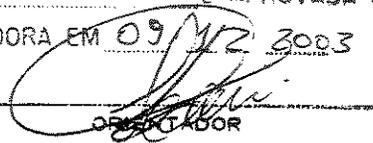


TESE DEFENDIDA POR Carlos Eduardo
Saura E APROVADA PE
COMISSÃO JULGADORA EM 09/12/2003


ORIENTADOR

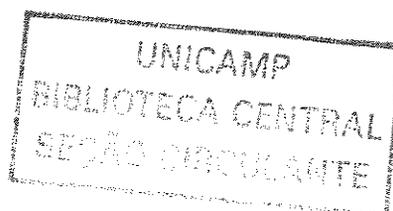
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Aplicação da Prototipagem Rápida na Melhoria do Processo de Desenvolvimento de Produtos em Pequenas e Médias Empresas

2200408743

Autor: Carlos Eduardo Saura
Orientador: Prof^o Dr. Franco Giuseppe Dedini

12/03



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO**

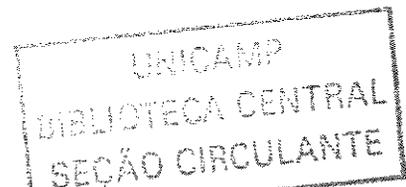
Aplicação da Prototipagem Rápida na Melhoria do Processo de Desenvolvimento de Produtos em Pequenas e Médias Empresas

**Autor: Carlos Eduardo Saura
Orientador: Prof^o Dr. Franco Giuseppe Dedini**

**Curso: Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos e Projeto Mecânico**

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campinas, 2003
S.P. – Brasil



| | |
|------------|-------------------------------------|
| UNIDADE | PC |
| Nº CHAMADA | T/UNICAMP Sa87a |
| V | EX |
| TOMBO BCI | 58536 |
| PROC. | 16. J17.04 |
| C | <input type="checkbox"/> |
| D | <input checked="" type="checkbox"/> |
| PREÇO | 11,00 |
| DATA | 29:06:04 |
| Nº CPD | |

CM00198061-9

BIB ID 317221

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Sa87a

Saura, Carlos Eduardo

Aplicação da prototipagem rápida na melhoria do processo de desenvolvimento de produtos em pequenas e médias empresas / Carlos Eduardo Saura. --Campinas, SP: [s.n.], 2003.

Orientador: Franco Giuseppe Dedini.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Processos de fabricação. 2. Inovações tecnológicas. 3. Prototipagem rápida. 4. Produtividade industrial. 5. Produtos novos. I. Dedini, Franco Giuseppe. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO**

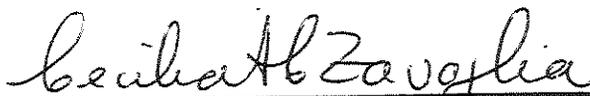
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

**Aplicação da Prototipagem Rápida na
Melhoria do Processo de Desenvolvimento de
Produtos em Pequenas e Médias Empresas**

Autor: Carlos Eduardo Saura
Orientador: Prof^o Dr. Franco Giuseppe Dedini



Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini, Presidente
Faculdade Engenharia Mecânica - UNICAMP



Prof. Dra. Cecilia Amélia de Carvalho Zavaglia
Faculdade Engenharia Mecânica - UNICAMP



Prof. Dr. Jonas de Carvalho
Escola de Engenharia de São Carlos - USP

Campinas, 09 de dezembro de 2003

Dedicatória:

Dedico este trabalho a todos que mesmo não podendo estar mais conosco estarão vibrando por esta conquista onde estiverem; assim como a todos que sempre confiaram e sabem, como eu, que este não é o fim de um ciclo e sim o começo de muitos outros.

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ser concluído sem a ajuda de diversas pessoas, às quais presto minhas homenagens, como:

Minha esposa e filhos, pelo apoio incondicional mesmo nos piores momentos;

Meu orientador, pela confiança em meu trabalho;

E especialmente ao Centro de Pesquisas Renato Archer (CenPRA), nas pessoas de seus dirigentes e de meus companheiros de trabalho, pelo suporte e incentivos recebidos.

"A descoberta consiste em ver o que todo mundo viu e pensar o que ninguém pensou." – (Albert Szent-Gyorgyi – 1893 a 1986)

Resumo

SAURA, Carlos Eduardo, *Aplicação da Prototipagem Rápida na Melhoria do Processo de Desenvolvimento de Produtos em Pequenas e Médias Empresas*,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003. 105p. Dissertação (Mestrado)

Esta dissertação baseia-se em dois princípios, um tecnológico representado pela Prototipagem Rápida (PR) e outro metodológico que é o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) apoiado por uma Cadeia de Desenvolvimento de Produto (CDP). Ele busca comprovar que a PR traz benefícios no PDP às pequenas e médias empresas, participantes ou não de CDP's, tais como: rapidez, qualidade e menor custo de desenvolvimento. Ele exemplifica como o poder inovador das pequenas e médias empresas pode ser apoiado e impulsionado pelo uso de Prototipagem Rápida, uso este que se denota como um elemento determinante para o sucesso do desenvolvimento de novos produtos ou revitalização de antigos.

Este trabalho também comprova que para se atingir estes benefícios existe a necessidade de equipamentos e matérias-primas com menor custo no mercado nacional propiciando um maior acesso a essa tecnologia. Demonstrando portanto que uma oferta tanto de prestação de serviços ou até mesmo de equipamentos de Prototipagem Rápida no mercado nacional com qualidade e baixo custo, será um importante elemento para auxiliar esse mercado a trilhar um caminho de auto-suficiência, competência e competição no desenvolvimento de produtos.

Palavras Chave

- Projeto, prototipagem rápida, produto, desenvolvimento.

Abstract

SAURA, Carlos Eduardo, *Aplicação da Prototipagem Rápida na Melhoria do Processo de Desenvolvimento de Produtos em Pequenas e Médias Empresas*,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003. 105p. Dissertação (Mestrado)

This dissertation is based on two principles, a technological represented by Rapid Prototyping and another one methodological that is Product Development Process supported by a Product Development Chain. It is search to prove that the Rapid Prototyping brings benefits in the Product Development Process for small and medium size companies, participants or not of Product Development Chain, such as: rapidity, quality and minor development cost. It exemplify how the innovative power of small companies can be supported and be stimulated by the use of Rapid Prototyping, use that denotes as a determinative element for the success of new products development or revitalization of old one.

This work also proves that to reach these benefits the necessity of equipment and raw material with lesser cost in the national market exists propitiating a bigger access to this technology. Demonstrating therefore that it in such a way offers of equipment or rendering of services even though of Rapid Prototyping in the national market with quality and low cost, it will be an important element to assist this market to tread a way of self-sufficiency, ability and competition in the products development.

Key Words

- Design, rapid prototyping, product, development.

Índice

| | |
|---|-----|
| Lista de Figuras | iii |
| Lista de Tabelas | vi |
| Nomenclatura | vii |
| 1 Introdução | 1 |
| 2 Revisão da Literatura | 8 |
| 2.1 Prototipagem Rápida | 8 |
| 2.1.1 História da Tecnologia de Prototipagem Rápida | 12 |
| 2.1.2 Processos de Prototipagem Rápida mais Utilizados | 24 |
| 2.2 Cadeias de Desenvolvimento de Produtos | 37 |
| 3 Aplicações da Prototipagem Rápida em Pequenas e Médias Empresas | 46 |
| 3.1 Aplicações iniciais | 46 |
| 3.2 Iniciando das Atividades de PR no CenPRA | 52 |
| 3.3 Processo de Elaboração de Protótipos | 57 |
| 3.4 Pequenas Empresas, Grandes Inovadoras de Produtos | 65 |
| 3.5 Pequenas e Médias Empresas Utilizando as Vantagens da PR | 71 |

| | |
|--|-----|
| 3.5.1 - Benefícios Gerais da PR | 72 |
| 3.5.2 - Benefícios de PR em Projeto de Produtos | 72 |
| 3.5.3 - Benefícios de PR em Projeto de Ferramental/Manufatura | 73 |
| 3.5.4 - Benefícios de PR indiretos ao Marketing | 73 |
| 3.5.5 – Cautelas no uso de PR | 73 |
| 3.5.6 - Tecnologia de prototipagem | 74 |
| 3.5.7 – Processos de Produção de Lotes Limitados de Peças/Protótipos | 74 |
| 3.5.8 - Aplicações Possíveis de PR | 76 |
| 3.5.9 - Orientação aos usuários da tecnologia de PR | 77 |
| 4 Análise sobre Perfil de Empresas Usuárias de Prototipagem Rápida | 79 |
| 5 Conclusões e Plano Futuros | 90 |
| Referências Bibliográficas | 93 |
| Anexo A | 98 |
| Anexo B | 100 |

