as técnicas antigas ganharam nova importância

- Moldes de borracha silicone (RTV – Silicone Rubber Molds) - Robtec

Com a técnica de vulcanização à temperatura ambiente é possível se produzir em média 20 a 30 peças por molde , em geral feitos de poliuretano (podendo demonstrar características similares à elastômeros, náilon, acrílico, propileno e etc) com propriedades mecânicas bastante diversificadas e boa reprodução de superfície e detalhes.

O processo é iniciado com a construção do modelo a ser moldado. Este modelo pode ser construído a partir de qualquer técnica de construção. O objeto servirá de referência para a criação da cavidade, após isso pode ser necessário submeter o protótipo a alguns tipos de processamentos, tipo infiltração, lixamento, polimento dentre outros para se obter um modelo de boa precisão e qualidade. O segundo passo é o posicionamento do modelo já com o sistema de canais de alimentação dentro de uma caixa de moldagem, sendo essa preenchida com silicone até envolvimento de todo o modelo. O silicone em seguida é desgaseificado em uma câmara de vácuo. O modelo é vulcanizado e retirado da caixa de moldagem que será posteriormente preenchida com uma mistura de poliuretano líquido com endurecedor. Em geral o objeto final tem propriedades diferentes do que será utilizado na produção. Processo similar a este já era utilizado antes , porém, este procedimento passou a ser mais utilizado depois do surgimento da prototipagem rápida [3],[26].

- Moldes de Epóxi com carga de alumínio por vazamento (AFEM) – RMT Spark

Este método é similar ao anterior, entretanto, utiliza-se um composto à base de epóxi com carga de alumínio ao invés de silicone. Com o uso destes moldes pode-se obter em geral de 50 a 1000 peças termoplásticas. Os primeiros passos são idênticos ao do primeiro método, salvo que o modelo é recoberto com desmoldante e a primeira metade do molde é preenchida com resina. Para remoção de calor, tubos de cobre podem ser inseridos nos insertos dentro da caixa de moldagem antes de preenchimento

com a resina. Terminada a cura do epóxi reforçado com alumínio a caixa é virada e preenchida do outro lado. Ao final de todo esse processo o molde é retirado deixando sua cavidade. Para esse método recomenda-se a utilização de materiais resistentes devido à reação exotérmica proveniente da cura da resina epóxi [3].

- Moldes por pulverização metálica (ASMT/GSMT) – RSP Tooling

Esta técnica se utiliza da pulverização de uma fina camada metálica, sobre um modelo de forma a possibilitar a fabricação de um molde posteriormente. Dois meios são atualmente mais utilizados, são eles: pulverização metálica à gás ou pulverização a arco elétrico. As duas técnicas utilizam pistolas de ar comprimido, sendo que a primeira utiliza uma liga de baixo ponto de fusão (à base de chumbo e estanho) e a segunda como o nome já diz, funde o metal por meio de um arco elétrico. O processo de fabricação tem início com a confecção do modelo (já com canais de alimentação e pontos de injeção) e posterior posicionamento em caixa emoldurada. A camada de metal é então pulverizada, sendo então a caixa preenchida com mistura de resina epóxi (com ou sem partículas de alumínio) ou liga metálica de baixo ponto de fusão para dar resistência ao molde. Repete-se o processo para a outra parte, que uma vez finalizado, tem o modelo retirado da casca metálica, se tornando inserto para o molde [3],[26].

Uma restrição deste processo é que ele não apresenta grande qualidade em geometrias que apresentem detalhes finos e profundos, ou que tenham partes que impeçam a passagem e/ou deposição do metal pulverizado.

- Moldes Metálicos por eletrodeposição (RePliForm) - RePliForm

Esta técnica utiliza de início as duas partes que formarão as cavidades (fabricadas em geral por SL ou em cera) para alojamento e montagem em placas individuais, formando dois conjuntos de modelos. Cada modelo será recoberto com tinta condutora de eletricidade, sendo em seguida colocado em um “banho ácido” contendo partículas de cobre e de níquel. Passando por um processo de eletrodeposição, as partículas são atraídas para a tinta condutora por eletrólise, formando então a camada metálica. Passada essa parte as etapas subsequentes são parecidas com as etapas do processo de pulverização. Atualmente essa técnica tem sido usada para a injeção de termoplásticos, atingindo desde 5000 peças (camada superficial de cobre) até 50000 (camada superficial de níquel) [3].

- Molde Metálicos por sinterização a partir de modelos de estereolitografia (3D Keltool) – 3D Systems

Esta técnica é baseada na fabricação de insertos de aço, podendo ser esses feitos por dois caminhos diferentes. Geração direta e geração reversa. Na primeira, um modelo negativo da peça (na forma de inserto) é fabricado através da tecnologia SL. Um modelo “positivo” é então criado em silicone, sendo este posicionado no interior de uma caixa, e esta, sendo preenchida com mistura de pó metálico e aglutinante. Uma vez curado o aglutinante tem-se a chamada peça verde que deve ser levada ao forno, sendo o aglutinante eliminado e a peça sinterizada. Na segunda, produz-se por SL também um modelo “positivo” da peça, sendo esse colocado em uma caixa para a produção do modelo negativo (em silicone), no formato do inserto. Um modelo positivo é criado a partir desse, também em silicone, seguindo os mesmos passos da geração direta a partir desta etapa objetivando a obtenção do inserto em aço sinterizado. O inserto produzido nos dois casos possuem aparência porosa necessitando passar por uma infiltração de cobre e passos adicionais de acabamento superficial. A geração reversa pode apresentar algumas simplificações relacionadas ao acabamento superficial dos insertos, apesar dos passos a mais quando comparado à geração direta [3].

2.3.2. Processos Diretos

Este processo utiliza técnicas de RP como estereolitografia, sinterização a laser e impressão 3D para a fabricação direta de moldes.

- Moldes poliméricos por SL (Direct AIM) - 3D Systems

Fabrica insertos que contém cavidade de moldes de injeção pelo processo de SL, tendo estes basicamente três formas: Maciço, em forma de casca, ou em forma de casca com pequenos buracos que permitirão o contato do material de preenchimento com o polímero que esta sendo injetado, durante o ciclo de moldagem, de forma a acelerar o processo de resfriamento da peça. Destas três técnicas utilizadas, todas elas apresentam reduzida vida útil para os moldes (50 a 500) componentes injetados em PP, devido a baixa resistência mecânica e a dificuldade na troca de calor por parte das resinas atuais de construção do molde, ocasionando, não raramente, rupturas por tração [3],[26].

- Moldes Metálicos por Sinterização Seletiva a Laser (SLS) - Rapid Tool

O processo é iniciado a partir de projeto e modelagem dos insertos em um sistema CAD 3D. Constrói-se o modelo pelo processo SLS, devido ao fato de esta peça ser em geral feita de um material chamado Laser Form (composto de partículas de aço misturadas com material polimérico), é necessário levar os insertos ao forno para remoção do aglutinante a base de polímero, e a total sinterização do inserto metálico. Ainda assim o inserto apresenta porosidade, essa sendo contornada com infiltração de

bronze e polimento, estando portanto prontos para serem colocados em um porta-molde [3].

- Moldes metálicos por sinterização a laser em equipamentos EOS (Direct tool) – EOS-Gmbh

Parecido com o método citado acima, salvo que nesse método não é necessária a etapa de extração do material aglutinante. Utiliza-se aqui uma liga de bronze, níquel e fosfato de cobre permitindo a produção de até 34.000 peças quando injetadas por molde em material termoplástico sem reforço, ou um material em aço (Direct Steel) com propriedades similares ao P20, desenvolvido para a fabricação de insertos metálicos, possibilitando fabricações da ordem de 100.000 peças por molde [3].

- Moldes Metálicos por impressão tridimensional (3DP) – ProMetal

De um cabeçote de impressão eletrostática, um material aglutinante foto-polimérico sensível à luz UV, é aspergido em uma base de pó metálico, em geral de aço inox e bronze, para construir os insertos do molde, que após construídos são sinterizados formando uma matriz porosa de aço, que será infiltrada com bronze e deverá também passar por operações de acabamento superficial. São capazes de moldar mais de 100.000 peças em diferentes tipos de materiais termoplásticos[3].

- Insertos metálicos - processo de fabricação a forma final laser (LENS) - Sandia

Esta tecnologia, apesar de ser interessante em um futuro próximo ainda, apresenta alguns pontos fracos como grande necessidade de trabalho de acabamento superficial, ainda que se tenham boas propriedades do material obtido.

- Processos alternativos de ferramental rápido

Pode-se utilizar também métodos como a sinterização e a impressão 3D para a criação de cascas cerâmicas a serem utilizadas como moldes na fundição e metais, sem a necessidade da utilização de modelos de sacrifício. Um destes processos por exemplo é o DSPC. Essa técnica tem início no CAD, sendo feita montagem da peça com os canais de alimentação. A tecnologia DSPC cria então a geometria de um molde cerâmico, que após enviada ao equipamento, constrói fisicamente o molde, utilizando pó cerâmico, unido por um aglutinante de sílica coloidal. O molde é enviado ao forno e após remoção da parte não aglutinada por jato de ar, o molde pode receber o material

metálico fundido (após subsequente aquecimento). A peça necessitará ainda de limpeza, remoção dos canais de alimentação e possível tratamento superficial. Um outro processo é o QuickCast que é montado em uma árvore de microfusão em cera, e então recoberto com banhos sucessivos de cerâmica, sendo formada portanto uma casca rígida ao seu redor. O modelo (SL) é levado ao forno e devido ao aumento de temperatura, tende a se expandir, no entanto, sua estrutura interna em forma de colmeia, estando esta recoberta por uma casca rígida, faz com que suas paredes colapsem. Seguidas de elevação de temperatura no forno, tanto o modelo como a árvore de cera se queimam deixando somente a casca cerâmica que funcionará como molde. A partir de então o metal fundido pode ser vazado para o interior da casca que, após enrijecido, pode ter a casa quebrada. O metal fundido necessitará de processos de acabamento e ajustes posteriores. Como desvantagens esse método apresenta a possibilidade de geração de falhas na superfície interna na hora da queima de resina epóxi e demanda também ajustes e acabamento posteriores. Existe também a possibilidade de se usar técnicas de prototipagem rápida com aplicação em técnicas de ferramental rápido (tanto direto quanto indireto) para utilização em processos de fundição em areia. Estes, porém são muito restritos não sendo abordados mais a fundo nesta parte [3],[26].



Figura 19 - Peça construída por Ferramental Rápido [27]

Abaixo encontramos uma tabela que mostra informações gerais, desde tecnologias e representantes até tempo de construção de peças para ferramental rápido.

Tabela 6- Tecnologias de Ferramental Rápido [3]

Nome do processo	Direct AIM	Rapid Tool	DirectTool (DMLS)	DirectTool (DMLS)	ProMetal	LENS
Tecnologia RP	SL	SLS	Sinterização EOSINT	Sinterização EOSINT	3DP	LENS
Material do molde	Resina epóxi	Liga metálica	Liga de bronze	Aço	Aço + bronze	Aço inox, H13, outros
Fornecedores	3D Systems e serviços de terceiros	3D Systems e serviços de terceiros	EOS GmbH e serviços de terceiros	EOS GmbH e serviços de terceiros	ProMetal Division da empresa Ex One Corp.	Optomec, Inc.
Período típico de fabricação	1 semana	3 a 4 dias p/ inserts s/ acabamento; 5 a 10 dias c/ acabamento 2 a 5 semanas (prazo típico)	1 a 4 semanas	1 a 2 semanas	1 semana	1 semana
Quantidade de peças moldadas por molde	10 a 50	Centenas de peças fundidas de Zn, AL, Mg; Centenas de milhares nos termoplásticos mais usuais	Centenas a 1000	Centenas de peças fundidas; Centenas de milhares nos termoplásticos mais usuais	Centenas de milhares nos termoplásticos mais usuais	A mesma do molde de produção
Materiais usualmente moldados	Termoplásticos de baixa temperatura de moldagem e não reforçados com carga	Termoplásticos, metais	Termoplásticos	Termoplásticos, metais	Termoplásticos	Sem restrições
Vantagens do processo	Fabricação direta dos moldes	Moldes por vazamento; Pode-se usar temperaturas e pressões de injeção típicas	Permite uso de <i>conformal cooling</i>	Não requer extração do material aglutinante; precisão e acabamento superficial vêm melhorando com novos materiais que vêm sendo desenvolvidos	60% aço e 40% bronze facilitam a transferência de calor; permite uso de <i>conformal cooling</i>	Durabilidade dos inserts
Limitações do processo	Muitas limitações quanto aos materiais possíveis de moldar e processos de fabricação do molde	Necessita de etapas posteriores de extração do material aglutinante, sinterização e infiltração de material adicional; pode necessitar de usinagem de acabamento; limitações quanto ao uso de canais <i>conformal cooling</i> , devido à difícil remoção do pó não sinterizado pelo laser nos canais mais complexos	Limitada vida do molde, só para baixas pressões de moldagem; limitações quanto ao uso de canais <i>conformal cooling</i> , devido à difícil remoção do pó não sinterizado pelo laser nos canais mais complexos	Pode necessitar de usinagem de acabamento; limitações quanto ao uso de canais <i>conformal cooling</i> , devido à difícil remoção do pó não sinterizado pelo laser nos canais mais complexos	Requer excessivas operações de acabamento	Requer excessivas operações de acabamento

A tabela abaixo mostra um resumo das técnicas, suas empresas fornecedoras e os respectivos representantes nacionais, para a fabricação por meio de ferramental rápido .

Tabela 7 - Técnicas de Ferramental rápido e respectivas Fornecedoras [3]

Processo	Empresa	País	Endereço Eletrônico	Representantes no Brasil
Keltool, Direct AIM RapidTool, QuickCast	3D Systems, Inc.	EUA	www.3dsystems.com	Robtec - SP e RS www.robtec.com
ProMetal	Ex One Corporation	EUA	www.prometal.com	Desconhecido
DSPC	Soligen, Inc	EUA	www.soligen.com	Desconhecido
LENS	Optomec, Inc	EUA	www.optomec.com	Desconhecido
DMLS e DirectTool DirectCasct	EOS GmbH	Alemanha	www.eos-gmbh.de	Advanced Manufacturing Systems (MAS) - SC www.amsbrasil.com.br
RSP Tooling	RSP Tooling, LLC	EUA	www.rsptooling.com	Desconhecido
RePliForm	RePliForm, Inc.	EUA	www.repliforminc.com	Desconhecido
Realizer SLM	MCP - HEK Tooling GmbH	Alemanha	www.mcp-group.de	Desconhecido
Demais tecnologias (DMD, LAM, CAD to Metal, SprayForm, ECOTool, Polysteel, RMT Spark, MetalCopy, Stratoconception, Fast4m, Formation Process)	Várias		http://home.att.net/~castleis land/home.htm	Desconhecido

2.4. VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA

Ao se comparar a prototipagem rápida à técnicas de fabricação, em especial à usinagem CNC encontra-se as seguintes vantagens e desvantagens [3]:

1. Não é necessário ferramental especial para fixação da peça em plataformas de construção, uma vez que os suportes são criados pela própria tecnologia.
2. A prototipagem rápida não apresenta tantas dificuldades na construção de peças de geometria de alto grau de complexidade, quando comparada com outros processos.
3. Não há a necessidade de troca do ferramental de trabalho (como no caso de troca de pastilhas na usinagem ao final de sua vida útil)
4. Em geral não é necessário mais de um equipamento para construção da peça (somente no caso de necessidade de cura ao final do processo se necessitará

outro equipamento, mas, tem-se que este será utilizado para aumentar a resistência da peça e não para a construção da peça em si).

5. Por se tratar de construções em planos, essa técnica não demanda cálculos de trajetória complexa no espaço.
6. Redução do tempo de construção de peças de geometrias complexas quando comparado aos outros métodos.

As restrições apresentadas por esta técnica são:

1. Não existem regras e normalizações claras à nível internacional, principalmente quanto ao arquivo numérico. O tipo mais usado atualmente é o STL, porém muito se discute para uma possível mudança ao formato AMF.
2. A preparação do pó é decisiva. O tempo de secagem é de extrema importância pois a humidade pode por em risco a qualidade da peça. Logo, de nada adianta investir no maquinário sem o devido treinamento dos trabalhadores.
3. São necessárias etapas de acabamento ao final de fabricação de cada peça, dentre elas , processos para aliviar tensões residuais devido à fusão da matéria.
4. Limitações na quantidade de protótipos fabricados por motivos econômicos.
5. O medo correlacionado à perda de dados confidenciais, uma vez que não se tem um sistema altamente eficiente correlacionado aos arquivos eletrônicos deste tipo [28].

3. USO DE PATENTES

3.1. DEFINIÇÃO, TIPOS E SISTEMAS DE PATENTES

A patente pode ser definida como um título de propriedade temporário outorgado pelo Estado, por força de Lei, ao depositante de um pedido, para que este exclua terceiros, sem sua prévia autorização, de atos relativos à matéria protegida, tais como fabricação, comercialização, importação, uso, venda, etc. As patentes também são definidas como um direito de exclusividade de exploração tecnológica conferido pelo Estado ao titular. Para se obter tal direito de exclusividade deve-se obedecer aos seguintes requisitos.

- a. Novidade: a tecnologia não deve ter sido tornada pública, de modo a ser reproduzida por um técnico no assunto que dela tivesse tido conhecimento;
- b. Atividade inventiva (patente de invenção): que a invenção não decorra de maneira óbvia, do estado da técnica, para um técnico no assunto ou ato inventivo (patente de modelo de utilidade): que o modelo não decorra de maneira comum ou vulgar do estado da técnica, para um técnico no assunto;
- c. Utilidade industrial: a tecnologia deve ser capaz de emprego numa atividade econômica;
- d. Possibilidade de reprodução (ou suficiência descritiva): como contrapartida ao privilégio concedido, o inventor deve descrever o seu invento de forma suficiente para torná-lo reproduzível por outros.