Lista de Figuras

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Patente sobre método de criação de mapas topográficos tridimensionais | 12 |
| 2.2 | Molde de folhas empilhadas por DiMatteo (1974) | 13 |
| 2.3 | O almirante Farragut posa, em 1860, para uma fotoescultura (Bogart 1979; cortesia da foto da casa de George Eastman) | 14 |
| 2.4 | Estúdio de fotoescultura de François Willème em Paris, aproximadamente em 1870 (Bogart 1979; cortesia da foto da casa de George Eastman) | 15 |
| 2.5 | Patente de processo fotográfico usado na reprodução de objetos tridimensionais | 16 |
| 2.6 | Processo para manufaturar um relevo feito por Morioka (Morioka 1935, 1944) | 16 |
| 2.7 | Patente sobre processo primordial de Estereolitografia | 17 |
| 2.8 | Fotoescultura trabalha usando feixes de laser que se cruzam, por Swainson (1977) | 18 |
| 2.9 | Processo pó/laser proposto por Ciraud (1972) | 19 |
| 2.10 | Os diagramas esquemáticos de três sistemas baseados em fotopolímeros, estudados por Kodama (1981). | 20 |
| 2.11 | Processo, baseado em fotopolímero, de Herbert (1982) | 21 |
| 2.12 | Imagem esquemática do método de Estereolitografia (INT) | 25 |
| 2.13 | Foto de protótipos elaborados em Estereolitografia e foto do equipamento correspondente da empresa 3D Systems | 26 |

| | | |
|------|--|----|
| 2.14 | Processo Deposição de Material Fundido - FDM (INT) e foto da matéria prima filamentos de plástico utilizado nesse processo | 26 |
| 2.15 | Equipamento para Processo Deposição de Material Fundido (FDM) e foto de protótipo elaborado por esse processo | 27 |
| 2.16 | Esquemático do Processo de Sinterização Seletiva a Laser – SLS (INT) | 28 |
| 2.17 | Imagem do Processo SLS, cortesia 3D Systems | 28 |
| 2.18 | Imagens do processo SLS no Centro de Pesquisas Renato Archer | 30 |
| 2.19 | Seqüência e Detalhes do Processo de Impressão Tridimensional (ZCorp) | 31 |
| 2.20 | Foto de protótipos do Processo de Impressão Tridimensional (3D Printer) | 32 |
| 2.21 | – O avanço de vendas de Equipamento de PR no mundo | 34 |
| 2.22 | A Roda da PR retrata os quatro mais importantes aspectos da Prototipagem Rápida (C.K. Chau e K.F. Leong, 2003) | 35 |
| 2.23 | Gráfico da distribuição de equipamento PR no mundo – Wohlers Associates | 36 |
| 2.24 | Gráfico sobre o custo de alteração de projeto ao longo de ciclo de desenvolvimento do produto (Wohlers, 1998) | 38 |
| 2.25 | Quadro de explanação sobre visão holística | 39 |
| 2.26 | Gráfico sobre a Cadeia de Desenvolvimento de Produtos (CDP) | 41 |
| 2.27 | Gráfico comparativo sobre a localização da responsabilidade do tipo de peça no contexto do projeto | 43 |
| 3.1 | Dados técnicos do equipamento de prototipagem rápida adquirido pelo CenPRA | 51 |
| 3.2 | Gráfico sobre a evolução do Processo de Desenvolvimento de Produtos | 53 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.3 | Possibilidades de aplicação da PR | 56 |
| 3.4 | Ambientes de trabalho em Sistemas CAD | 57 |
| 3.5 | Visualização de arquivos STL | 58 |
| 3.6 | Esquemático de transmissão de dados STL tridimensionais para execução de PR | 59 |
| 3.7 | Exemplo do programa Magics de checagem de arquivos STL | 61 |
| 3.8 | Exemplo de posicionamento de peças para execução de PR | 62 |
| 3.9 | Imagens de um equipamento (SLS) de PR e de fases do processo | 63 |
| 3.10 | Seqüência das etapas de pós-processo | 64 |
| 3.11 | Gráfico sobre a velocidade de comunicação da informação tridimensional | 71 |
| 3.12 | Gráfico sobre a o tipo de PR deve ser escolhida | 76 |
| 3.13 | Campos de aplicações da PR | 76 |
| 3.14 | Influência do protótipo em atividade subseqüentes de DDP (Ulrich, K.T. e Eppinger, S.D, 1995) | 78 |
| 4.1 | Gráfico de análise sobre a principal atividade da empresa | 80 |
| 4.2 | Gráfico de análise sobre o porte da empresa | 81 |
| 4.3 | Gráfico de análise sobre setor empresarial de atuação | 82 |
| 4.4 | Gráfico de análise sobre maneira de desenvolvimento de produtos | 83 |
| 4.5 | Gráfico do desenvolvimento compartilhado por porte da empresa | 84 |
| 4.6 | Gráfico das principais aplicações de PR | 85 |
| 4.7 | Gráfico da freqüência de uso de PR | 86 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Analisa o desenvolvimento comercial de PR nos Estados Unidos de 1985 a 1995 | 22 |
| 2.2 | Analisa o desenvolvimento comercial de PR nos Europa e Japão de 1985 a 1995 | 23 |
| 2.3 | Comparativa entre as tecnologias de PR que considera a necessidades dos usuários de PR e traz um comparativo entre as principais tecnologias comerciais de PR. | 33 |
| 2.4 | Sobre a Tipologia dos Mecanismos de Coordenação Interorganizacional | 44 |
| 3.1 | Tabela comparativa das tecnologias de PR para seleção da mais adequada | 50 |
| 4.1 | Tabela sobre freqüência de uso de PR. | 87 |

Nomenclatura

Siglas

| | |
|-------------------|--|
| 2D | – Bidimensional |
| 3D | - Tridimensional |
| 3D Printer | - Impressora Tridimensional. |
| ABS | –Terpolímero composto de acrilonitrila, butadieno e estireno. |
| CAD | – Projeto auxiliado por computador (<i>Computer Aided Design</i>) |
| CAE | – Engenharia auxiliada por computador (<i>Computer Aided Engineering</i>) |
| CAM | – Manufatura Auxiliada por computador (<i>Computer Aided Manufacturing</i>) |
| CDP | - Cadeia de Desenvolvimento de Produtos. |
| CenPRA | - Centro de Pesquisa Renato Archer. |
| DDP | - Divisão para Desenvolvimento de Produtos. |
| FDM | - Modelagem por Deposição de Material Fundido. |
| IGES | - <i>Initial Graphics Exchange Specification</i> |
| MIT | - <i>Massachusetts Institute of Technology</i> |
| NSF | - National Science Foundation. |
| P&D | – Projeto e Desenvolvimento. |
| PDP | - Processo de Desenvolvimento de Produto (Product Development Process) |
| PR | - Prototipagem Rápida. |
| SLA | - Equipamento de estereolitografia (Stereolithograph Aparatus) |
| SLS | - Sinterização Seletiva a Laser. |
| STEP | - <i>Standard for the Exchange of Product Model Data.</i> |
| STL | - Arquivos de dados tridimensionais representados por superfícies triangulares |
| TI | – Tecnologia da informação |
| UV | - Ultravioleta |

Capítulo 1

Introdução

Nos dias atuais de mercado globalizado se exige cada vez mais dos produtos um maior grau de rapidez na evolução tecnológica, entrega constante de novas versões e atualizações estéticas. Isto faz com que o ciclo de vida dos produtos seja encurtado cada vez mais, tornando o desenvolvimento rápido e criterioso de produtos em um dos processos-chave para a competitividade das empresas.

Considera-se que o sucesso de um produto no mercado está ligado (na maioria das vezes) a um binômio que engloba velocidade e flexibilidade em termos de desenvolvimento de um novo produto, ou seja, prioritariamente na capacidade da empresa em desenvolver rapidamente produtos diversos com qualidade. Conseqüentemente essa velocidade e flexibilidade passam necessariamente pela eficiência e eficácia do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) praticado pela empresa.

Outro fator que atinge o PDP é que com o aumento das exigências de mercado e o desenvolvimento fabril, os produtos tornaram-se cada vez mais complexos tanto no se refere a forma como a quantidade de componentes. Isto impeliu, de forma contundente, as empresas a buscarem competências complementares fora do âmbito de seus quadros, criando um PDP

concorrente interno que se mescla com uma cadeia de pequenas e médias empresas responsáveis também por boa parte deste processo.

As empresas para acompanharem esta evolução, além de outras metodologias, lançaram mão do conceito de trabalho em Cadeias de Desenvolvimento de Produtos (CDP). A CDP é a definição para o relacionamento entre a empresa montadora do produto e os fornecedores das peças (Clark e Starkey, 1988), mais propriamente, com todas as atividades associadas ao desenvolvimento do produto sendo trazidas para a CDP.

De acordo com Carlisle e Parker (1989) “Os fornecedores devem ser envolvidos no Processo de Desenvolvimento de Produtos de maneira a otimizar seus processos e habilidades especiais”.

As empresas geralmente concordam que o envolvimento precoce do fornecedor no projeto proporciona um ambiente no qual os produtos componentes podem ser projetados separados e simultaneamente por diferentes fornecedores usando as experiências e habilidades de seus especialistas em projeto. Na verdade a CDP é um sistema através do qual cada organização desenvolve produtos e serviços para atender as exigências dos clientes (Poirier e Reiter, 1996).

Em alguns casos extremos pode-se constatar que a empresa comandante o processo de desenvolvimento é detentora apenas da patente do produto, ou seja, detentora da idéia-conceito e todo PDP é executado por uma CDP. Isto vem exigir de todos envolvidos um profundo senso de trabalho em grupo, muito mais do que quando o projeto é restrito às paredes de uma única empresa.

O processo de desenvolvimento na verdade origina atividades essencialmente interativas e necessariamente multidisciplinares. Estas atividades fazem com que uma grande quantidade de metodologias, sistemas, ferramentas e soluções desenvolvidas por profissionais e/ou empresas de diferentes áreas, que deveriam obrigatoriamente conversar entre si para que as diversas visões parciais sobre o processo de desenvolvimento de produtos pudessem ser compartilhadas por todos envolvidos.

Um fato reconhecido é que no processo de desenvolvimento de produto o grau de incertezas no início é bem elevado, diminuindo com o tempo, contudo é justamente na fase inicial que se determina a maior quantidade das soluções construtivas. É comprovado que o custo de modificação aumenta exponencialmente ao longo do ciclo de desenvolvimento, pois a cada alteração, um número maior de decisões já tomadas podem ser invalidadas, e os investimentos já efetuados podem ser totalmente inutilizados devido a uma mudança conceitual do projeto. O desafio então é conseguir gerenciar as incertezas e alternativas envolvidas num PDP nas fases iniciais onde as decisões de maior impacto são tomadas.

Ainda hoje profissionais de engenharia sofrem de falta de visão holística no desenvolvimento de produtos, ou seja, incapacidade da construção de uma imagem única e integrada do processo de desenvolvimento de produto. Na transposição para a prática estas visões desconectadas podem levar a muitos problemas, ineficiências e falhas de grande monta.

Este processo deve ser, portanto um todo integrado e dependente para um adequado resultado final, contudo esse processo concorrente e conjunto, sempre buscou um elo de comunicação entre as partes para transmissão de idéias e pareceres sobre o objeto em desenvolvimento.

Para essa integração e unificação de visões em torno do produto a ser desenvolvido, as antigas folhas de papel contendo a expressão bidimensional do que planejava-se produzir, já não bastavam, pois eram de interpretação demorada e dúbia.

Os modelos tridimensionais em CAD, que ganharam impulso nos anos 80 e se alastraram nos 90, traziam sim uma idéia muito melhor do produto era quase real, mas ainda faltava a sensação tátil, a pronta compreensão, a montagem física.

O Protótipo passa a trazer uma compreensão do objeto em desenvolvimento que pode ser democraticamente desfrutada por todos envolvidos, e sua vantagem básica, pois segundo Jacobs, P. (1992) é que “não existe maneira melhor de se certificar que uma peça complexa possui todas

as características desejadas do que segurá-la na mão, girá-la algumas vezes e olhá-la de todos os lados”.

Contudo o processo tradicional de prototipagem, já há muito tempo utilizado, com o objetivo de obter para fins visuais ou funcionais um primeiro modelo de um produto, é na maioria das vezes extremamente moroso.

Essa morosidade está ligada às técnicas que geralmente envolvem como referência do objeto a ser prototipado um desenho 2D e como mão-de-obra artesãos modeladores ou ferramenteiros, com técnicas tais como:

- Modelamento manual em argila;
- Escultura em madeira;
- Corte a fio de espuma e usinagem manual, tradicional ou em
- Usinagem CNC em vários tipos de materiais tais como madeira, plástico, espuma e etc..

Estas técnicas de prototipagem evoluíram ao longo de anos, e princípios utilizados nelas tais como a arte: da réplica, da escultura e da modelagem foram aproveitados para chegar às atuais tecnologias de obtenção de protótipos via sistemas computacionais automatizados. Esses sistemas embora possam ser definidos por várias nomenclaturas, tais como:

- Fabricação por camadas (*layer manufacturing*),
- Prototipagem rápida (*rapid prototyping*),
- Manufatura rápida (*rapid manufacturing*),
- Fabricação de formas livres (*solid freeform fabrication*),
- Manufatura de mesa (*desktop manufacturing*) e
- Impressão tridimensional (*tridimensional printing*).

Apresentam como termo mais difundido o de Prototipagem Rápida (PR) devido à primeira aplicação desta tecnologia, que se baseia em modelos CAD tridimensionais e possuem considerável velocidade de execução em comparação aos protótipos convencionais.

A PR tem demonstrado ao ser aplicada nas várias fases do PDP inúmeras vantagens e um enorme potencial. Os protótipos podem ser empregados para várias finalidades, entre as quais destacam-se(Chee-Kay, C. e Kah-Fai, 1998):

- Aprendizagem – os protótipos visam responder questões de projeto, funcionando como uma ferramenta de aprendizagem a cada iteração.
- Comunicação – os protótipos fazem o papel principal no compartilhamento de idéias, sendo usados para troca de informações entre os componentes das equipes de desenvolvimento.
- Integração – os protótipos promovem e melhoram a integração multicultural e multifuncional entre os membros de uma organização e/ou de organizações diversas, por atuarem como um meio de comunicação e entendimento comum.
- Marco de Projeto – os protótipos podem ser usados como marcos no PDP, ao estabelecerem objetivos a serem alcançados, possibilitam demonstrar o progresso e reforçam fases do cronograma do PDP.

A tecnologia de PR, pode ser definida como tendo dois estágios de execução distintos:

- Estágio Virtual: corresponde basicamente aos preparativos realizados no modelo tridimensional em CAD e o tratamento computacional deste modelo para ser construído em um determinado equipamento de PR. Assim, inicialmente um modelo computacional é criado levando-se em conta a peça desejada e suas diversas características como: forma, tamanho, material e especificações de funcionalidade e desempenho. Uma vez o modelo gerado ele é geralmente gravado no formato STL (formato padrão para equipamento de PR que redesenha o modelo nas suas diversas superfícies representando-as como triângulos), o software fica encarregado de tratá-lo de forma a traduzir as principais necessidades que a máquina e o processo exigem, correspondendo basicamente à visualização da peça, otimização de direcionamento e alinhamento para produção e ao “fatiamento” do desenho nas diversas camadas (princípio da PR).

Uma vez realizado este trabalho, os dados são então descarregados para a máquina que irá depositar as camadas (Estágio Físico) sucessivamente até que a peça seja gerada.

- Estágio Físico: tem seu início logo após o envio destas informações em formato STL para o equipamento. Na Prototipagem Rápida, a fabricação do modelo é feita por um processo aditivo, diferentemente das máquinas ferramenta que executam processos subtrativos. Desta forma, com mínima intervenção manual, um equipamento especializado recebe os dados gerados pelo CAD, dá início ao processo de construção da peça construindo uma camada (divido pelo sistema de PR em secções transversais) após a outra até a completa formação do objeto. Uma vez terminado o processo, a peça final é então retirada da máquina, passando por um processo de limpeza para retirada de material que possa eventualmente ter ficado preso em alguma parte da peça, podendo também receber algum acabamento ou eventual tratamento final que se deseje, de acordo com as finalidades que se tenha de uso do protótipo (teste, exposição, visualização, etc).