Em alguns países as patentes podem ser tanto patentes inventivas, definida por lei como: atividade inventiva quando não decorrente de maneira evidente ou óbvia do estado da técnica, para um técnico no assunto , ou uma patente de um modelo de utilidade, que é um invento, (não uma invenção) ou seja, não revela uma nova função, mas apenas uma melhor função. Ele se refere sempre a um objeto, partindo de modelos conhecidos, porém apresentando nova forma ou disposição que resulte em melhoria funcional no seu uso ou na sua fabricação. Em tais países (Alemanha, Japão , dentre outros), ambos, inventos e invenções são passíveis de patente, ao contrário de outros países [29].

- Justificativa da busca em base de dados

Além da função de apoio na elaboração do documento de patente, a busca em bancos de dados é um importante instrumento de apoio à pesquisa, e podem ser utilizados para as mais diversas atividades do meio acadêmico. Os bancos de patente apresentam informações de conteúdo rico e relevante principalmente sobre tecnologia aplicada na indústria. Os documentos de patente estão organizados e classificados de tal forma que permitem rápida recuperação e localização das informações.

Os bancos de patente podem ser utilizados para [30]:

- Prospecção tecnológica;
- Identificação de novas tecnologias aplicadas em determinadas áreas de desenvolvimento;
- Percepção de tendências, através do estado da técnica e histórico do invento;
- Análise de originalidade das propostas de trabalhos científicos e de pesquisa;
- Busca de novos temas para trabalhos;
- Busca de nichos de mercado buscando empresas que tenham interesse na tecnologia desenvolvida;
- Identificar o nível de exploração tecnológica;
- Busca de oportunidades de exploração ou aprimoramento de tecnologias patenteadas ou em domínio público;
- Busca de alternativas técnicas para a solução de problemas;

As bases de dados de patente possuem coleções de documentos completos, centralizados em escritórios, com acesso por meio .

- A estrutura do documento de patente

A estrutura de um documento de patente pode variar na sequência em que as informações são apresentadas, de acordo com cada escritório de patentes, mas não varia com respeito ao seu conteúdo, em essência. Os componentes do documento de patente são [28]:

- Página inicial ou informação bibliográfica: contém dados da patente como título, número, inventor, depositante, representante, datas de depósito e de

publicação, dados da prioridade, classificação, resumo, referências citadas e examinador (em alguns escritórios, como o USPTO);

- Relatório descritivo:
 - define o campo da invenção, qual o estado da técnica e os problemas existentes que a invenção se propõe a resolver, fazendo referência a outras patentes e à literatura do campo;
 - indica as vantagens e os objetivos da invenção;
 - contém uma breve descrição dos desenhos;
 - descreve a invenção de modo claro, preciso e suficiente para que a invenção possa ser reproduzida por um técnico no assunto, indicando o modo preferencial de execução e apresentando resultados de testes realizados, se existirem;
 - indica a utilização industrial da invenção;
- Reivindicações: baseadas no relatório descritivo, as reivindicações explicitam as características inventivas, em relação ao estado da técnica, para as quais se deseja obter a proteção legal;
- Desenhos: apresentam os detalhes da invenção e identificam os elementos descritos no relatório, através de sinais de referência, para ilustrar a invenção;
- Resumo: sumário da invenção com a indicação do seu campo, do problema técnico a ser resolvido e das principais características da invenção.

3.2. PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

A prospecção tecnológica pode ser definida como um meio sistemático de mapear desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros capazes de influenciar de forma significativa uma indústria, a economia ou a sociedade como um todo. Diferentemente das atividades de previsão clássica, que se dedicam a antecipar um futuro suposto como único, os exercícios de prospecção são construídos a partir da premissa de que são vários os futuros possíveis. Esses são tipicamente os casos em que as ações presentes alteram o futuro, como ocorre com a inovação tecnológica. Avanços tecnológicos

futuros dependem de modo complexo e imprevisível de decisões, tomadas no presente por um conjunto relativamente grande de variáveis. Os exercícios de prospecção funcionam como meio de atingir dois objetivos: O primeiro é preparar as empresas na indústria para aproveitar ou enfrentar oportunidades ou ameaças futuras. O segundo objetivo é desencadear um processo de construção de um futuro desejável. Neste texto o objetivo será em parte o primeiro, pois pretende se achar tal tecnologia dominante, porém, sem se ter a pretensão de um possível aproveitamento por alguma empresa, à priori[31],[32].

De forma geral pode-se caracterizar a prospecção tecnológica da seguinte forma:

- É um processo e não somente um conjunto de técnicas
 - Concentra-se em criar e melhorar o entendimento dos possíveis desenvolvimentos futuros e das forças que parecem moldá-los
 - Assume que o futuro não pode ser cientificamente demonstrado a partir de certas premissas. O ponto central é tratar quais as chances de desenvolvimento e quais as opções para a ação no presente
- Não se espera um comportamento passivo frente ao futuro, mas um posicionamento ativo. O futuro será criado pelas escolhas que forem feitas hoje.

No plano lógico, a literatura consagra três abordagens para o problema de prospectar o futuro. A primeira delas e, também, a mais convencional, é a abordagem baseada em inferência. Nesse caso, entende-se que o futuro tende a reproduzir, em alguma medida, os fenômenos já ocorridos, não implicando em rupturas ou descontinuidades nas trajetórias evolutivas dos objetos analisados. A inferência pode ser realizada por “extrapolação de tendências”, baseada tanto em modelos teóricos ou empíricos da realidade quanto em construção por analogia dos antecedentes históricos do problema.

Uma segunda abordagem lógica para a prospecção do futuro é a geração sistemática de trajetórias alternativas. Nesse caso, o futuro é projetado por meio da construção de cenários em um processo de contraposição de determinadas variáveis.

Uma terceira abordagem lógica é a construção do futuro por consenso, baseada em intuição ou cognição coletiva. Nesse caso, o futuro é construído a partir de visões subjetivas de especialistas ou outros grupos de indivíduos dotados de capacidade de reflexão sobre os objetos do exercício de prospecção. Esses planos lógicos se desdobram em uma grande variedade de metodologias de prospecção que, de modo geral, podem ser organizadas em três grupos principais:

- Monitoramento (Assessment) – consiste no acompanhamento da evolução dos fatos e na identificação dos fatores portadores de mudanças, realizados de forma sistemática e

contínua.

- Previsão (Forecasting) – consiste na realização de projeções com base em informações históricas e modelagem de tendências
- Visão (Foresight) – consiste na antecipação de possibilidades futuras com base em interação não estruturada entre especialistas, cada um deles apoiados exclusivamente em seus conhecimentos e subjetividades.

Tanto o monitoramento quanto os exercícios de previsão são metodologia predominantemente quantitativas enquanto que o foresight é qualitativo. Já a “extração” de conhecimentos de especialistas (visão) pode ser feita de diferentes formas, dentre elas questionários, entrevistas e etc.

O que se planeja então ao se atrelar a prospecção tecnológica à uma base de dados de patentes é se ter uma noção de como tais tecnologias se posicionam frente às outras. Através da busca de anterioridade é possível avaliar se a tecnologia em questão já foi desenvolvida previamente, se já foi apropriada, ou se já está sendo utilizada pela sociedade. Através da Prospecção Tecnológica são levantadas todas as tecnologias existentes, identificando o estágio de maturidade da tecnologia em questão e como ela se insere na sociedade.

São identificados também aspectos de tecnologias concorrentes e lacunas a serem preenchidas, onde é possível que determinada tecnologia ou suas variações sejam avaliadas como competitivas. Também podem ser levantados os inventores que pesquisam o mesmo tema, países de origem das patentes, países onde ocorreram os depósitos, principais empresas depositantes e a classificação dos depositantes das patentes, entre outros dados. Para construção de opinião, assim como para critérios de pesquisa, neste texto se escolheu um plano lógico híbrido (dentre os citados acima), mesclando Previsão e Visão[32].

3.3. MINERAÇÃO DE DADOS

A mineração de dados é o processo de descobrir informações relevantes, como padrões, associações, mudanças, anomalias e estruturas, em grandes quantidades de dados armazenados em banco de dados, depósitos de dados ou outros repositórios de informação. Sua função principal é a varredura de grande quantidade de dados a procura de padrões e detecção de relacionamentos entre informações gerando novos sub-grupos de dados. Usado comumente em grandes bancos de dados. Por enquanto, a grosso modo, pode se dizer que Mineração de Dados é como um agregador e organizador de dados.

A formação de sub-grupos de dados é feito pela Mineração de Dados (Data Mining) através da execução de algoritmos capazes de conhecer e aprender mediante a varredura dessas informações. Baseado em sistemas de redes neurais, esses dados são examinados e pensados, gerando uma nova informação associativa com outros dados. A formação de

estatísticas também é uma de suas funções. Números estatísticos são gerados trazendo resultados comparativos e levando a uma tomada de decisão inteligente[33],[34].

Em geral, um processo de descoberta de conhecimento consiste em uma iteração das seguintes etapas:

- **Preparação:** é o passo onde os dados são preparados para serem apresentados às técnicas de *data mining*. Os dados são selecionados (quais os dados que são importantes), purificados (retirar inconsistências e incompletude dos dados) e pré-processados (reapresentá-los de uma maneira adequada para o *data mining*). Este passo é realizado sob a supervisão e conhecimento de um especialista, pois o mesmo é capaz de definir quais dados são importantes, assim como o que fazer com os dados antes de utilizá-los no *data mining*.
- **Data Mining:** é onde os dados preparados são processados, ou seja, é onde se faz a mineração dos dados propriamente dita. O principal objetivo desse passo é transformar os dados de uma maneira que permita a identificação mais fácil de informações importantes.
- **Análise de Dados:** o resultado do *data mining* é avaliado, visando determinar se algum conhecimento adicional foi descoberto, assim como definir a importância dos fatos gerados. Para esse passo, várias maneiras de análise podem ser utilizadas, por exemplo: o resultado do *data mining* pode ser expresso em um gráfico, em que análise dos dados passa a ser uma análise do comportamento do gráfico.

A Mineração de Dados é uma das ferramentas mais utilizadas para extração de conhecimento através de bancos de dados (Knowledge Discovery in Databases - KDD), tanto no meio comercial quanto no meio científico. A extração de conhecimento em bases de dados consiste na seleção e processamento de dados com a finalidade de identificar novos padrões, dar maior precisão em padrões conhecidos e modelar o mundo real[33],[34].

Muito se utiliza a técnica de Mineração de Dados para prospecção tecnológica atualmente. Aqui, no entanto, tal coleta e filtragem de dados foram feitas de forma manual.

3.4. PESQUISA NA BASE DE DADOS

Iniciou-se uma pesquisa feita em bases de dados gratuitas. Entre os dias 30/03/2013 e 04/05/2013 acessou-se, portanto, as bases on-line USPTO e ESPACENET para levantamento de patentes sobre a tecnologia de prototipagem rápida e ferramental rápido.

Foram analisadas patentes entre os anos de 2008 e 2012, sendo numa primeira abordagem somente contadas e separadas por categorias, e , em seguida analisadas e selecionadas para que se pudesse reiniciar uma contagem mais confiável.

A análise foi feita abrindo patente por patente e analisando-se o texto da patente como um todo, desde abstract até textos descritivos (caso da USPTO).

Em cada base de dado tentou-se utilizar o mesmo critério de busca, não se usando exatamente o mesmo pois isso inviabilizaria alguns resultados em uma das duas bases de dados usadas como ferramentas. No caso mencionado tentou-se replicar as mesmas palavras utilizada para busca na USPTO e ESPACENET ,entretanto, muitos resultados nulos foram encontrados na ESPACENET, sendo então necessário pequenas mudanças para se encontrar resultados válidos. Os critérios e números serão levantados a seguir. Faz-se aqui a observação de que os dados utilizados para se tirarem as conclusões foram os dados achados após filtragem. Os dados antes de serem filtrados, só foram colocados no trabalho para mera comparação e ciência da ordem de grandeza de aproveitamento dos dados.

3.4.1. Uspto

- Prototipagem rápida

Na base de dados USPTO [35] foram contadas um total de 1085 patentes entre 2008 e 2012 antes da filtragem. A pesquisa foi dividida por tipo de tecnologia, sendo feita da seguinte forma:

BASEADOS EM LÍQUIDO

STEREOLITHOGRAPHY – SL – (ESTEREOLITOGRAFIA)

DADOS DA PESQUISA:

Term 1: RAPID PROTOTYPING In Field 1: All Fields
AND

Term 2 : STEREOLITHOGRAPHY In Field 2: All Fields

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012 : 340

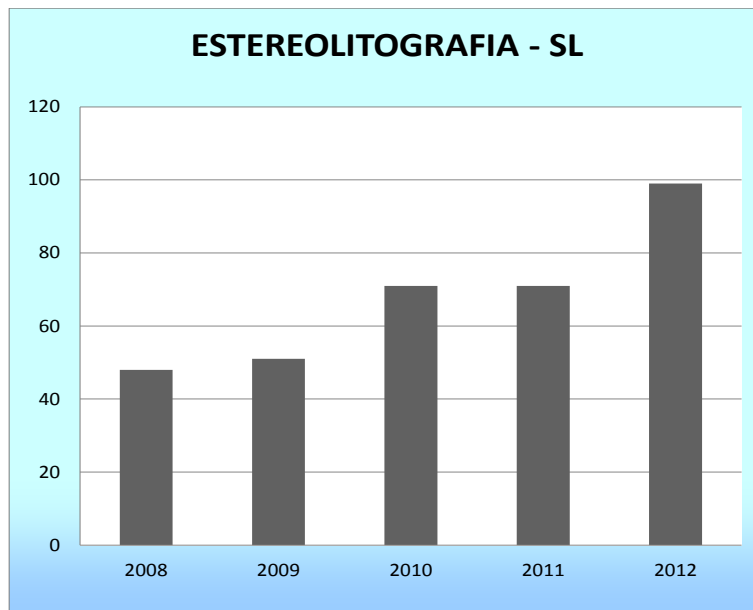


Gráfico 1 - Contagem Estereolitografia USPTO

INK JET PRINTING – IJP – (IMPRESSÃO A JATO DE TINTA)

DADOS DA PESQUISA:

Term 1: RAPID PROTOTYPING In Field 1: All Fields

AND

Term 2: INK JET PRINTING In Field 2: All Fields

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 211

OBS: Processos de Impressão a Jato de Tinta também podem ser considerados como baseados em sólido. Nesse caso, o material a ser utilizado é aquecido e depositado em forma de pequenas gotas.

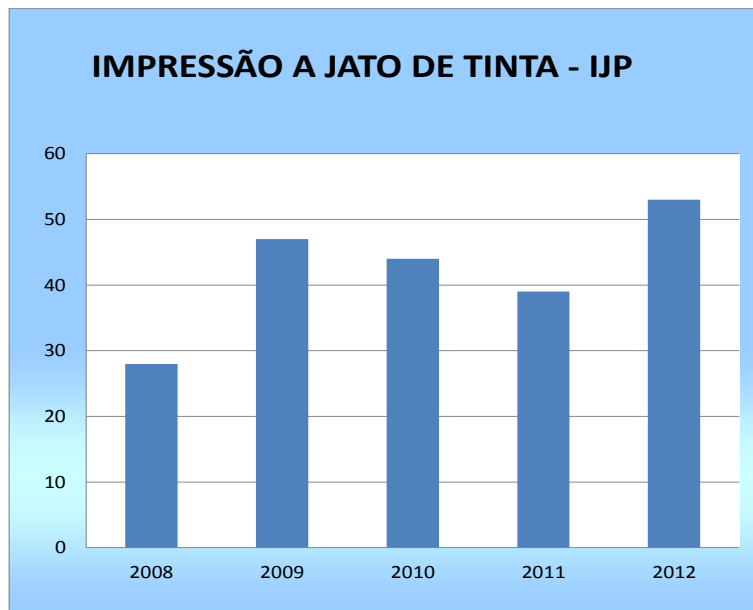


Gráfico 2 - Contagem IJP USPTO

BASEADOS EM SÓLIDO

FUSED DEPOSITION MODELING – FDM – (MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO)

DADOS DA PESQUISA:

Term 1: RAPID PROTOTYPING In Field 1: All Fields

AND

Term 2: FUSED DEPOSITION MODELING In Field 2: All Fields

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 134

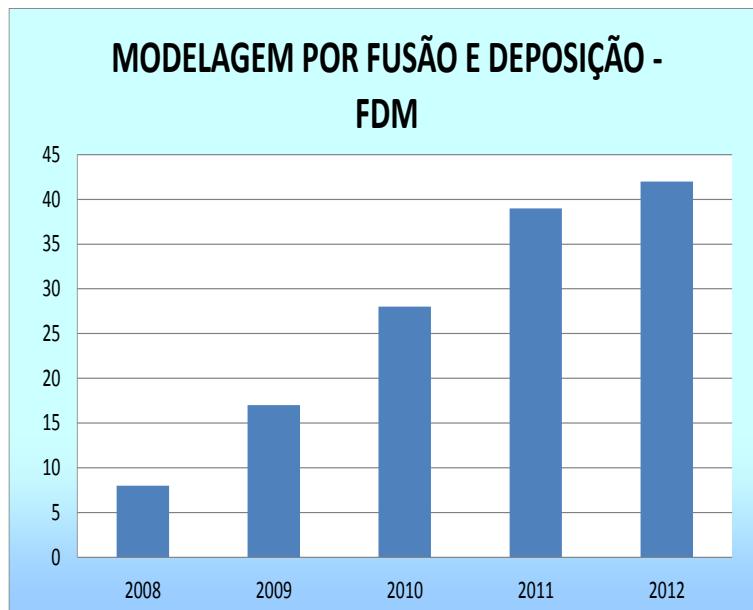


Gráfico 3 - Contagem FDM USPTO

LAMINATED OBJECT MANUFACTURING – LOM – (MANUFATURA LAMINAR DE OBJETOS)