A conceituação deste trabalho esta embasada, além da literatura habitualmente pesquisada, numa uma experiência pessoal de quatro anos junto a Divisão para Desenvolvimento de Produtos (DDP) do Centro de Pesquisa Renato Archer - CenPRA, órgão do Ministério de Ciência e Tecnologia (Campinas-S.P.). Esta Divisão possui um equipamento de PR baseado no processo de Sinterização Seletiva a Laser (SLS) e tem como objetivo difundir no mercado brasileiro esta tecnologia e seus benefícios através de uma prestação de serviços diferenciados por serem acrescidos de uma orientação ao cliente de quando e como estar empregando a PR no PDP.

O objetivo primordial deste trabalho, portanto, é comprovar que a PR traz incontestáveis benefícios ao PDP de pequenas e médias empresas, participantes ou não de CDP, tais como: rapidez, qualidade e menor custo de desenvolvimento. Comprovação essa corroborada por uma pesquisa especialmente executada junto a 50 empresas clientes do CenPRA, mais especificamente da DDP. Essa pesquisa procurou de maneira sucinta mapear percentualmente no universo analisado, as seguintes características:

- o porte das empresas atendidas;
- suas áreas de atuação;

- métodos de desenvolvimento de produtos;
- uso de PR;
- frequência de execução de PR;
- e a opinião de cada uma das empresas sobre a importância de PR.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica com os principais trabalhos que fornecem uma visão do estado da arte em PR, e da evolução histórica e conceitual da tecnologia e dos equipamentos comercial.

No Capítulo 3, estão caracterizadas as aplicações da PR no processo de desenvolvimento de produtos nas pequenas e médias empresas no âmbito nacional.

O Capítulo 4 traz uma análise sobre perfil das empresas usuárias de prototipagem rápida no Brasil tendo como meio de pesquisa as empresas clientes da Divisão de Desenvolvimentos de Produtos do Centro de Pesquisas Renato Archer prestadora de serviços na área de PR.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões e sugestões de planos futuros para uma mais efetiva utilização de PR no processo de desenvolvimento de produtos nas pequenas e médias empresas nacionais.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

A seguir uma conceituação mais aprofundada sobre PR e CDP, para compreender-se melhor a interação entre ambas.

2.1 – Prototipagem Rápida

“Pro.tó.ti.po - s. m. Primeiro tipo; primeiro exemplar; modelo.”, Michaelis – Dicionário da Língua Portuguesa

O protótipo é uma parte essencial do ciclo de desenvolvimento de um produto, é utilizado para analisar a forma, montagem e funcionalidade do projeto antes que um investimento significativo em ferramental seja feito.

Define-se prototipagem como toda ação ou processo de obtenção de uma cópia de qualquer produto que se deseja fabricar, antes que este esteja efetivamente em produção, para fins de testes e/ou análises preliminares, denominando-se conseqüentemente este objeto obtido como protótipo. Para se ter o protótipo não importa os meios, podendo ser desde as mais peculiares formas de cópia, escultura, arte ou até qualquer eventual processo de geração de uma peça em três dimensões que corresponda a uma réplica com um mínimo de fidelidade do produto final desejado.

Contudo a prototipagem, até pouco tempo era uma atividade evitada por muitas empresas, as quais alegavam que a manufatura de protótipos demandava muito tempo e tinha custos elevados. Sob essas mesmas justificativas, na Europa os protótipos não eram usados até se chegar nos últimos estágios do PDP. A prática era fazer um protótipo completo somente antes da produção em série, negligenciando o real potencial de usá-los nas fases iniciais do PDP.

Evolutivamente o processo de desenvolvimento de protótipos passou por três fases:

- **Prototipagem Manual:** Começou há muitos séculos, mais ligadas a artesões que às construções técnicas, sendo extremamente trabalhosas e muito demoradas. Contudo resiste até hoje em algumas empresas para determinadas aplicações.
- **Prototipagem Virtual (ou *Soft Prototyping*):** Principia nos anos 80, com o aumento gradual da aplicação de CAD/CAE/CAM. Baseia-se no uso de um modelo computacional tridimensional que pode ser tensionado, testado, analisado e modificado como se fosse um protótipo físico. Neste período, também dobrou a complexidade dos protótipos. A partir desta fase, as máquinas CNC passam a serem usadas para reduzir o tempo de fabricação de protótipos físicos.
- **Prototipagem Rápida (PR):** Prototipagem Rápida é nome mais comum dado às tecnologias correlatas que são usadas para fabricar objetos físicos diretamente de um arquivo tridimensional produzidos em CAD.

Estes métodos são únicos e estão baseados no paradigma de adição e colagem de camada por camada até a formação dos objetos. Tais sistemas são também conhecidos pelos seguintes nomes genéricos:

- Prototipagem rápida (*rapid prototyping*),
- Fabricação de Forma Livre (*FFF – Freeform Fabrication*);
- Fabricação por camadas (*layer manufacturing*),
- Manufatura rápida (*rapid manufacturing*),
- Fabricação de formas livres (*solid freeform fabrication*),
- Manufatura de mesa (*desktop manufacturing*) e
- Impressão tridimensional (*tridimensional printing*).
- Fabricação de Forma Livre Sólida (*SFF – Solid Freeform Fabrication*);
- Fabricação aditiva;

Atualmente tecnologias aditivas oferecem vantagens em muitas aplicações quando comparada aos métodos clássicos de fabricação subtrativa como fresar e tornear, tais como:

- Objetos com qualquer complexidade geométrica podem ser formados sem precisar de ajustes elaborados de máquinas ou execução em partes para uma montagem posterior.
- Sistemas de PR reduzem a construção de objetos complexos a um processo gerenciável, direto e relativamente fácil.

Essas potencialidades têm resultado em um amplo uso desse processo pelos engenheiros como uma maneira de reduzir o tempo da colocação em produção e conseqüentemente de comercialização de um produto, pois ela pode ser usada para melhor compreender e comunicar o design do produto, como também para produzir ferramentas rápidas usadas para manufaturar estes produtos. Cirurgiões, arquitetos, artistas e profissionais de muitas outras disciplinas em vários países também têm cada vez mais usado de maneira rotineira esta tecnologia (Saura, C.E. et al., 1999).

Embora a PR não seja a solução para todo problema da fabricação de protótipos, ela oferece vantagens se a exigência envolver a produção de uma peça ou objeto da geometria moderadamente complexa, de forma rápida. Contudo, deve-se considerar que, ainda para construção de protótipos a tecnologia CNC é econômica, extensamente compreendida, disponível, e oferece excelente exatidão.

Em casos extremos, ou seja, de produtos muito complexos ou muito simples, é muito fácil se determinar que rota de tecnologia deve-se seguir, utilizar CNC ou PR. No entanto para muitos outros casos não tão extremos a linha de definição para seleção de tecnologias a ser usada não é tão clara, e move-se constantemente, dependendo do número de fatores variáveis e seus pesos no contexto do produto.

Em relação aos materiais usados em PR estes são limitados e dependente do método escolhido. Entretanto, a escala e as propriedades de materiais disponíveis estão crescendo rapidamente. Inúmeros materiais plásticos, cerâmicos, e metálicos que variam do aço inoxidável ao titânio estão se tornando disponíveis. De qualquer modo, inúmeros processos secundários estão disponíveis para converter o produto “bruto” do processo de Prototipagem Rápida em produtos finais ou em ferramentas de produção.

Na PR o processo completo de construção do protótipo, compõe-se de:

- Obtenção do modelo tridimensional em CAD através de uma modelação sólida ou de superfícies fechadas;
- Conversão do modelo CAD em arquivo padrão STL (*StereoLithography*);
- Verificação de erros tais como: erros de fechamento do modelo tridimensional, superfícies invertidas no arquivo STL e escolha da melhor orientação do objeto para construção de acordo com o método de PR a ser usado. Uma característica particular nesta fase consiste na verificação da necessidade ou não de construção de suportes, dependendo do método de PR. Toda esta análise geralmente é feita por software especializado no apoio a PR.

Uma vez com o arquivo STL devidamente caracterizado, o processo de fabricação tem início. Ele ocorre de forma automática, com mínima intervenção do técnico operador do equipamento de PR.

2.1.1 – História da Tecnologia de Prototipagem Rápida

A tecnologia de PR originou-se de duas áreas técnicas distintas: topografia e fotoescultura.

Em 1890 J.E. Blather (1892) sugeriu um método baseado em camadas para fazer um molde para mapas topográficos de relevos. O método consistia em imprimir linhas topográficas do contorno em uma série de placas de cera, cortar estas placas da cera nas linhas de contorno, e então empilhá-las e alisar as seções em cera. Isto produziu superfícies tridimensionais positivas e negativas que correspondiam ao terreno indicado pelas linhas do contorno. Após a aplicação do revestimento protetor apropriado nestas superfícies, um mapa de papel impresso é pressionado então entre as formas positiva e a negativa para criar um mapa com relevo elevado. Como mostrado na figura 2.1.

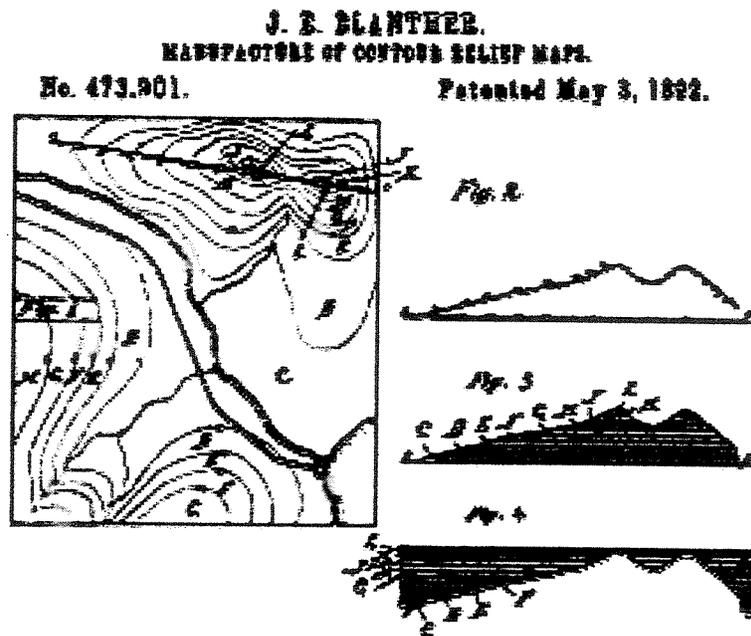


Figura 2.1 – Patente sobre método de criação de mapas topográficos tridimensionais

Similarmente foi proposto por Perera (1940), um processo a partir de um mapa de relevo de onde foram sendo cortadas linhas de contorno em folhas de papel cartão que depois foram empilhadas e coladas sobrepostas para dar forma a um mapa tridimensional. Outros refinamentos adicionais desta aproximação foram feitos por Zang (1964), que sugeriu o uso de placas transparentes com o detalhe topográfico inscrito em cada placa, e também por Gaskin (1973), que descreveu um dispositivo tridimensional para ensino geológico. Em 1972, Matsubara da Mitsubishi Motor (1974) propôs um processo topográfico que usava materiais foto-enrígescíveis. Neste processo, uma resina foto-polimérica reveste partículas refratárias (por exemplo, pó ou areia da grafita), que então são espalhadas em uma camada e aquecidas. A luz (por exemplo, de uma lâmpada de vapor do mercúrio) seletivamente é projetada ou faz uma varredura nesta camada para endurecer uma parcela definida dela.

As finas camadas formadas desta maneira são empilhadas e subsequenteamente unidas umas as outras dando forma a um objeto. A porção não varrida pela luz, ou seja, a parcela não endurecida é dissolvida por um solvente para ser eliminada.

Em 1974, DiMatteo (1976) reconheceu que estas mesmas técnicas de empilhamento poderiam ser usadas para produzir superfícies que para serem fabricadas por operações de manufatura tradicionais eram particularmente complexas. Em uma incorporação (figura 2.2), aos perfis das folhas metálicas são criados por uma fresa de corte, estas folhas cortadas então são agregadas por adesão, parafusos, ou hastes. Este processo é obviamente similar ao do século XIX.

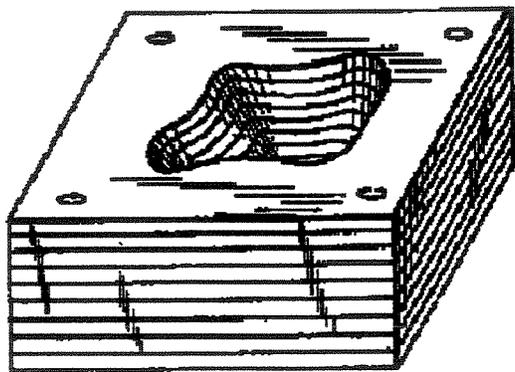


Figura 2.2 - Molde de folhas empilhadas por DiMatteo (1974).

Em 1979, o professor Nakagawa da universidade de Tokyo começou a usar técnicas da laminação para produzir ferramentas reais tais como cavidades (Nakagawa et al. 1979), ferramentas de estampagem (Kunieda e Nakagawa, 1984), e ferramentas do molde de injeção (Nakagawa, Kunieda, e Liu, 1985). Nakagawa menciona a possibilidade de canais de refrigeração complexos em moldes da injeção (Nakagawa, Kunieda, e do Liu, 1985).

Já a fotoescultura surgiu no século 19 na tentativa de criar replicas tridimensionais exatas dos objetos, inclusive de formas humanas (Bogart, 1979).

Uma realização razoavelmente bem sucedida desta tecnologia foi projetada por Frenchman François Willème em 1860. Em seu método, mostrado na figura 2.3, uma pessoa ou o objeto é colocado em um cômodo circular e fotografado simultaneamente por 24 câmeras colocadas eqüidistantemente acompanhando a circunferência do cômodo. A silhueta de cada fotografia é usada então por um artesão no estúdio de Willème (figura 2.4) para esculpir 1/24 da porção cilíndrica da figura.



Figura 2.3 - O almirante Farragut posa, em 1860, para uma fotoescultura (Bogart 1979; cortesia da foto da casa de George Eastman).

Uma tentativa para aliviar a etapa de intensivo trabalho que é a de esculpir da fotoescultura de Willème, Baese (1904) descreveu uma técnica usando uma luz graduada para expor uma gelatina fotossensível que se expande, na proporção da exposição sofrida à luz, quando tratado com água. Os anéis anulares da gelatina tratada são então fixados em uma sustentação para fazer uma replica de um objeto, como mostrado na figura 2.5.

Em um do trabalho o mais adiantado no Japão, Morioka (1935, 1944) desenvolveu um processo híbrido que combina aspectos do fotoescultura e da topografia. Este método de luz estruturada (faixas pretas e brancas da luz), como mostrada na figura 2.6, cria fotograficamente as linhas do contorno de um objeto. As linhas podem então ser desenvolvidas em folhas e serem cortadas e empilhado, ou projetado no material para que seja esculpido.

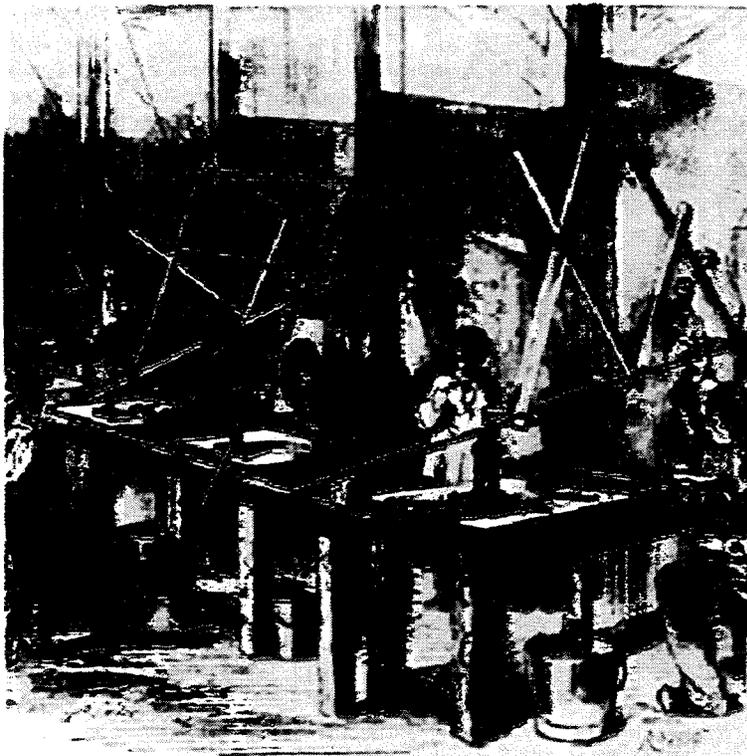


Figura 2.4 - Estúdio de fotoescultura de François Willème em Paris, aproximadamente em 1870 (Bogart 1979; cortesia da foto da casa de George Eastman).