DADOS DA PESQUISA:

Term 1: RAPID PROTOTYPING In Field 1: All Fields
AND

Term 2 : LAMINATED OBJECT MANUFACTURING In Field 2: All Fields

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 67



Gráfico 4 - Contagem LOM USPTO

PAPER LAMINATION TECHNOLOGY – PLT – (TECNOLOGIA COM LÂMINAS DE PAPEL)

DADOS DA PESQUISA:

Term 1: RAPID PROTOTYPING In Field 1: All Fields
AND

Term 2 : PAPER LAMINATION TECHNOLOGY In Field 2: All Fields

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 0

BASEADOS EM PÓ

LASER SINTERING – LS – (SINTERIZAÇÃO A LASER)

DADOS DA PESQUISA:

Term 1: RAPID PROTOTYPING In Field 1: All Fields
AND

Term 2 : LASER SINTERING In Field 2: All Fields

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 300

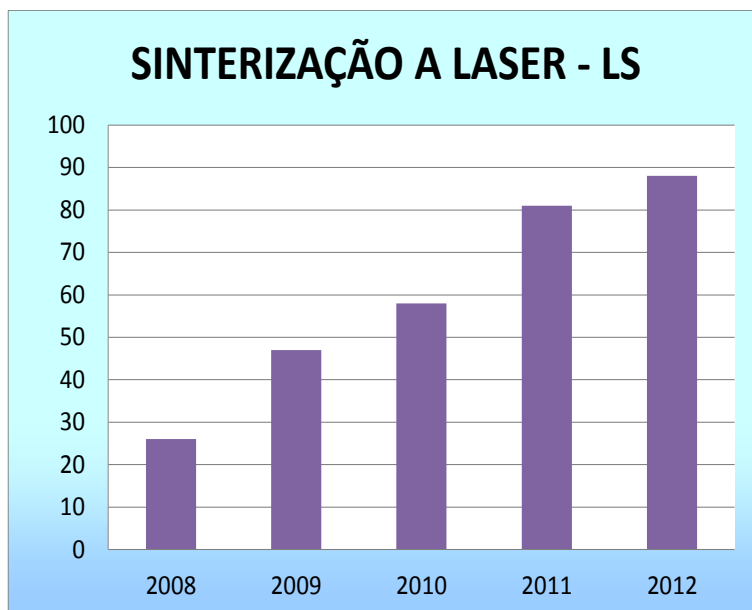


Gráfico 5 - Contagem Sinterização a Laser USPTO

3 DIMENSIONAL PRINTING – 3DP –(IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL)

DADOS DA PESQUISA:

Term 1: RAPID PROTOTYPING In Field 1: All Fields

AND

Term 2 : 3 D PRINTING In Field 2: All Fields

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 22

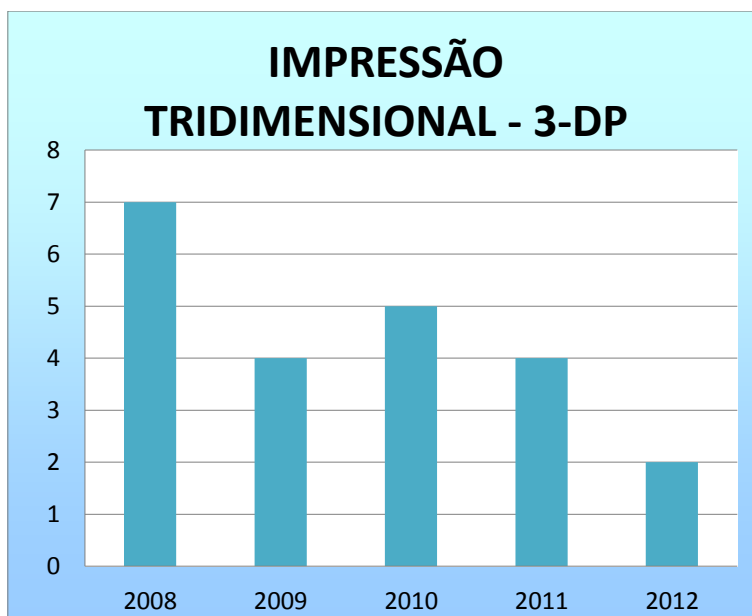


Gráfico 6 - Contagem Impressão 3D USPTO

LASER ENGINEERED NET SHAPING – LENS – (FABRICAÇÃO DA FORMA FINAL A LASER)

DADOS DA PESQUISA:

Term 1: RAPID PROTOTYPING In Field 1: All Fields

AND

Term 2 : LASER ENGINEERED NET SHAPING In Field 2: All Fields

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 11

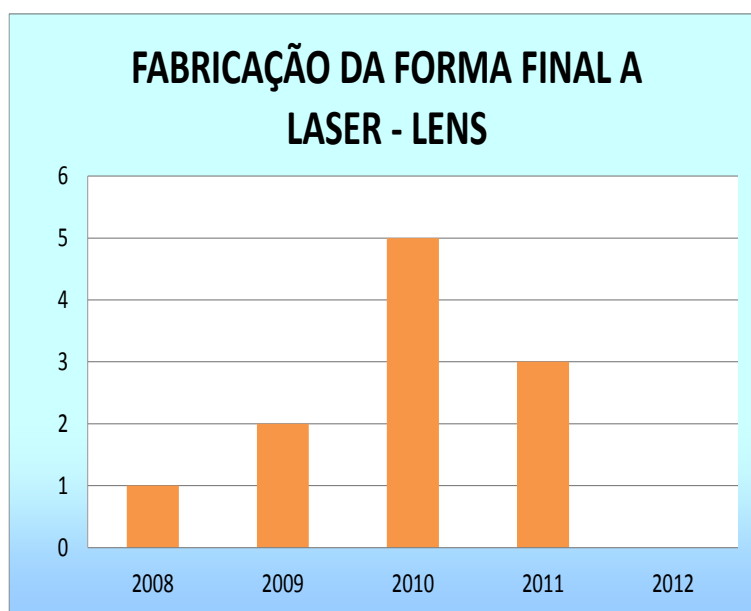


Gráfico 7- Contagem LENS USPTO

Resultado Geral:

Abaixo mostra-se as tabelas e gráficos das contagens gerais dos anos entre 2008 e 2012 para todas as tecnologias de prototipagem rápida acima listadas.

Tabela 8 - Resultado Geral USPTO Prototipagem Rápida

ESTADO	PROCESSO	INCIDÊNCIA POR ANO - USPTO					
		2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL
LIQ	ESTEREOLITOGRAFIA - SL	48	51	71	71	99	340
	IMPRESSÃO A JATO DE TINTA - IJP	28	47	44	39	53	211
SÓL	MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO - FDM	8	17	28	39	42	134
	MANUFATURA LAMINAR DE OBJETOS - LOM	6	8	17	15	21	67
	TECNOLOGIA COM LÂMINAS DE PAPEL - PLT	0	0	0	0	0	0
PÓ	SINTERIZAÇÃO A LASER - LS	26	47	58	81	88	300
	IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL - 3-DP	7	4	5	4	2	22
	FABRICAÇÃO DA FORMA FINAL A LASER - LENS	1	2	5	3	0	11

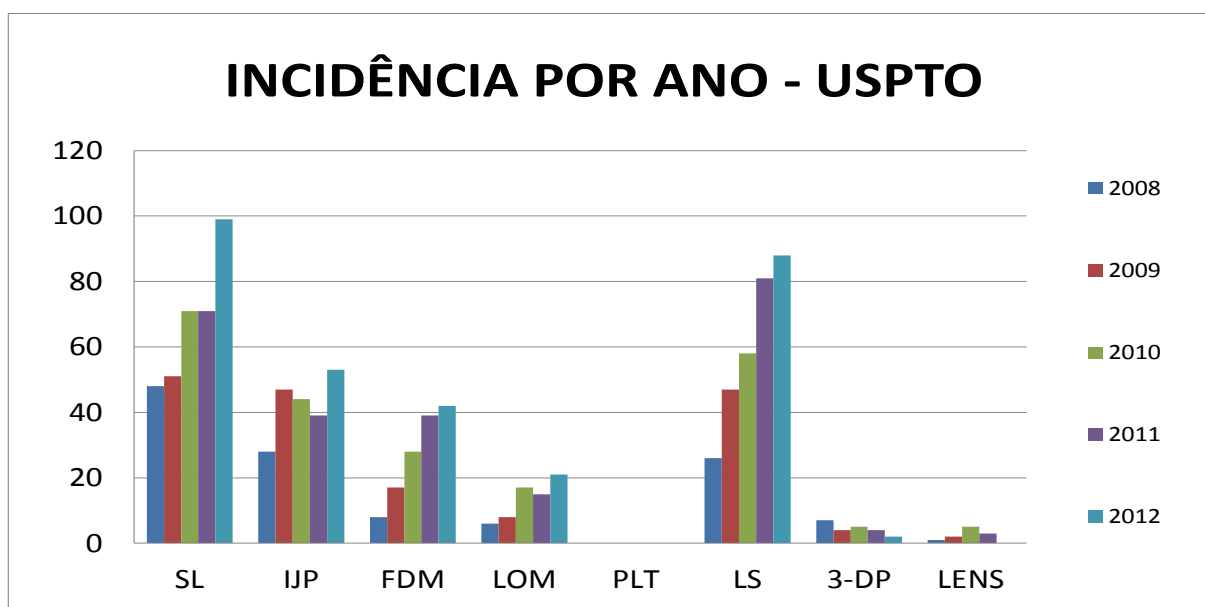


Gráfico 8 - Contagem Total USPTO

- Ferramental Rápido

Na base de dados USPTO foram contadas um total de 94 patentes entre 2008 e 2012 antes da filtragem. A pesquisa foi feita da seguinte forma:

PROCESSOS INDIRETOS

SILICONE RUBBER MOLDS (MOLDES DE BORRACHA SILICONE)

DADOS DA PESQUISA:

Term 1: RAPID PROTOTYPING In Field 1: All Fields

AND

Term 2: SILICONE RUBBER MOLD In Field 2: All Fields

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 4

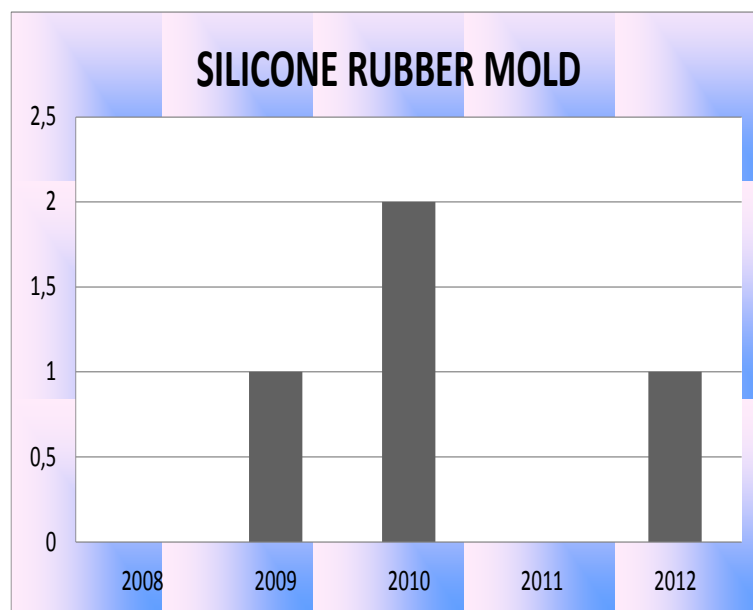


Gráfico 9 - Contagem Silicone Rubber Mold USPTO

ALUMINUM FILLED EPOXY MOLDS OU EPOXY-BASED COMPOSITE TOOLING (MOLDES DE EPÓXI COM CARGA DE ALUMÍNIO POR VAZAMENTO)

DADOS DA PESQUISA:

Term 1: RAPID TOOLING In Field 1: All Fields

AND

Term 2: ALUMINUM In Field 2: All Fields

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 15

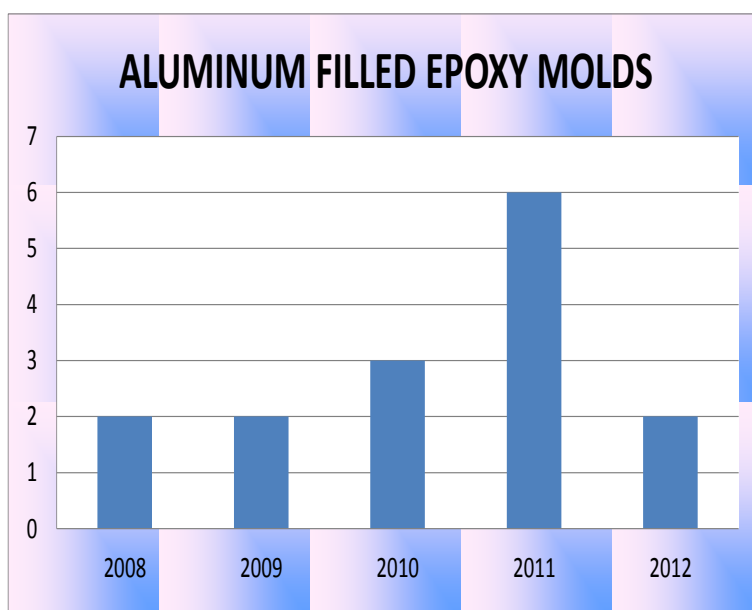


Gráfico 10 - Contagem Aluminum Filled Epoxy Molds USPTO

MOLDES POR PULVERIZAÇÃO METÁLICA

Neste processo incluem-se a fabricação de Moldes Por Pulverização a Gás (Gas Spray Metal Tooling) e Moldes a Arco Elétrico (Arc Spray Metal Tooling). Estes são os mais utilizados e foram utilizados como parâmetros de consulta.

DADOS DA PESQUISA (Parte 1) :

Term 1: RAPID TOOLING In Field 1: All Fields

AND

Term 2: GAS In Field 2: All Fields

DADOS DA PESQUISA (Parte 2) :

Term 1: RAPID TOOLING In Field 1: All Fields
AND

Term 2: ARC In Field 2: All Fields

Número Total de Ocorrências (parte 1 + parte 2) entre 2008 e 2012: 25

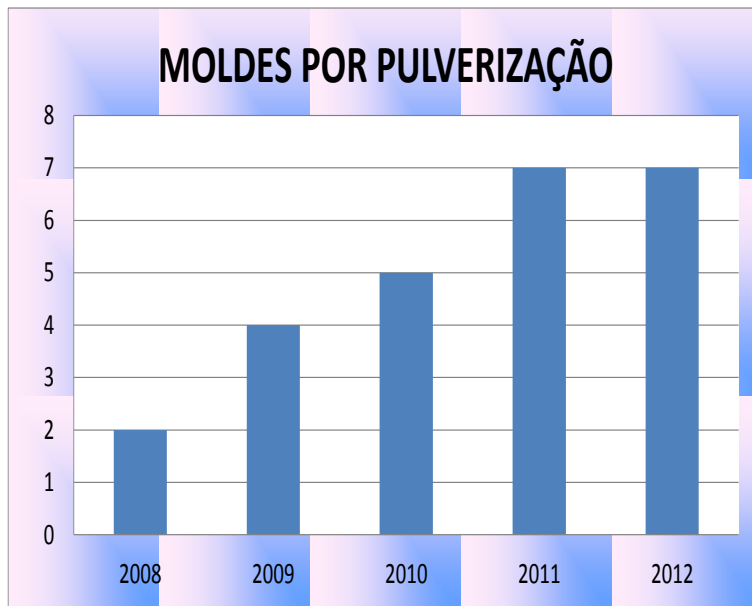


Gráfico 11 - Contagem Moldes por Pulverização USPTO

REPLIFORM (MOLDES METÁLICOS POR ELETRODEPOSIÇÃO)

RePliForm é o nome sob o qual esta tecnologia é comercializada pela empresa de mesmo nome.

DADOS DA PESQUISA:

Term 1: REPLIFORM In Field 1: All Fields

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 0

MOLDES METÁLICOS A PARTIR DE SL

DADOS DA PESQUISA:

Term 1: RAPID TOOLING In Field 1: All Fields
AND

Term 2: STEREOLITHOGRAPHY In Field 2: All Fields

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 26

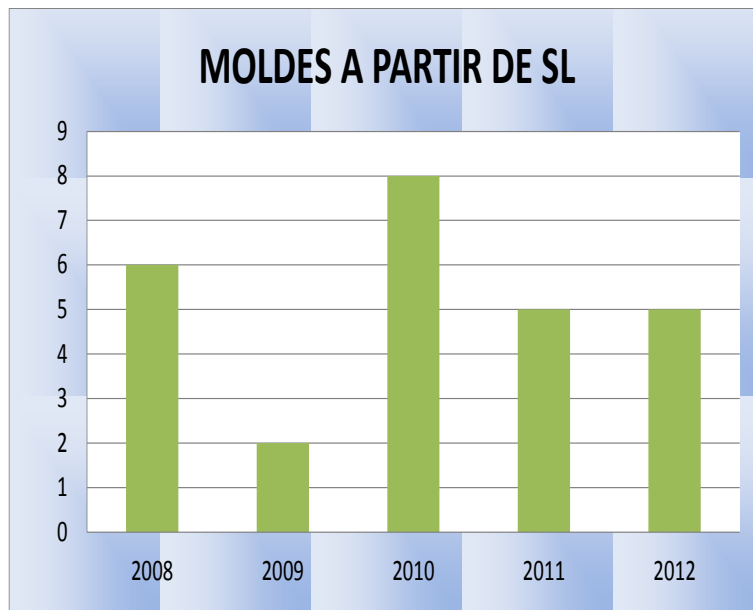


Gráfico 12 - Contagem Moldes a partir de Estereolitografia USPTO

PROCESSOS DIRETOS

MOLDES POLIMÉRICOS POR SL

O processo é comercialmente conhecido como DIRECT AIM, onde a sigla AIM se refere a ACES (Accurate Clear Epoxy Solid) INJECTION MOLDING. Esse será o parâmetro de consulta utilizado.

DADOS DA PESQUISA:

Term 1: DIRECT AIM In Field 1: All Fields

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 0

MOLDES METÁLICOS POR LS

DADOS DA PESQUISA:

Term 1: RAPID TOOLING In Field 1: All Fields
AND

Term 2: LASER SINTERING In Field 2: All Fields

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2013: 23

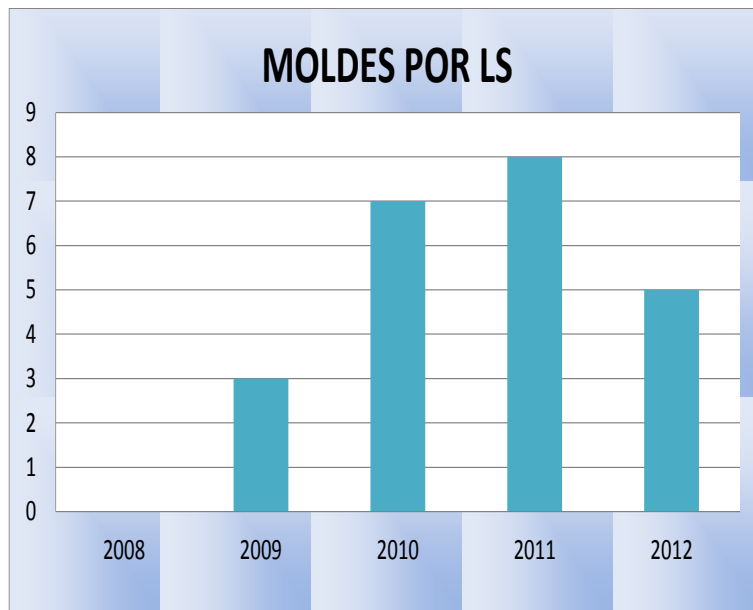


Gráfico 13 - Contagem Moldes por Sinterização à Laser USPTO

MOLDES METÁLICOS POR 3-DP

DADOS DA PESQUISA:

Term 1: RAPID TOOLING In Field 1: All Fields

AND

Term 2: 3 D PRINTING In Field 2: All Fields

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 0

MOLDES METÁLICOS POR LENS

DADOS DA PESQUISA:

Term 1: RAPID TOOLING In Field 1: All Fields

AND

Term 2: LASER ENGINEERED NET SHAPING In Field 2: All Fields

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 1

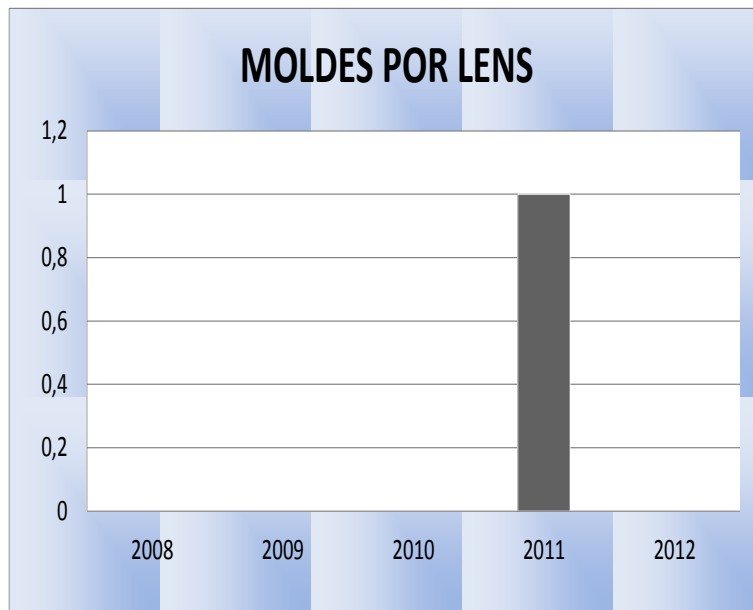


Gráfico 14 - Contagem Moldes por LENS USPTO

Resultado Geral:

Abaixo mostra-se, tabela e gráficos decorrente da contagem total de patentes advindas de todas as tecnologias

Tabela 9 - Resultado Geral USPTO Ferramental Rápido

TIPO	PROCESSO	Incidência por ano					TOTAL
		2008	2009	2010	2011	2012	
I N D I R E T O S	SILICONE RUBBER MOLD	0	1	2	0	1	4
	ALUMINUM FILLED EPOXY MOLDS	2	2	3	6	2	15
	MOLDES POR PULVERIZAÇÃO	2	4	5	7	7	25
	RePliForm	0	0	0	0	0	0
	MOLDES A PARTIR DE SL	6	2	8	5	5	26
D I R E T O S	DIRECT AIM	0	0	0	0	0	0
	MOLDES POR LS	0	3	7	8	5	23
	MOLDES POR 3-DP	0	0	0	0	0	0
	MOLDES POR LENS	0	0	0	1	0	1

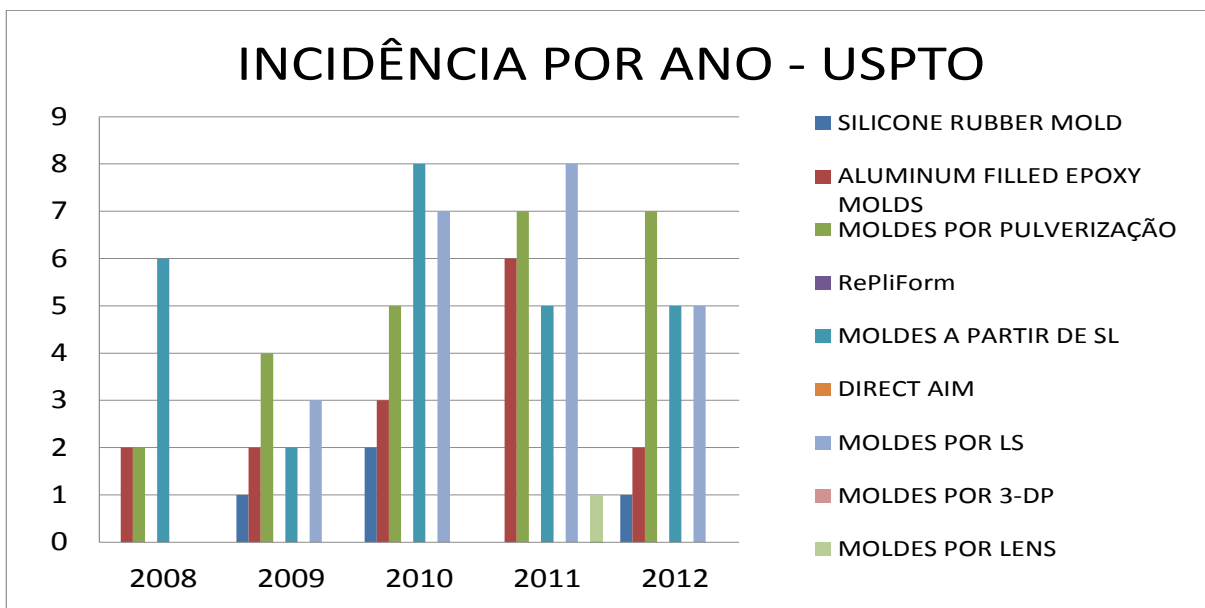


Gráfico 15 - Contagem Geral USPTO

- Filtragem USPTO

O critério de refinamento utilizado apesar de um tanto quanto subjetivo, foi feito da seguinte forma: Patentes que apareciam mais de uma vez, eram contadas só uma vez, sendo contada , a última por ser a mais recente. O que justifica essa ideia é que uma mesma "inovação" não pode ser contada se for substituída, além disso poderia levar a resultados errôneos. Só eram contadas patentes que possuíam ambos campos 1 e 2 (do preenchimento) no sumário, abstract ou descrição detalhada, porém não eram levadas em contas patentes que possuíam campos um e dois aparecendo somente no “background art” ou bibliografia, pois após diversas pesquisas percebeu-se que se esses fatores fossem levados em conta da forma restrita acima, seriam ocorridos diversos erros de falsa contagem pois na maioria das vezes a patente apontava para uma técnica, que possuía uma palavra perdida no contexto ou que só serviu de possível inspiração mas não necessariamente a técnica estava aplicada ou atrelada à esse nome ou critério.

Uma grande tendência também observada foi a criação de softwares para refino da peça ou reparo de possíveis falhas na criação de arquivos STL. Essas invenções eram generalistas e serviam para múltiplas técnicas, portanto, para cada técnica atendidas por tal software foi contado uma vez a mais certa técnica, ou seja caso 3 técnicas diferentes fossem mencionadas, cada uma das 3 técnicas iria ser contada uma vez.

Obteve-se o seguinte resultado geral, com os mesmos parâmetros de busca do resultado anterior (após leitura de todos os abstracts).

Prototipagem rápida

Total:115

Tabela 10 - Resultado Após Filtragem USPTO Prototipagem Rápida

ESTADO	PROCESSO						TOTAL
		2008	2009	2010	2011	2012	
LIQ	ESTEREOLITOGRAFIA - SL	2	4	2	2	12	22
	IMPRESSÃO A JATO DE TINTA - IJP	1	1	1	4	5	12
SÓL	MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO - FDM	0	4	1	7	4	16
	MANUFATURA LAMINAR DE OBJETOS - LOM	0	4	1	1	1	7
	TECNOLOGIA COM LÂMINAS DE PAPEL - PLT	0	0	0	0	0	0
PÓ	SINTERIZAÇÃO A LASER - LS	1	6	5	7	13	32
	IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL - 3-DP	2	8	2	3	6	21
	FABRICAÇÃO DA FORMA FINAL A LASER - LENS	0	1	1	3	0	5

INCIDÊNCIA POR ANO (Somente os Resultados Válidos)- USPTO

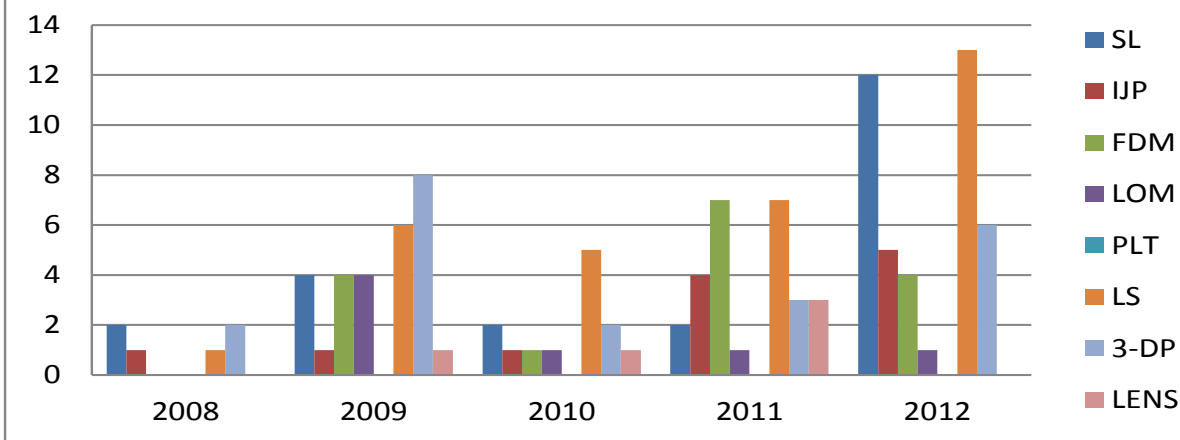


Gráfico 16 - Contagem Geral após filtragem Prototipagem Rápida USPTO

Ferramental Rápido:

Total : 5

Tabela 11 - Resultado Após Filtragem USPTO Ferramental Rápido

PROCESSO	Incidência por ano					
	2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL
SILICONE RUBBER MOLD	0	0	2	0	0	2
ALUMINUM FILLED EPOXY MOLDS	0	0	0	1	0	1
MOLDES POR PULVERIZAÇÃO	0	0	0	0	0	0
RePliForm	0	0	0	0	0	0
MOLDES A PARTIR DE SL	1	0	0	0	0	1
DIRECT AIM	0	0	0	0	0	0
MOLDES POR LS	0	0	0	0	1	1
MOLDES POR 3-DP	0	0	0	0	0	0
MOLDES POR LENS	0	0	0	0	0	0

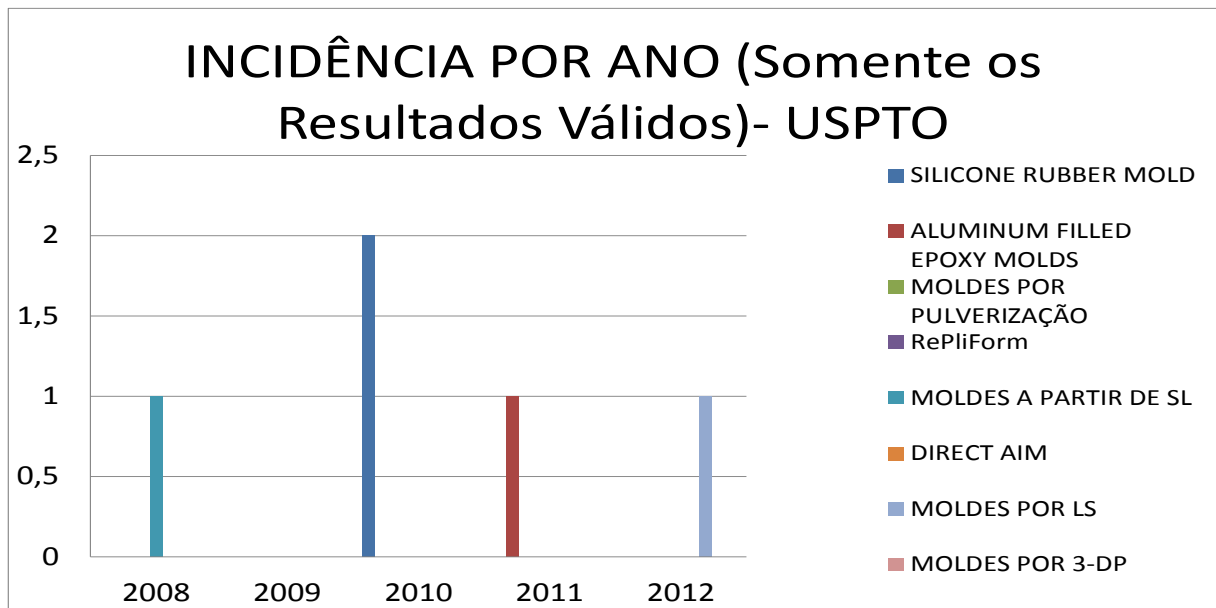


Gráfico 17 - Contagem Geral após filtragem Ferramental Rápido USPTO

3.4.2. Espacenet

- Prototipagem rápida

Na base de dados ESPACENET [36] foram contadas um total de 579 patentes entre 2008 e 2012 antes da filtragem. A pesquisa foi feita da seguinte forma:

Na busca por resultados de cada uma das técnicas fez-se uma pesquisa com o campo único sendo preenchido com stereolithography, laminated manufacturing object em “title or abstract”, já no caso das tecnologias Laser Engineering Net Shaping, Fused Deposition Modeling, Paper Lamination Technology, Ink Jet Printing - (rapid prototyping) (pois caso contrario poderia ser confundido com impressora normal), 3D Printing e Selective Laser Sintering, buscou-se essas expressões em “advanced search” preenchendo o local que utilizava o critério “title or abstract”.