No. 774,848.

PATENTED NOV. 8, 1904.

C. HASSÉ.

PHOTOGRAPHIC PROCESS FOR THE REPRODUCTION OF PLASTIC OBJECTS.

APPLICATION FILED MAY 22, 1903.

BY WHEEL.

J. HENRY—DESKER L.

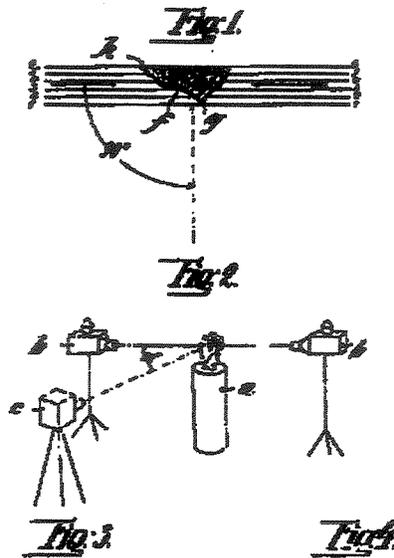


Figura 2.5 – Patente de processo fotográfico usado na reprodução de objetos tridimensionais

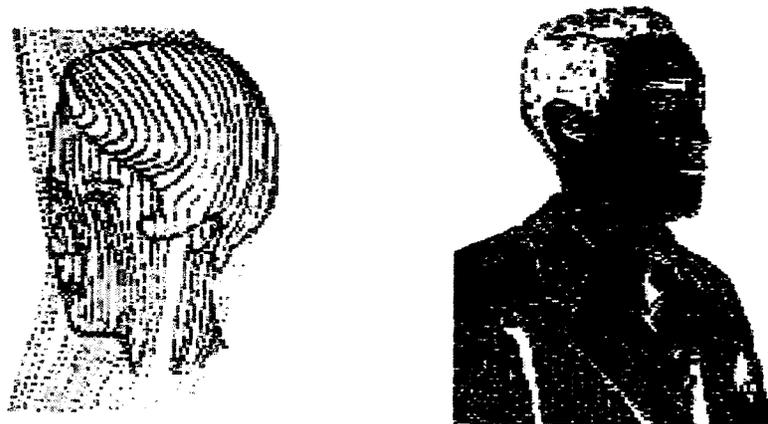


Fig 2.6 - Processo para manufaturar um relevo feito por Morioka (Morioka 1935, 1944).

Em 1951, Munz (1956) propôs um sistema que já possuía as características técnicas da atual Estereolitografia (figura 2.7). Divulgou um sistema que exposição seletiva de uma fotoemulsão transparente em forma de camadas, onde cada camada traz uma seção transversal de um objeto do qual foi feita uma varredura. Estas camadas são criadas abaixando um pistão em um cilindro e adicionando quantidades apropriadas desta fotoemulsão e de agente fixador. Após a exposição e fixação, o cilindro sólido transparente resultante contém uma imagem do objeto. Na seqüência este objeto pode ser manualmente esculpido ou fotoquimicamente corroído para criar um objeto tridimensional.

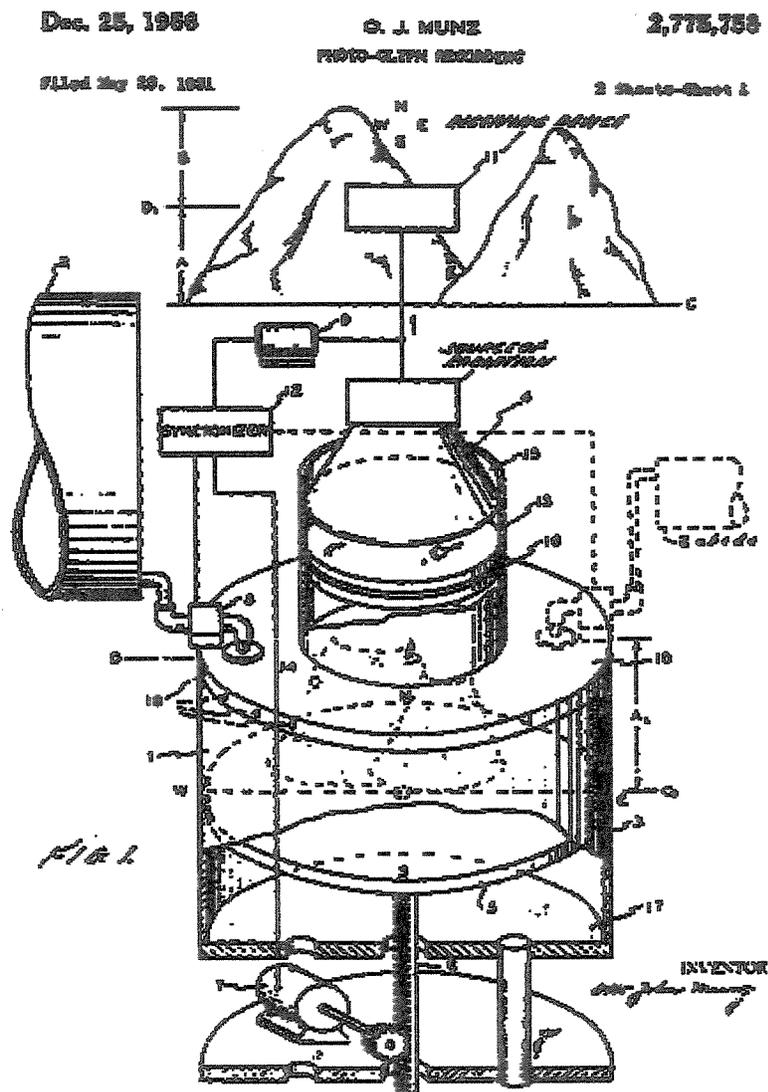


Figura 2.7 – Patente sobre processo primordial de Estereolitografia.

Em 1968, Swainson (1977) propôs um processo para fabricar diretamente um padrão plástico pela polimerização tridimensional seletiva de um polímero fotossensível, na interseção de dois feixes de laser. Um trabalho paralelo foi conduzido nos Laboratórios Battelle (Schwerzel 1984). As características essenciais deste processo, denominada de máquina fotoquímica, são descritas na figura 2.8. O objeto é formado por “colagem” fotoquímica ou degradando-se um polímero pela exposição simultânea a interseção de feixes de laser. Embora a estrutura do laboratório fosse construída para este processo, um processo comercialmente viável, esse intento aparentemente não foi conseguido.