Obteve-se portanto os seguintes resultados:

BASEADOS EM LÍQUIDO

STEREOLITHOGRAPHY – SL – (ESTEREOLITOGRAFIA)

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 123

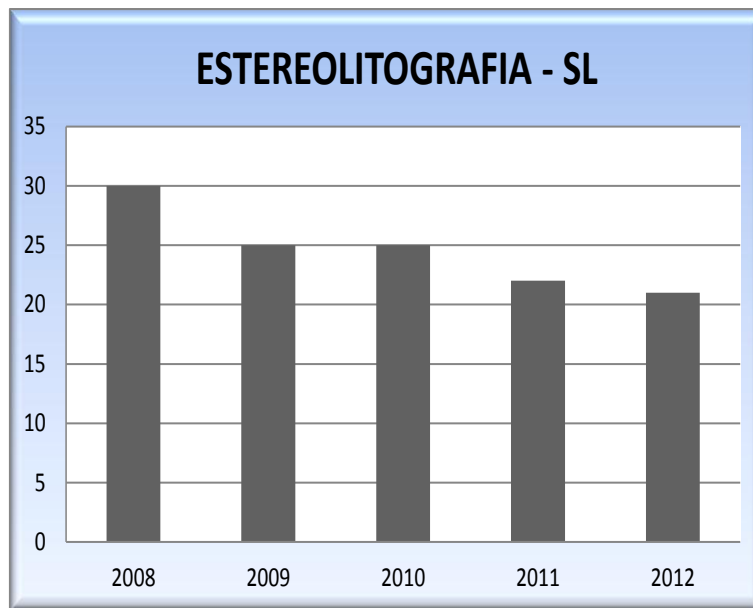


Gráfico 18 - Contagem Estereolitografia ESPACENET

INK JET PRINTING – IJP – (IMPRESSÃO A JATO DE TINTA)

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 0

BASEADOS EM SÓLIDO

FUSED DEPOSITION MODELING – FDM – (MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO)

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 17

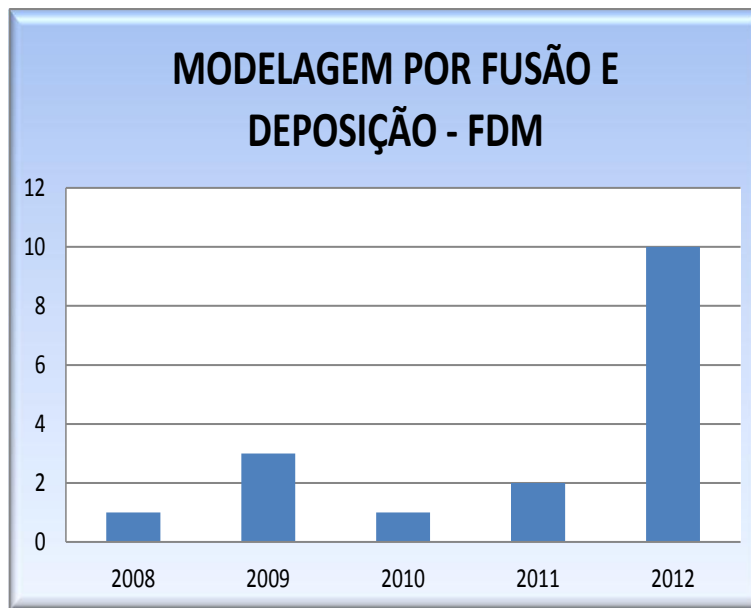


Gráfico 19 - Contagem FDM ESPACENET

LAMINATED OBJECT MANUFACTURING – LOM – (MANUFATURA LAMINAR DE OBJETOS)

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 134



Gráfico 20 - Contagem LOM ESPACENET

PAPER LAMINATION TECHNOLOGY – PLT – (TECNOLOGIA COM LÂMINAS DE PAPEL)

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 11

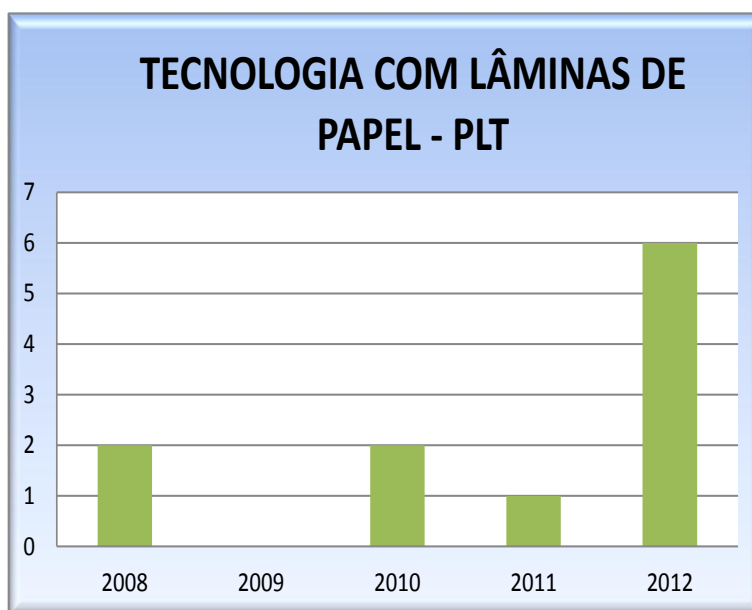


Gráfico 21 - Contagem PLT ESPACENET

BASEADOS EM PÓ

LASER SINTERING – LS – (SINTERIZAÇÃO A LASER)

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 107

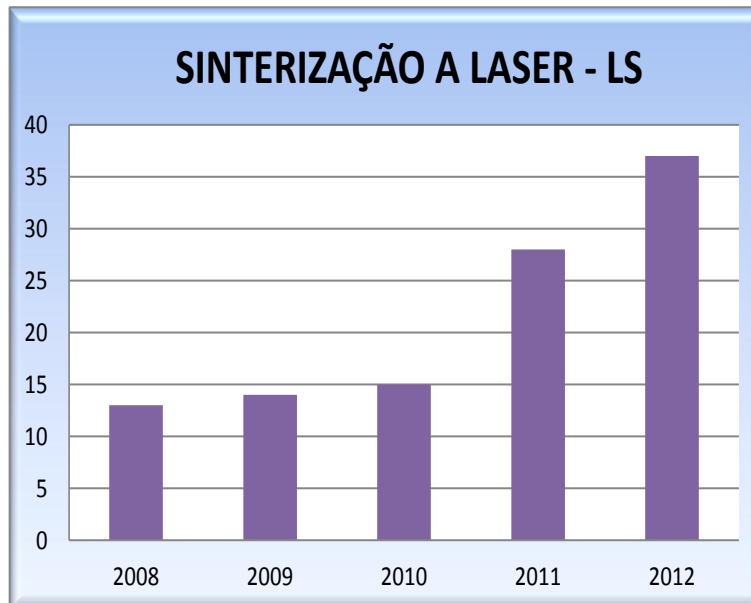


Gráfico 22 - Contagem Sinterização à Laser ESPACENET

3 DIMENSIONAL PRINTING – 3DP – (IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL)

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 183

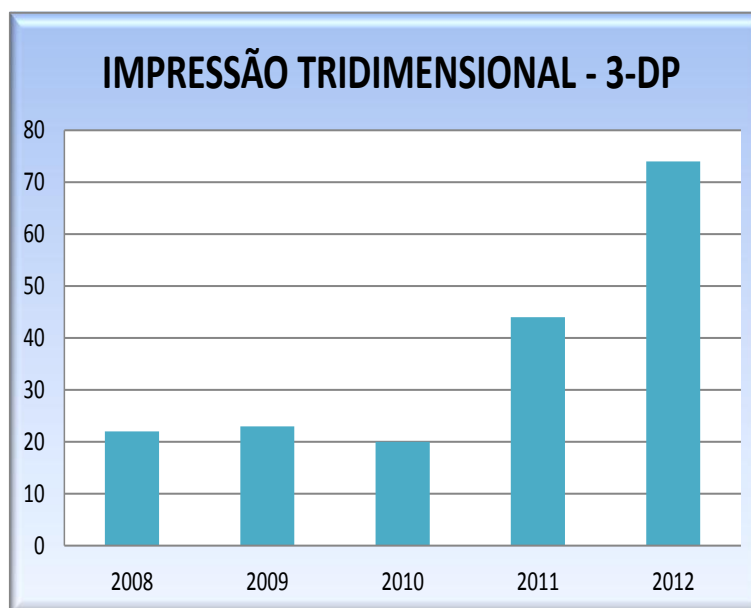


Gráfico 23 - Contagem Impressão 3D ESPACENET

LASER ENGINEERED NET SHAPING – LENS – (FABRICAÇÃO DA FORMA FINAL A LASER)

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 4

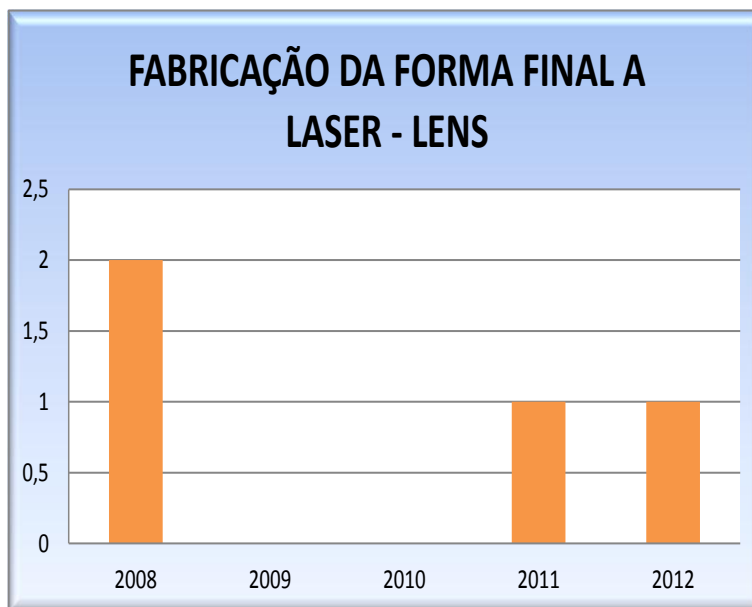


Gráfico 24 - Contagem LENS ESPACENET

Resultado Geral:

Abaixo tabela e gráfico mostrando contagem total de patentes da base de dados ESPACENET para prototipagem rápida.

Tabela 12 - Resultado Geral ESPACENET Prototipagem Rápida

ESTADO	PROCESSO	INCIDÊNCIA POR ANO - ESPACENET					
		2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL
LIQ	ESTEREOLITOGRAFIA - SL	30	25	25	22	21	123
	IMPRESSÃO A JATO DE TINTA - IJP	0	0	0	0	0	0
SÓL	MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO - FDM	1	3	1	2	10	17
	MANUFATURA LAMINAR DE OBJETOS - LOM	14	25	22	48	25	134
	TECNOLOGIA COM LÂMINAS DE PAPEL - PLT	2	0	2	1	6	11
PÓ	SINTERIZAÇÃO A LASER - LS	13	14	15	28	37	107
	IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL - 3-DP	22	23	20	44	74	183
	FABRICAÇÃO DA FORMA FINAL A LASER - LENS	2	0	0	1	1	4

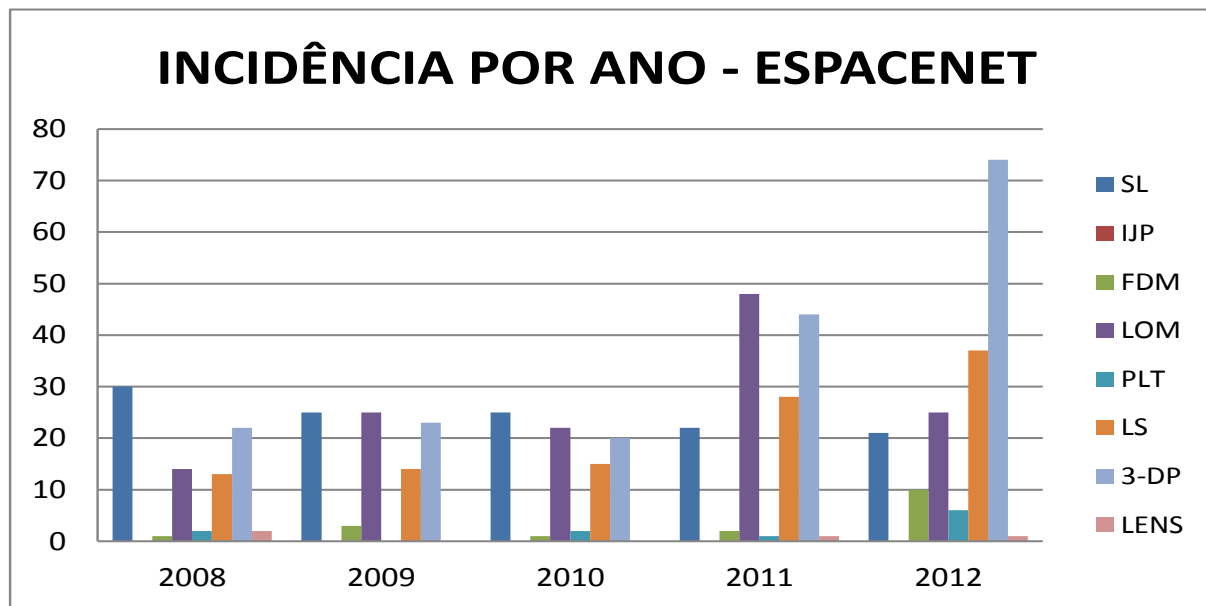


Gráfico 25 - Contagem total Prototipagem Rápida ESPACENET

- Ferramental Rápido:

Na base de dados ESPACENET foram contadas um total de 24 patentes entre 2008 e 2012 antes da filtragem. Foram usados os seguintes parâmetros de pesquisa, tentando se manter os mesmos critérios entre técnicas das diferentes base de dados:

- Foi procurado Silicone rubber mold no local “abstract or title”.
- Foi procurado no local “abstract or title” rapid tooling aluminium.
- Para moldes a partir de LENS foi procurado no local “abstract or title” laser engineered net shaping rapid tooling.
- Para moldes a partir de 3-DP foi procurado no “abstract or title” 3D printing rapid tooling.
- Para moldes a partir de LS: foi procurado no “abstract or title” laser sintering rapid tooling.
- Para moldes a partir de SL: foi procurado no “abstract or title” stereolithography rapid tooling.
- Para moldes por pulverização : Foi procurado no “abstract or title” rapid tooling e arc e depois rapid tooling and gas
- Foi procurado para a tecnologia direct aim a expressão direct aim rapid tooling (para restringir o escopo da pesquisa) em “abstract or title”.

A justificativa para isso foi que aos se procurar a palavra “aim” , apareceram diversos resultados relacionados a patentes de mira e armamento resultando em falsa contagem.

Como se obtiveram poucos resultados nessa pesquisa a priori, repetiu-se a pesquisa de rapid tooling com as mesmas expressões da primeira, sendo que desta vez trocou-se a expressão rapid tooling por rapid prototyping. Após contagem dos dois resultados chega-se aos resultados abaixo:

PROCESSOS INDIRETOS

SILICONE RUBBER MOLDS (MOLDES DE BORRACHA SILICONE)

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 12

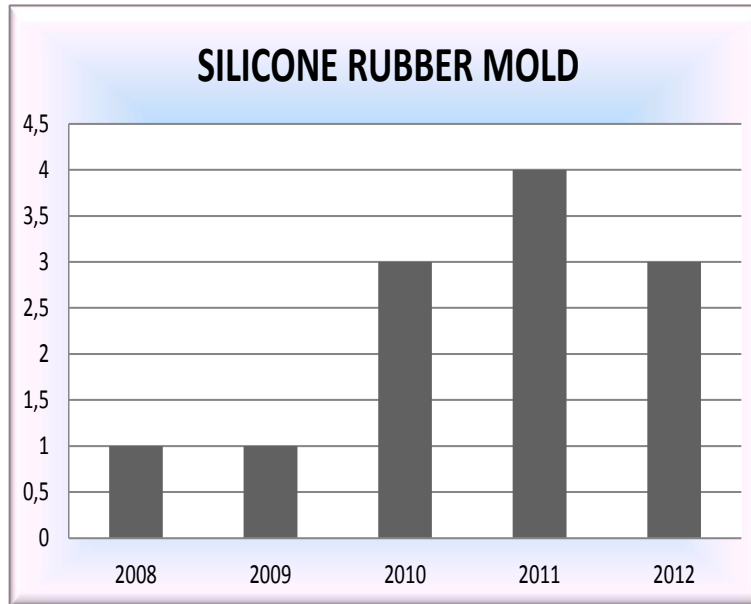


Gráfico 26 - Contagem Silicone Rubber Mold ESPACENET

MOLDES POR PULVERIZAÇÃO METÁLICA

Neste processo incluem-se a fabricação de Moldes Por Pulverização a Gás (Gas Spray Metal Tooling) e Moldes a Arco Elétrico (Arc Spray Metal Tooling). Estes são os mais utilizados e foram utilizados como parâmetros de consulta.

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 4

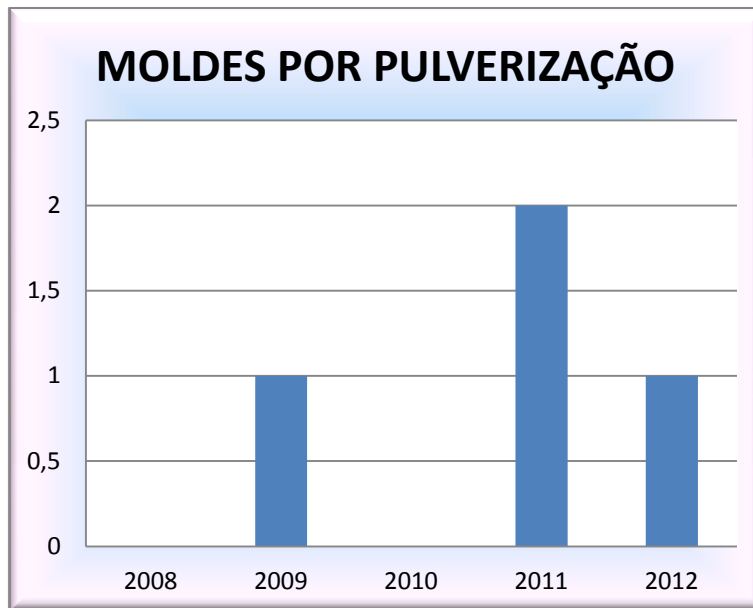


Gráfico 27 - Contagem de Moldes por Pulverização ESPACENET

MOLDES METÁLICOS A PARTIR DE SL

DADOS DA PESQUISA:

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 4

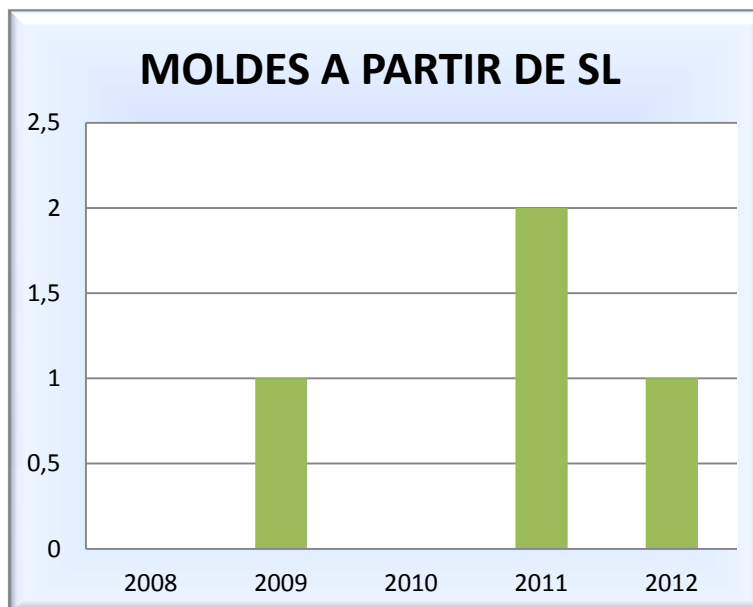


Gráfico 28 - Contagem de Moldes a partir de Estereolitografia ESPACENET

MOLDES A PARTIR DE LASER SINTERING

DADOS DA PESQUISA:

Número Total de Ocorrências entre 2008 e 2012: 4

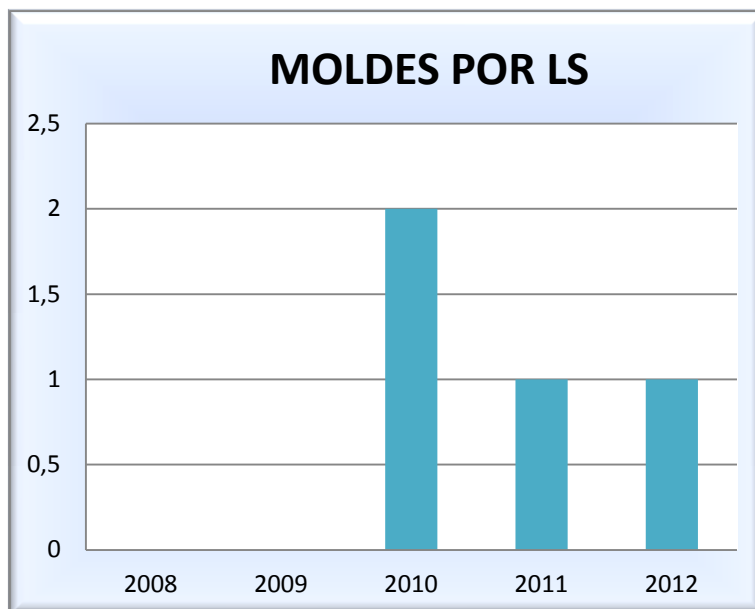


Gráfico 29 - Contagem de Moldes por Sinterização à Laser ESPACENET

Resultado Geral:

Contagem de todas as tecnologias de ferramental rápido tanto em tabela como em gráficos são mostradas abaixo a partir da base de dados ESPACENET.

Tabela 13 - Resultado Geral ESPACENET Ferramental Rápido

TIPO	PROCESSO	INCIDÊNCIA POR ANO - ESPACENET					
		2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL
INDIRETOS	SILICONE RUBBER MOLD	1	1	3	4	3	12
	ALUMINUM FILLED EPOXY MOLDS	0	0	0	0	0	0
	MOLDES POR PULVERIZAÇÃO	0	1	0	2	1	4
	RePliForm	0	0	0	0	0	0
	MOLDES A PARTIR DE SL	0	1	0	2	1	4
DIRETOS	DIRECT AIM	0	0	0	0	0	0
	MOLDES POR LS	0	0	2	1	1	4
	MOLDES POR 3-DP	0	0	0	0	0	0
	MOLDES POR LENS	0	0	0	0	0	0

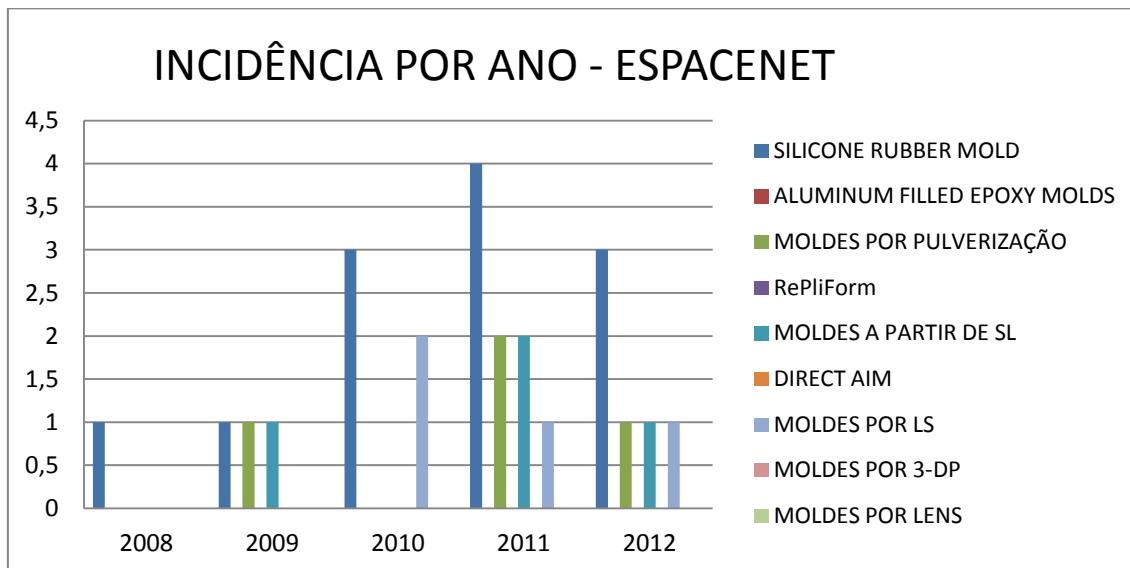


Gráfico 30 - Contagem Geral Ferramenta Rápido ESPACENET

- Filtragem ESPACENET

A filtragem das patentes do ESPACENET foi feita de forma similar à filtragem do USPTO, leu-se abstract por abstract, removendo-se patentes que geravam dupla-contagem, patentes que não eram minimamente correlacionadas com a pesquisa (as palavras pesquisadas levavam a outro tipo de invenções) e inovações que estavam sendo re-patenteadas com pequenas modificações tecnológicas de forma a não aportar avanço significativo na técnica. Foram descartadas também invenções que somente citavam as técnicas de prototipagem rápida, mencionando essa como concorrente em potencial da técnica ou outro motivo que não desencadeava em desenvolvimento de uma inovação desta técnica.

Após triagem com os critérios acima chegou-se aos resultados abaixo.

Prototipagem rápida

Total: 81

Tabela 14 - Resultado Após Filtragem ESPACENET Prototipagem Rápida

ESTADO	PROCESSO	INCIDÊNCIA POR ANO - ESPACENET					
		2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL
LIQ	ESTEREOLITOGRAFIA - SL	4	5	4	6	9	28
	IMPRESSÃO A JATO DE TINTA - IJP	0	0	0	0	0	0
SOL	MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO - FDM	1	2	1	2	4	10
	MANUFATURA LAMINAR DE OBJETOS - LOM	0	0	0	0	0	0
	TECNOLOGIA COM LÂMINAS DE PAPEL - PLT	0	0	0	0	0	0
PO	SINTERIZAÇÃO A LASER - LS	0	3	4	6	14	27
	IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL - 3-DP	2	1	0	4	7	14
	FABRICAÇÃO DA FORMA FINAL A LASER - LENS	1	0	0	0	1	2

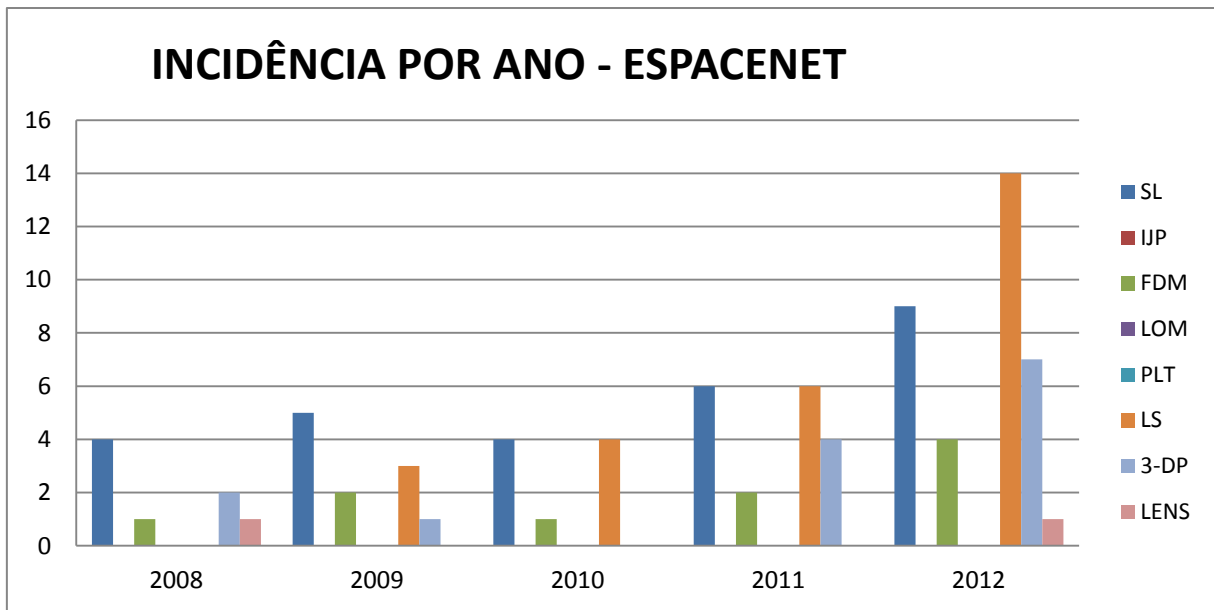


Gráfico 31 - Contagem Geral Prototipagem Rápida ESPACENET

Ferramental Rápido:

Total: 9

Tabela 15 - Resultado Após Filtragem ESPACENET Ferramental Rápido

TIPO	PROCESSO	INCIDÊNCIA POR ANO - ESPACENET					TOTAL
		2008	2009	2010	2011	2012	
I N D I R E T O S	SILICONE RUBBER MOLD	0	0	0	0	1	1
	ALUMINUM FILLED EPOXY MOLDS	0	0	0	0	0	0
	MOLDES POR PULVERIZAÇÃO	0	0	0	0	0	0
	RePliForm	0	0	0	0	0	0
	MOLDES A PARTIR DE SL	0	1	0	2	1	4
D I R E T O S	DIRECT AIM	0	0	0	0	0	0
	MOLDES POR LS	0	0	2	1	1	4
	MOLDES POR 3-DP	0	0	0	0	0	0
	MOLDES POR LENS	0	0	0	0	0	0

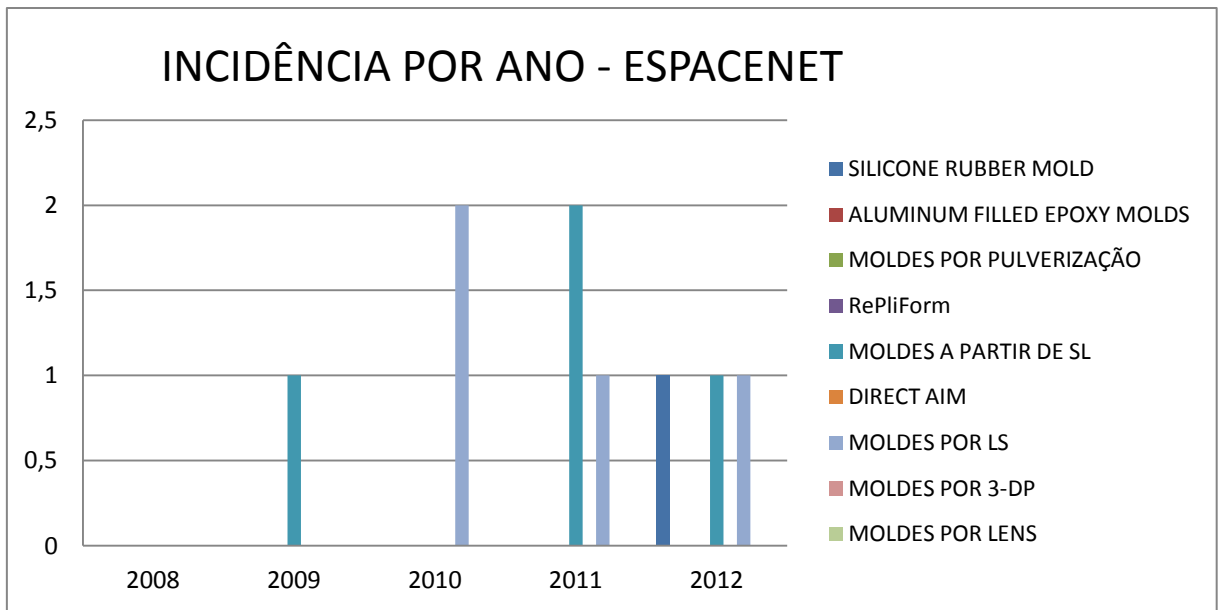


Gráfico 32 - Contagem Geral Ferramental Rápido ESPACENET

4. RESULTADOS

Ao final desta pesquisa analisou-se um total de 1782 patentes sendo essas divididas em: 1085 patentes de prototipagem rápida e 94 patentes de ferramental rápido na base USPTO , e também 579 patentes de prototipagem rápida e 24 patentes de ferramental rápido na base ESPACENET. Deste total 210 patentes foram avaliadas como válidas, sendo essas divididas em 115 patentes de prototipagem rápida e 5 patentes de ferramental rápido na base USPTO , além de 81 patentes de prototipagem rápida e 9 patentes de ferramental rápido na base ESPACENET.

Terminada a contagem das bases de dado USPTO e ESPACENET, notou-se algumas peculiaridades. A redução de valores brutos (antes da filtragem), para valores válidos (após filtragem) foi muito grande, sendo isso em sua maioria devido à valores que levavam à falsa ou dupla contagem. Das patentes pesquisadas, observou-se que um grande número dentre elas pertencia à área biomédica, odontológica e de melhoramentos em geral das tecnologias já existentes como: softwares mais aprimorados, aumento de resolução de construção e processos mais rápidos e automatizados.

A tecnologia que obteve maior numero de contagens brutas em prototipagem rápida foi a estereolitografia com 463 citações, seguida de sinterização à laser com 407 citações e em 3º lugar tem-se impressão a jato de tinta com 211 citações. A que obteve menor valor foi a tecnologia PLT com 11 contagens. Esses valores foram calculados somando-se as citações obtidas em cada uma das base de dados. Após filtragem a tecnologia que mais obteve citações foi a sinterização à laser com 59 aparições, seguida da estereolitografia com 50 aparições e em 3º lugar a impressão 3D com 35 patentes válidas. Mais uma vez a tecnologia PLT figurou em ultima colocada com 0 patentes válidas.