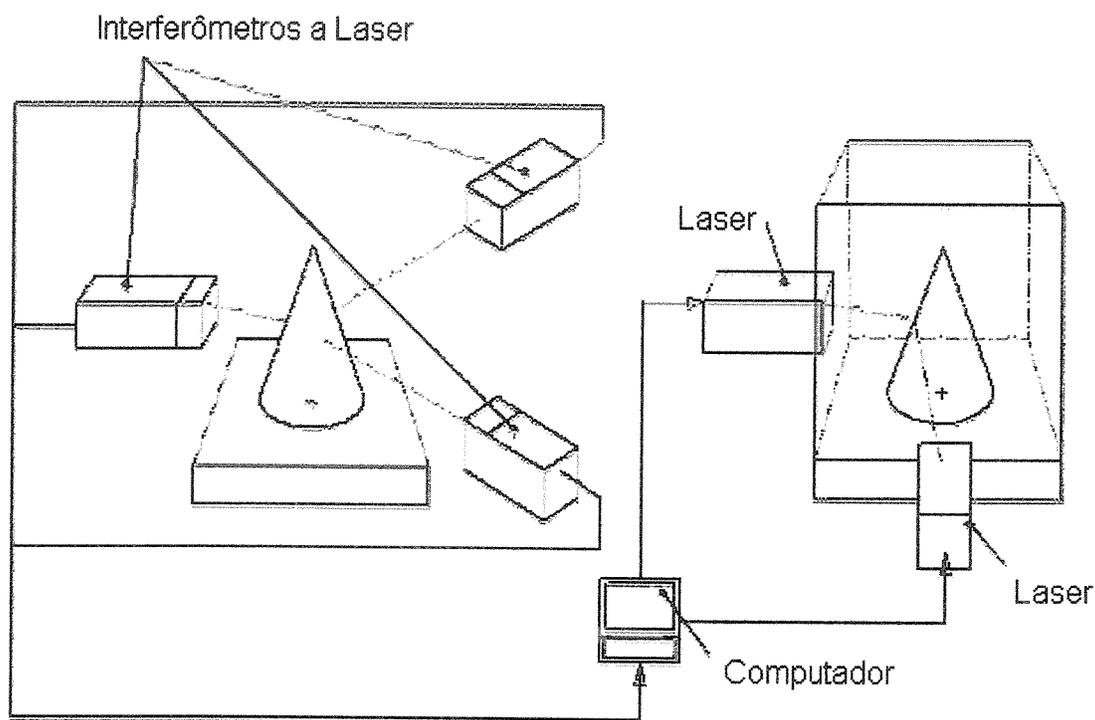


Figura 2.8 - Fotoescultura trabalha usando feixes de laser que se cruzam, por Swainson (1977).

Outro processo desenvolvido foi o baseado em pó, que tinha mais em comum com técnicas de sinterização superficial que com a fotoescultura, foi proposto em 1971 por Ciraud (1972). Esta descoberta descreve um processo para a manufatura dos objetos de uma variedade dos materiais que são ao menos parcialmente fundidos.

Então para se produzir um objeto, partículas pequenas são aplicadas a um contorno-matriz por: gravidade, estática magnética ou elétrica, ou posicionadas por um bocal situado perto do contorno-matriz. As partículas são então aquecidas localmente por: um laser, um feixe de elétron, ou um feixe do plasma. Em consequência do aquecimento, as partículas aderem-se para dar forma a uma camada contínua representando a seção transversal do objeto. Como a figura 2.9 mostra, mais de um feixe de laser pode ser usado a fim aumentar a força de união entre as partículas.

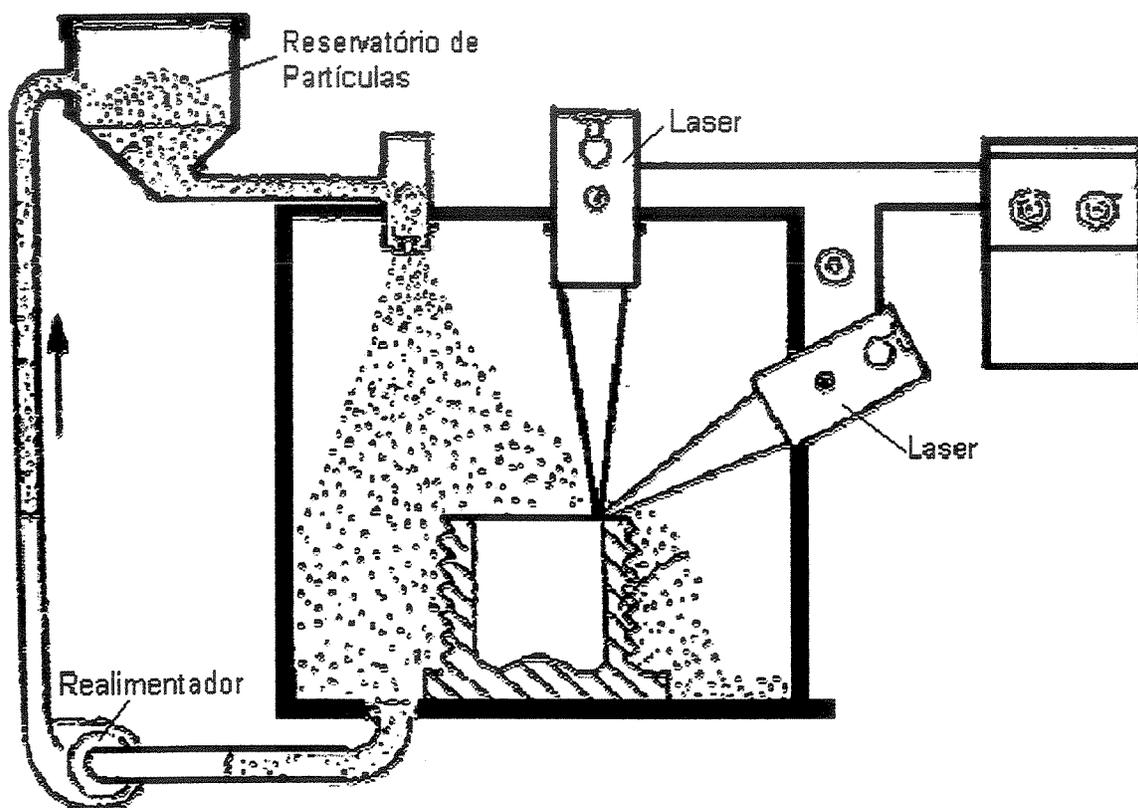
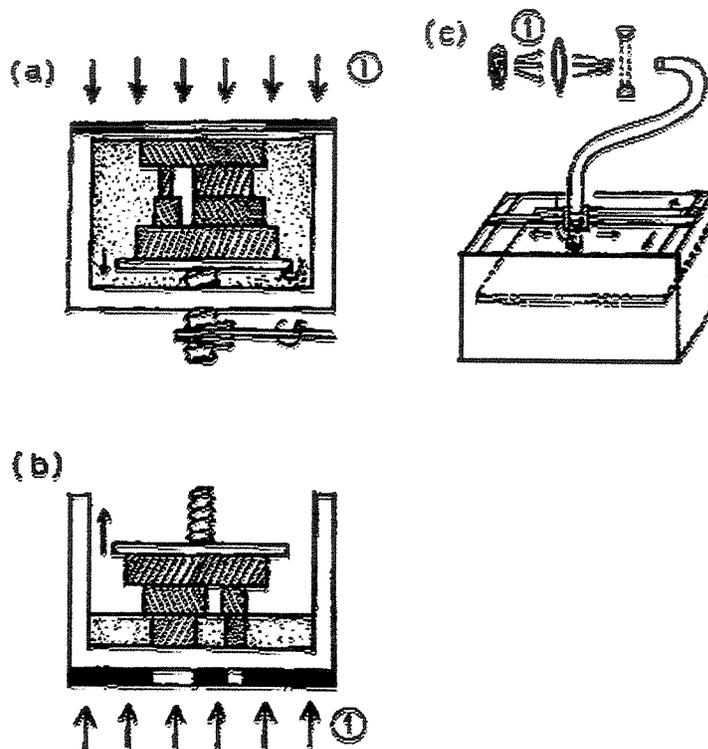


Figura 2.9 - Processo pó/laser proposto por Ciraud (1972).

Hideo Kodama do Instituto de Pesquisa Industrial Municipal de Nagoya foi o primeiro a publicar uma aplicação comercial funcional de um sistema de PR em fotopolímero (Kodama 1981).

Nesse método, um modelo sólido é fabricado construindo a peça por camadas, onde as áreas expostas correspondem a fatias do modelo. Ele estudou três métodos diferentes para conseguir isto, como pode ser visto na figura 2.10:



a.) Usa uma máscara que controla a exposição da fonte UV e imerge o modelo em uma cuba com fotopolímero líquido a fim criar as novas camadas.

b.) Usa uma máscara como em (1), mas tendo a máscara e a exposição no fundo da cuba e definindo o modelo para cima criando-o a cada nova camada.

c.) Imergir o modelo como em (1), mas usando um plotador x-y e uma fibra ótica para expor a nova camada

Figura 2.10 - Os diagramas esquemáticos de três sistemas baseados em fotopolímeros, estudados por Kodama (1981).

Um segundo esforço paralelo, mas independente, foi conduzido por Herbert na 3M Corporation (1982). Herbert descreve um sistema que dirige um feixe de laser UV a uma camada do fotopolímero por meio de um sistema de espelhos em um plotador x-y (figura 2.11). Na técnica experimental de Herbert, um computador é usado para comandar um feixe de laser através de uma camada, a cuba de fotopolímero é então abaixada (aproximadamente 1 milímetro), após isso um pouco mais do líquido fotopolimérico é adicionado para criar uma camada nova.