Tabela 16 - Valores Totais Prototipagem Rápida

PROCESSO	Valores Bruto USPTO	Valores Bruto ESPACENET	Valores Bruto Total
ESTEREOLITOGRAFIA - SL	340	123	463
IMPRESSÃO A JATO DE TINTA - IJP	211	0	211
MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO - FDM	134	17	151
MANUFATURA LAMINAR DE OBJETOS - LOM	67	134	201
TECNOLOGIA COM LÂMINAS DE PAPEL - PLT	0	11	11
SINTERIZAÇÃO A LASER - LS	300	107	407
IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL - 3-DP	22	183	205
FABRICAÇÃO DA FORMA FINAL A LASER - LENS	11	4	15
PROCESSO	Valores Validos USPTO	Valores Validos ESPACENET	Valores Validos Total
ESTEREOLITOGRAFIA - SL	22	28	50
IMPRESSÃO A JATO DE TINTA - IJP	12	0	12
MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO - FDM	16	10	26
MANUFATURA LAMINAR DE OBJETOS - LOM	7	0	7
TECNOLOGIA COM LÂMINAS DE PAPEL - PLT	0	0	0
SINTERIZAÇÃO A LASER - LS	32	27	59
IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL - 3-DP	21	14	35
FABRICAÇÃO DA FORMA FINAL A LASER - LENS	5	2	7

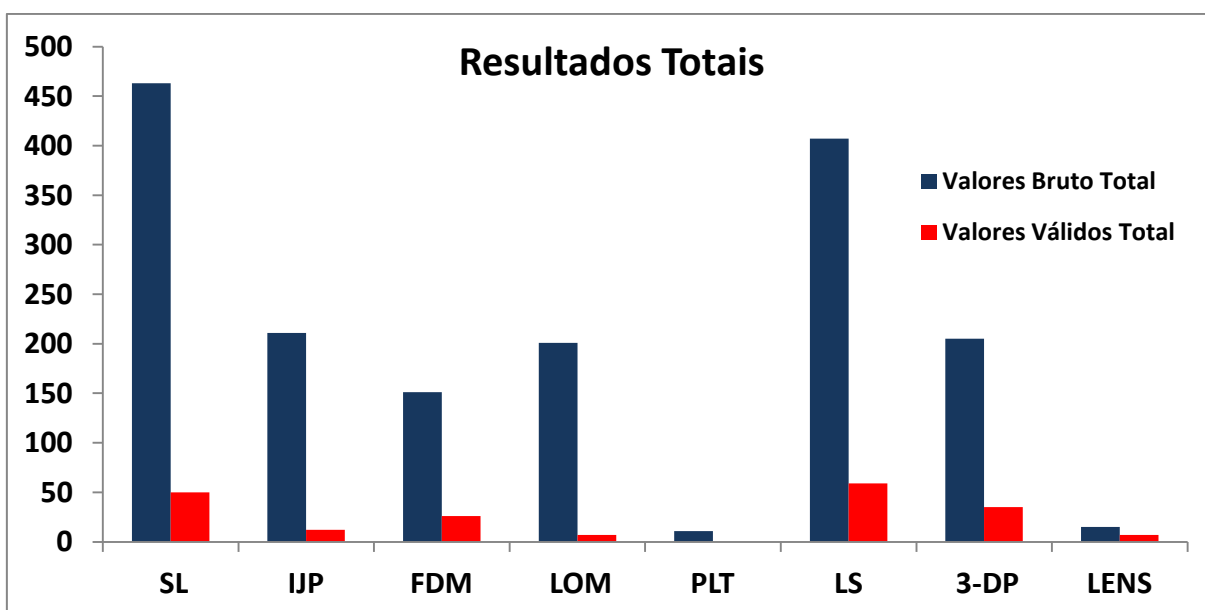


Gráfico 33- Resultados Totais Prototipagem Rápida

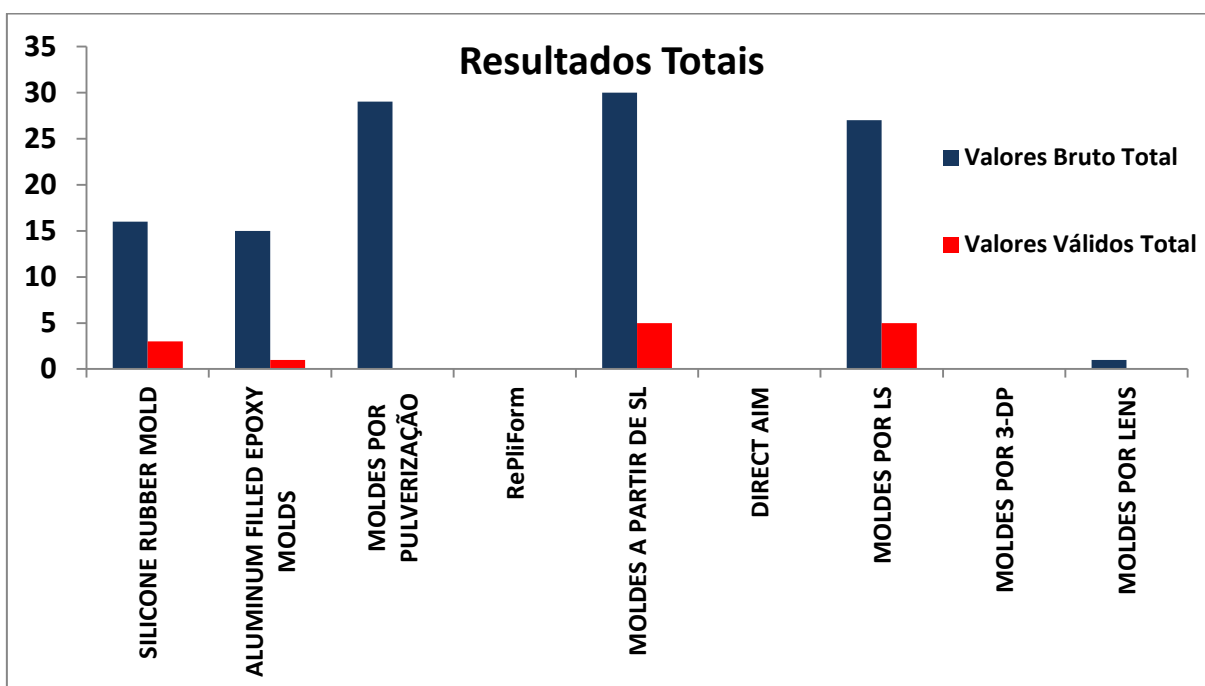
Dentre as tecnologias de ferramental rápido a que obteve maior numero de contagens brutas foi a confecção de moldes a partir de estereolitografia com 30 citações, seguida de moldes por pulverização com 29 patentes válidas e em 3º lugar tem-se moldes a partir de sinterização à laser com 27 citações. As que obtiveram menores valores foram as tecnologias RePliForm e Direct AIM ambas com 0 patentes. Esses

valores foram calculados somando-se as citações obtidas em cada uma das base de dados. Após filtragem as tecnologias que mais obtiveram citações foram a confecção de moldes a partir de estereolitografia e a confecção de moldes a partir de sinterização à laser, ambas com 5 aparições, seguida de Silicone Rubber Mold com 3 patentes válidas. As tecnologias de moldes por pulverização, RePliForm, Direct AIM, Moldes por 3DP e Moldes por LENS, obtiveram como resultado zero patentes válidas.

Tabela 17- Valores Totais Ferramental Rápido

PROCESSO	Valores Bruto USPTO	Valores Bruto ESPACENET	Valores Bruto Total
SILICONE RUBBER MOLD	4	12	16
ALUMINUM FILLED EPOXY MOLDS	15	0	15
MOLDES POR PULVERIZAÇÃO	25	4	29
RePliForm	0	0	0
MOLDES A PARTIR DE SL	26	4	30
DIRECT AIM	0	0	0
MOLDES POR LS	23	4	27
MOLDES POR 3-DP	0	0	0
MOLDES POR LENS	1	0	1
PROCESSO	Valores Validos USPTO	Valores Validos ESPACENET	Valores Validos Total
SILICONE RUBBER MOLD	2	1	3
ALUMINUM FILLED EPOXY MOLDS	1	0	1
MOLDES POR PULVERIZAÇÃO	0	0	0
RePliForm	0	0	0
MOLDES A PARTIR DE SL	1	4	5
DIRECT AIM	0	0	0
MOLDES POR LS	1	4	5
MOLDES POR 3-DP	0	0	0
MOLDES POR LENS	0	0	0

Tabela 18 - Resultados Totais Ferramental Rápido



Ao final desta pesquisa percebeu-se uma concentração muito grande de patentes, tanto brutas como válidas, nas tecnologias de estereolitografia e sinterização à laser. Essas duas tecnologias estão bem posicionadas tanto em prototipagem rápida como em ferramental rápido. A estereolitografia apresenta 493 patentes brutas e 55 patentes válidas (prototipagem rápida + ferramental rápido) somando-se as duas bases, enquanto a sinterização à laser possui 434 patentes brutas e 64 patentes válidas (prototipagem rápida + ferramental rápido), também adicionando-se as duas bases. Uma terceira tecnologia que se apresenta razoavelmente bem é a impressão tridimensional, com 205 patentes brutas e 35 patentes válidas (prototipagem rápida + ferramental rápido), computando-se as duas bases, sendo portanto, interessante manter esta também sob observação.

Após contagem filtrada em ambas as bases de dados, se pesquisou sobre as tendências em prototipagem rápida de forma que, respaldado nos dados de sites, periódicos e revistas especializadas, se pudesse, ou consolidar a pesquisa feita até então, ou mudar o foco da crença em certas tecnologias que considerou-se até aqui promissoras de acordo com os números apresentados. Descreve-se abaixo tal conclusão, assim como também, de que forma as empresas vem se preparando e antevendo o futuro desta tecnologia.

5. TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS

A prototipagem rápida evoluiu muito desde a sua criação. Apesar da estereolitografia se manter como uma técnica bem robusta, novas técnicas de prototipagem rápida foram criadas, dando início a uma corrida, durante um certo tempo, à inovações na área de construção das peças. A busca por esse tipo de inovação, se mostrou de grande interesse durante a fase inicial de tal tecnologia. Na atualidade, mais de 20 anos após a primeira máquina de prototipagem rápida, percebe-se que esse foco mudou um pouco. Baseado em pesquisas em periódicos e sites, além das pesquisas feitas em base de dados, chega-se à conclusão de que existem alguns grandes pontos de interesse, tanto por parte da indústria, como por parte dos consumidores. Esses pontos podem ser organizados da seguinte forma:

- Redução de custos do maquinário

Uma das grandes preocupações da indústria hoje em dia é a redução de custos do maquinário. Apesar de se encontrar máquinas de prototipagem rápida de até 500 dólares no mercado (máquinas de prototipagem caseira), os custos das máquinas industriais continuam altos. [28],[37].

- Novos tipos de materiais e área biomédica

Os fabricantes vem se preocupando muito ultimamente em fazer do objeto construído, um objeto pronto para utilização, e não um mero protótipo. Sendo assim , pesquisas estão sendo desenvolvidas , de forma a possibilitar que peças tenham menos influências do meio externo. Um exemplo disto, é o desenvolvimento de materiais que possibilitem que a peça fique exposta ao sol e à variações de temperaturas grandes sem que o objeto seja danificado. Na área de pós orgânicos desenvolvem-se estudos para controle de homogeneidade e tamanho de grãos, assim como funções mais complexas como autorreparação, visando a construção de tecidos. Uma empresa de grande porte que vem investindo nessas pesquisas atualmente é a envisionTEC GmbH (Gladbeck, Germany) , que desenvolveu uma máquina capaz de imprimir um certo tipo de tecido, batizada como 3-D bioplatter. Esta máquina pode processar polímeros derretidos a alta temperatura assim como material cerâmico usado para regeneração óssea. Trabalha também com silicones para restaurações cirúrgicas e hidrogéis suaves para regeneração de tecidos . Impressão de partes de órgãos à partir desta mesma matéria prima também já estão em testes. De acordo com funcionários até mesmo a impressão de células seria possível a partir desta máquina [38].

Outra grande empresa que vem trabalhando na area biomédica é a Objet. Um avanço recente da empresa foi o desenvolvimento de modelos em 3D de crânios e outras partes do corpo humano impressos sob medida a partir de impressoras 3D (neste caso

reproduzindo a anatomia do próprio paciente a ser operado) para treinamento de cirurgiões antes da cirurgia [39].

A área odontológica vem apresentando grandes avanços também. Esta área vem focando seus esforços na melhoria de resultados em próteses e blocos de reposição, aparelhos dentários customizados e aparatos estéticos.

- Peças de reposição

Um outro campo onde as empresas vem gastando bastante tempo e dinheiro em pesquisas, tem sido em peças de reposição. O ideal destas empresas é conseguir criar um banco de dados digital de peças, sejam elas novas ou antigas, para manufatura destas mesmas, de forma que elas estejam prontas para uso após a confecção. Desta forma peças, por exemplo, de automóveis antigos, relógios e até mesmo eletrodomésticos poderiam ser repostas sem maiores problemas e a baixo custo [37].

- Aplicações de longo prazo

Aposta-se demasiadamente na customização de objetos. Essa aposta é mais forte e real na área biomédica, quanto às outras áreas muitas ideias são propostas e especulações são feitas, no entanto, não se observam aplicações de larga escala ainda no presente.

Dentre as especulações ,mencionam-se por exemplo, os acessórios. Desde chaveiros a pares de tênis. Aposta-se em um futuro onde se possivelmente poderá imprimir (caso assim seja viável), por exemplo, pares de tênis ou calças em sua própria casa, introduzindo somente as medidas e escolhendo modelos e cores, tendo portanto vestimentas customizadas sem sair de casa. Chega-se até mesmo a cogitar impressões de alimentos. Poderia-se pedir comida de um restaurante e trocária-se o delivery pelo "home made printing". Apesar de parecer muito distante, isto já é em parte possível. Empresas como The Sugar Lab, da cidade de Ventura, na Califórnia, utilizam açúcar refinado para criar objetos que podem ser consumidos. O objetivo da empresa, inicialmente, foi usar estas criações feitas no computador e, depois, impressas, para decorar bolos e doces. Embora usem açúcar, a companhia usa uma fórmula especial para que as estruturas se mantenham de pé [37],[39]. É importante se deixar claro que apesar de tais especulações, seria um tanto quanto arrojado acreditar que fábricas, por exemplo, fossem fechar por conta de customizações à domicílio. Recomenda-se olhar tal evolução com parcimônia.

Um outro ponto interessante a ser levantado é o desejo de que se possa construir peças maiores com máquinas menores. As máquinas atuais ainda não conseguem produzir peças muito grandes caso a máquina não seja de equiparável tamanho, ocupando muito espaço.

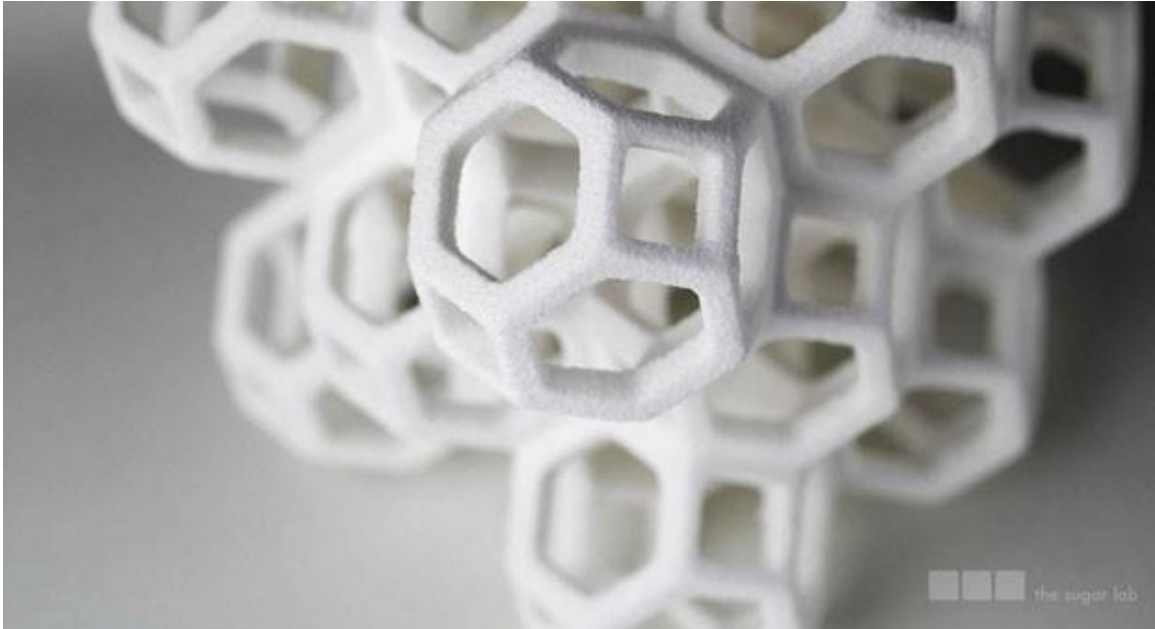


Figura 20 - Adereço de Açúcar Construído por Impressora 3D [40]



Figura 21 - Adereço de Açúcar Construído por Impressora 3D [40]

6. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA

Foi feita uma visita no dia 18/06/2013 no Instituto Nacional de Tecnologia (INT) , de forma que se pudesse aqui relatar um caso onde foi feita a utilização de uma destas tecnologias abordadas no texto.

O INT foi fundado em 28 de dezembro de 1921, como Estação Experimental de Combustíveis e Minérios (EECM), ligada ao Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio. Surgiu com a função de investigar e divulgar os processos industriais de aproveitamento de combustíveis e minérios do País.

Desde então, o INT é reconhecido pela criatividade, competência e pioneirismo com que atua em temas estratégicos para o desenvolvimento do País. Ainda na década de 1920, desenvolveu o automóvel a álcool; na década de 1930, deu início ao desenvolvimento de pesquisas em biocombustíveis com várias oleaginosas e provaria a existência de petróleo no Brasil.

Na década de 1940, criou o método de ensaio de resistência do concreto, reconhecido e adotado mundialmente como Brazilian Test, e desenvolveu processos que permitiram o uso da pasta de eucalipto na produção de papel. Na década de 1950, investiu nos estudos de biotecnologia e de preservação do meio ambiente e fez o primeiro estudo de corrosão sob tensão no Brasil. Na de 1960, implantou o primeiro Centro de Informação Tecnológica da América Latina; na de 1970, instalou uma usina para produzir álcool a partir de mandioca; na de 1980, coordenou o levantamento antropométrico da população brasileira; e na de 1990, desenvolveu programas de gestão de produção e voltou-se para ofertar suporte tecnológico às pequenas e médias empresas.

Nos últimos anos, o INT fortaleceu suas pesquisas em grandes temas como biodiesel, nanotecnologia, petróleo e gás, produtos para a saúde e energias renováveis e ampliou suas ações de transferência de tecnologia à sociedade, através do seu Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT) e programas de extensão tecnológica [37].

O INT possui diversas áreas de pesquisa sendo estas divididas da forma esquematizada abaixo.

Estrutura Organizacional

(Conforme Regimento Interno publicado na Portaria MCTI nº 365, de 22.04.2013)

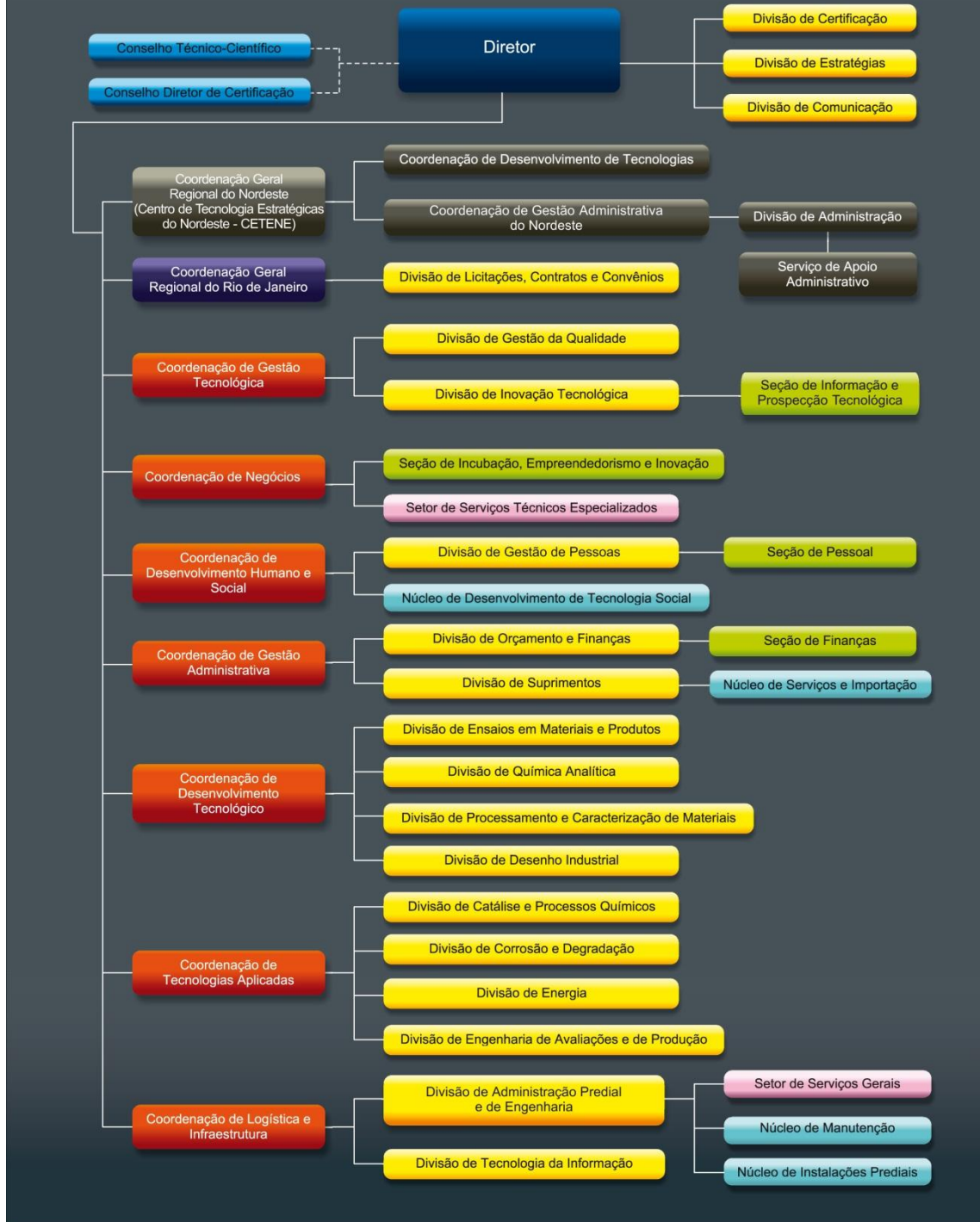


Figura 26 – Estrutura Organizacional do INT [42]

A visita ao INT, foi feita na Divisão de Desenho Industrial – DvDI. O DvDI trabalha juntamente com o laboratório de modelos tridimensionais de forma a possibilitar a construção de peças a partir de uma das 4 máquinas (uma desativada) de prototipagem rápida disponíveis no laboratório do INT.

A melhor máquina encontrada atualmente neste laboratório, sendo esta capaz de imprimir uma peça com dois materiais distintos ao mesmo tempo é a Objet Connex 350 da Stratasys. Esta máquina é também capaz de imprimir um material “híbrido”, ou seja uma proporção dos dois materiais acima escolhidos caso sejam compatíveis. Suas peças são construídas por meio da tecnologia PolyJet (similar à impressão à jato de tinta).



Figura 27 – Objet Connex 350 INT.

As outras maquinas são a FDM Vantage , também da Stratasys que fabrica suas peças por meio da tecnologia de fusão por deposição.



Figura 28 – FDM Vantage INT.

A Viper Si 2 da 3D systems que constroi suas peças por meio da estereolitografia



Figura 29 – Viper Si2 INT

A última máquina se encontrava desativada, portanto não será citada aqui.

O caso a ser relatado foi exposto pelo funcionário Tiago M. Chamuinho, do setor de desenho industrial do INT.

O projeto “Geração de Imagens Digitais das Coleções do Museu Nacional” recorreu à técnicas de digitalização e de modelagem tridimensional – o escaneamento 3D a laser e a prototipagem rápida – para criar réplicas do acervo do Museu Nacional, utilizando tecnologias não invasivas, que permitem a preservação das peças.

O escanemamento 3D foi feito por meio de tomografia computadorizada o que aportou grandes vantagens, pois , uma vez que se usou uma técnica de digitalização sem contato, possibilitou análise mais profunda da peça, tendo-se “acesso” à áreas que so seriam vistas caso os sarcófagos fossem serrados. Além de não se correr o risco de danificação da peça por meio do manuseio . Outros fatores que levaram à escolha desta técnica foi por exemplo a possibilidade de “intercambio cultural” do modelo, ou seja, caso outra instituição em outro país necessitasse , poderia se enviar simplesmente o arquivo computadorizado, para reprodução no laboratório no respectivo país. Além

disso a economia de tempo foi outro fator dominante na escolha deste meio de produção.

Terminado o escaneamento, as imagens foram analisadas e tratadas (em parceria com a Clínica de Diagnóstico por Imagem) e em seguida enviadas para o INT de forma que pudessem ser construídas pela Viper Si2 por estereolitografia, em gesso.

Este caso não foi um caso isolado. A construção do crânio de Luzia, mulher que viveu há aproximadamente 10 mil anos, nos arredores de Belo Horizonte, (em exposição no museu nacional) também foi um caso onde o INT fez uso da prototipagem rápida em um projeto [43]. Foram relatados diversos casos, os quais podemos presenciar alguns protótipos abaixo.



Figura 30 – Protótipos construídos pelas máquinas no INT

O INT tem focado bastante sua produtividade na area biomédica (fetos e partes do corpo humano) , apesar disso nenhum caso relatado teve utilização de tecidos biológicos para implante direto. Faz-se também geração de peças customizadas de geometria complexa e criação de modelos multimaterial conforme demanda (na foto acima construiu-se um modelo de formação rochosa submarina a partir de dados fornecidos pela Petrobrás).

As peças desenvolvidas no INT ainda tem um cunho muito teórico, tendo alguns campos de aplicação , como relatado acima. Porém apesar do desenvolvimento, pouco foram os casos não relacionados à fabricação de peças para ornamentação. Todos em geral com tiragem curta e sem o intuito de ser algo durável.

7. CONCLUSÃO

Ao final de pesquisa em sites das maiores empresas fabricantes especializados (3D Systems, Stratasys, Objet, dentre outros), assim como em exemplares da revista *Industrie et Technologie*, percebe-se que as empresas não estão extremamente dispostas a gastar tempo, dinheiro e energia em uma nova tecnologia de prototipagem rápida, salvo esta nova tecnologia seja muito revolucionária e viável. Baseando-se nesta pesquisa e nos dados levantados das base de dados espera-se que num horizonte a curto prazo, as empresas foquem seus esforços na melhoria de materiais, tanto na parte de resistência como reduzir o dano causado à operadores e danos atrelados ao descarte da matéria prima e protótipo no meio ambiente. Redução do tempo de construção, redução do custo de construção de peças, além da redução da intervenção do homem durante o processo de construção e redução da necessidade de tratamento da peça após sua construção. Um grande objetivo também aparente é o de tornar o prototipo uma peça pronta para uso, sendo essa feita com o material final desejado.

Espera-se que estes esforços sejam focados em três tecnologias. A sinterização a laser, a impressão 3D e a estereolitografia. Chega-se a tal conclusão pela convergência de respostas compatíveis (após filtragem), geradas pela pesquisa nas base de dados e pelo grande numero de citações que essas três tecnologias recebem ao se pesquisar sobre as últimas tendências em prototipagem rápida. Aqui se levantou apenas aspectos de quantidade de patentes, não se estudando viabilidade financeira. Essa escolha poderia ser explicada em parte por alguns aspectos de suas respectivas características. A reutilização de pós, por exemplo diminui o gasto de matéria prima, ajudando numa redução de custo e menos demanda desta matéria, tornando tal consumo mais consciente. Este aspecto é um grande ponto a favor da produção por sinterização à laser e impressão 3D.

A utilização de resina fotosensível é altamente utilizada hoje em dia para a área odontológica assim como para algumas áreas médicas, apesar de tóxica ao manipulador, não é ao consumidor final, não causando maiores prejuízos ao cliente. Além disso este material é respaldado pela técnica mais antiga de todas. A estereolitografia, que se mantém em alta, em grande parte, pelo fato de ser a tecnologia mais conhecida e mais utilizada até hoje.

Os aspectos citados acima são dois dentre muitos que pesam a favor para estas técnicas. Não se aprofundará aqui o porquê desta escolha.

Sugere-se que novas pesquisas nesta área busquem mais a fundo sobre as técnicas aqui citadas, tanto as validadas quanto às descartadas. Essas técnicas podem vir a surpreender devido, principalmente, ao fator aqui suprimido, que é a viabilidade financeira. Um cruzamento de técnicas futuramente viáveis, com tais dados já coletados pode vir a trazer resultados ainda mais próximos da realidade que está por vir.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - Carvalho, J., "Conceitos Básicos em Prototipagem Rápida". Disponível em: http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/prototipagem.html. Acesso em: 15/05/2013.
- [2] - "An Introduction to Rapid Prototyping". Disponível em: http://www.efunda.com/processes/rapid_prototyping/intro.cfm. Acesso em: 15/05/2013
- [3] - Volpato, N., *et al*, 2007, *Prototipagem Rápida – Tecnologias e Aplicações*. 1 ed. São Paulo, Edgard Blucher.
- [4] - Vashishtha, V.K., Makade, R., Mehla, N., "ADVANCEMENT OF RAPID PROTOTYPING IN AEROSPACE INDUSTRY -A REVIEW", *International Journal of Engineering Science and Technology*, v.3, n.3, pp. 2486-2493, Março 2011. Disponível em: <http://www.ijest.info/docs/IJEST11-03-03-232.pdf>. Acesso em: 29/03/2013.
- [5] - Milovanović, J., Trajanović, M., "MEDICAL APPLICATIONS OF RAPID PROTOTYPING", *Mechanical Engineering Series*, v. 5, n.1, pp.79-85, Junho 2007. Disponível em: <http://facta.junis.ni.ac.rs/me/me2007/me2007-08.pdf>. Acesso em: 29/03/2013.
- [6] - Alves, F., J., L., Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~falves/cranio2.jpg>. Acesso em: 30/05/2013
- [7]-Disponível em: http://img.alibaba.com/photo/703569741/large_scale_models_rapid_prototyping_car_part_dashboard_model.jpg. Acesso em: 30/05/2013.
- [8]- Disponível em: http://www.ita.br/online/2005/noticias05/inaugprototipagemccm_arquivos/image002.jpg. Acesso em: 30/05/2013
- [9] - Gibson, I., Rosen, D.W., Stucker, B. 2010, *Additive Manufacturing Technologies – Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. 1 ed. New York, Springer.
- [10] - PAL, D.K., Bhargava, L.S., Ravi, B., *et al*, "Computer-aided Reverse Engineering for Rapid Replacement of Parts", *Defence Science Journal*, v.56, n.2, pp. 225-238, Abril 2006.
- [11] - Boboulos, M., A., 2010, *CAD - CAM & Rapid Prototyping Application Evaluation*. 1 ed. FREDERIKSBERG, Ventus Publishing APS. Disponível em www.Bookboon.com Acesso em: 10/03/2013.

[12] – Dubois, P., Auoussat,A.,Duchamp,R.,2007, *Techniques de l'ingenieur*. 1ed. Paris, Groupe Weka.

[13] – Disponível em:

<http://www.br.comsol.com/shared/images/products/news43/stl.png>. Acesso em: 30/05/2013.

[14]- Disponível em: <http://www.rb.org.br/imagens/v41n113f4.jpg> Acesso em: 30/06/2013

[15] – “Top 5 Design Tips for Making Rapid Prototyping CAD”. Disponível em : <http://rapidprototyping.blog.quickparts.com/2011/09/28/top-5-design-tips-for-making-rapid-prototyping-cad-files/>. Acesso em: 11/03/2013

[16] – “Moldes de Injeção Plásticos”. Disponível em:

<http://www.moldesinjecao plasticos.com.br/imagens/prototipagem/02.jpg> . Acesso em: 30/05/2013

[17]- “Cimject”. Disponível em:

http://www.cimject.ufsc.br/knowledge/imagens/estereo_basico.gif .Acesso em : 20/03/2013

[18]- Disponível em:

<http://site.designoteca.com/wp-content/uploads/Form-1-3d-printer.jpeg> Acesso em:30/05/2013

[19] - “ Rapid Prototyping” Disponível em:

http://www.factoryoffactories.com/fof_br/rapidprotot_br.htm . Acesso em: 15/02/2013.

[20] - “RapidPrototypingSGC”. Disponível em :

http://www.efunda.com/processes/rapid_prototyping/sgc.cfm. Acesso em: 10/02/2013

[21] – Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/File:FDM_by_Zureks.png .Acesso em:22/03/2013

[22]-“Factory of Factories” Disponível em:

<http://www.factoryoffactories.com/Images/icons/llmrte.jpg> . Acesso em: 15/03/2013

[23] - “SelectiveLaserSintering”. Disponível em:

<http://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering> . Acesso em : 23/03/2013.

[24]- Disponível em: http://1.bp.blogspot.com/-mssiig1vKSg/UH_tLAzI49I/AAAAAAAAADIg/XERTLdhkr7g/s1600/impresao3D_howItWork.jpg .

Acesso: 24/03/2013

- [25]- Disponível em: <http://www.robtec.com/prototipagem.html> .Acesso em: 23/03/2013.
- [26] – “Rapid Tooling” Disponível em :
<http://www.factoryoffactories.com/rapidtool.htm> . Acesso em: 15/02/2013.
- [27]- Disponível em:
http://img.alibaba.com/photo/722470176/vacuum_casting_rapid_tooling_rapid_manufaturing_plastic_mockup_short_run.jpg . Acesso em: 30/03/2013
- [28] – “Industrie & Technologie”, n.952, Março 2013.
- [29] - Adaptado da tese de doutorado que o prof. Naveiro passou. **Fernando Labouriau**
- [30] – Jagher, T., “BUSCA EM BANCO DE DADOS DE PATENTES”, *Agência de Inovação / UTFPR* . Disponível em:
<http://www.utfpr.edu.br/medianeira/estrutura/diretorias/direc/downloads/PROCEDIMENTOPARAPESQUISAUMAPATENTE.pdf> .Acesso em: 28/03/2013.
- [31] - Coelho, G., M., “PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA: METODOLOGIAS E EXPERIÊNCIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS”, *Projeto CTPETRO / INT*, Janeiro 2003 . Disponível em: http://www.davi.ws/prospeccao_tecnologica.pdf .Acesso em: 13/08/2013.
- [32] – Kupfer, D., Tigre, P., “MODELO SENAI DE PROSPECÇÃO: DOCUMENTO METODOLÓGICO”. *OIT/CINTERFOR*, Montevideo, Junho 2004. Disponível em:
http://www.ie.ufrj.br/gic/pdfs/modelo_senai_de_prospeccao_cap2.pdf . Acesso em: 13/08/2013.
- [33] - Zanusso, M., “DATA MINING”. Disponível em:
http://www.dct.ufms.br/~mzanusso/Data_Mining.htm . Acesso em: 13/08/2013.
- [34] - “O QUE É DATA MINING”. Disponível em:
<http://www.alvoconhecimento.com.br/2008/04/saiba-o-que-e-data-mining/> .Acesso em: 13/08/2013.
- [35] – “ Base de dados USPTO” . Disponível em : <http://www.uspto.gov/> . Acesso em: 30/03/2013.
- [36] – “Base de dados ESPACENET”. Disponível em:
<http://www.epo.org/searching/free/espacenet.html> . Acesso em: 10/04/2013.
- [37] – Karin, J., “The Future of 3D Printing” Julho 2004. Disponível em:
<http://thefutureofthings.com/articles/11106/the-future-of-3d-printing.html> . Acesso em : 18/03/2013

- [38] –Andersson, C., “Innovations in Rapid Prototyping and Additive Manufacturing”, *European Medical Device Technology*, v.3, n.1, Fevereiro 2012. Disponível em: <http://www.emdt.co.uk/article/innovations-rapid-prototyping-and-additive-manufacturing> . Acesso em: 20/04/2013.
- [39] – “Dr. Ofer Shochet, Objet’s Executive VP to Reveal New Trends for Rapid Prototyping at 3DSUG Conference”. Disponível em: <http://www.prototypetoday.com/objet/dr-ofer-shochet-objets-executive-vp-to-reveal-new-trends-for-rapid-prototyping-at-3dsug-conference> . Acesso em:15/05/2013
- [40] – “Impressora 3D cria objetos feitos de açúcar para enfeitar bolos”. Disponível em: <http://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2013/05/impressora-3d-cria-objetos-feitos-de-acucar-para-enfeitar-bolos.html> . Acesso em:22/05/2013
- [41] – “Historico : Instituto Nacional de Tecnologia” . Disponível em: <http://www.int.gov.br/historico> . Acesso em: 17/06/2013
- [42] – “Estrutura Organizacional do Instituto Nacional de Tecnologia”. Disponível em: <http://www.int.gov.br/informacoes-institucionais/estrutura-organizacional> . Acesso em: 17/06/2013
- [43] – MOTTA , D., “Reconstruindo a história”, *Rio Pesquisa*, n.6, pp. 18-20, Março 2009.