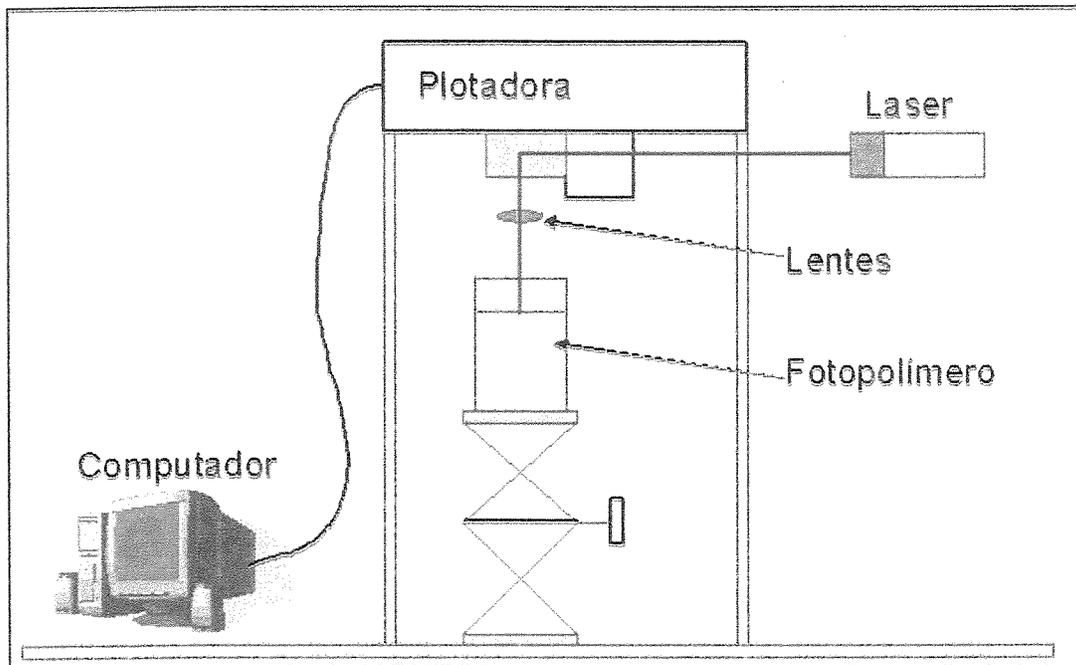


Figura 2.11 – Processo, baseado em fotopolímero de Herbert (1982).

Embora as peças muito complexas produzidas pelo equipamento PR sejam agora uma coisa comum, as primeiras peças produzidas por estes tipos de sistemas requereram bastante da fé em acreditar que melhorias ocorreriam para que se pudesse chegar a produzir objetos com fins comerciais com o grau de perfeição que se têm hoje.

Nos primeiros desenvolvimentos comerciais, o estúdio do fotoescultura de Willème foi comercialmente bem sucedido de 1861 a 1868, mas saiu abruptamente dos negócios, provavelmente devido à disponibilização ao mercado do trabalho de escultura manual com auxílio do instrumento denominado pantógrafo (traçador).

Após um abandono de cerca de um século a próxima tentativa comercial conhecida foi a de Swainson da Formagraphic Motor Company em 1977. A Formagraphic mais tarde deu forma a uma aliança com a empresa Battelle Laboratories e mudou seu nome para Omtec Replication. Parece que este esforço foi abandonado antes que qualquer processo comercial fosse desenvolvido. Também em 1977, DiMatteo deu início a uma companhia chamada Solid Photography que foi gerada a partir da Dynell Electronics Corporation, quando esta se fundiu com a empresa United Technologies. Em consequência, uma revenda chamada Sculpture by Solid Photography foi aberta na cidade de Nova York. Em 1981, a Solid Photography mudou seu nome para Robotic Vision. A Solid Photography e a companhia Solid Copier operaram como subsidiárias da Robotic Vision até 1989 (Lightman, 1996).

A PR seguiu linhas de desenvolvimento comercial distintas, nos Estados Unidos e outra englobando a Europa e o Japão, como pode ser visto nas tabelas 2.1 e 2.2.

Tabelas 2.1 – Analisa o desenvolvimento comercial de PR nos Estados Unidos de 1985 a 1995.

| Desenvolvimento comercial de PR nos Estados Unidos | | | | |
|---|-------------------------------|---------------------------------|------------------|---|
| Empresa | Processo | Início do empreendimento | Expedição | Notas |
| Aaroflex | Estereolitografia | 1995 | Não infor. | Licenciada pela DuPont |
| BPM | Jato de Tinta | 1989 | 1995 | |
| DTM | Sinterização Seletiva a Laser | 1987 | 1992 | Operou como um centro de prestação de serviços de 1990-1993 |
| Dupont Somos | Estereolitografia | 1987 | Não informado | Licenciado por Teijin Deiki em 1991, Aaroflex em 1995 |
| Helisys | Objeto laminado | 1985 | 1991 | Fundada como Hydronetics |
| Light Sculpting | Fotomascará | 1986 | Não informado | Operou como um centro de prestação de serviços |
| Quadrax | Estereolitografia | 1990 | 1990 | Tecnologia adquirida pela 3D em 1992 |
| Sanders Prototyping | Jato de Tinta | 1994 | 1994 | Parcialmente desenvolvido pela E-Systems |
| Soligen | Impressora 3D | 1991 | 1993 | Operou como um centro de prestação de serviços |
| Stratasys | Deposição de material fundido | 1988 | 1991 | |
| 3D System | Estereolitografia | 1986 | 1988 | Primeira entrega comercial de um equipamento. |

Tabelas 2.2 – Analisa o desenvolvimento comercial de PR nos Europa e Japão de 1985 a 1995.

| Desenvolvimento comercial de PR na Europa e Japão | | | | | |
|--|--|---------------------------------|-------------|------------------|--|
| Empresa | Processo | Início do empreendimento | País | Expedição | Notas |
| EOS | Estereolitografia, Sinterização Seletiva a Laser | 1989 | Alemanha | 1990 | |
| Fockele & Schwarze | Estereolitografia | 1991 | Alemanha | 1994 | Operou como um centro de prestação de serviços |
| Sparx | Objeto laminado | Não informado | Suécia | 1994 | Máquina de espuma |
| CMET | Estereolitografia | 1988 | Japão | 1990 | |
| Denken | Estereolitografia | 1985 | Japão | 1993 | |
| DMEC | Estereolitografia | 1990 | Japão | 1990 | |
| Kira | Objeto laminado | 1992 | Japão | 1994 | |
| Meiko | Estereolitografia | 1991 | Japão | 1994 | |
| Mitsui | Estereolitografia | 1991 | Japão | 1991 | |
| Teijin Seiki | Estereolitografia | 1991 | Japão | 1992 | Licenciado pela DuPont |
| Ushio | Estereolitografia | Não informado | Japão | 1988 | |

2.1.2 – Processos de Prototipagem Rápida mais Utilizados:

Estereolitografia - Este método pioneiro constrói modelos tridimensionais a partir de polímeros líquidos sensíveis à luz, que se solidificam quando expostos à radiação de um feixe de laser ultravioleta (Jacobs, P., 1992).

O modelo é construído numa cuba sobre uma plataforma situada imediatamente abaixo da superfície de um banho líquido de resina epóxi ou acrílica, esta plataforma esta conectada a um elevador. A fonte de raio laser ultravioleta, com alta precisão de foco, traça a primeira camada, solidificando a seção transversal do modelo e deixando as demais áreas líquidas. A seguir, o elevador mergulha levemente a plataforma no banho de polímero líquido e o raio laser cria a segunda camada de polímero sólido acima da primeira camada. O processo é repetido sucessivas vezes até que o protótipo esteja completo.

Uma vez pronto, o modelo sólido é removido do banho de polímero líquido e lavado. Os suportes, quando forem necessários, são retirados e o modelo é introduzido num forno de radiação ultravioleta para ser submetido a uma cura completa.

Alguns objetos têm saliências e/ou reentrâncias que devem ser suportados durante o processo da fabricação por estruturas de sustentação. Estas estruturas são projetadas e fabricadas junto com o objeto. Após o processo da fabricação, quando objeto é retirado da cuba essas sustentações são cortadas.

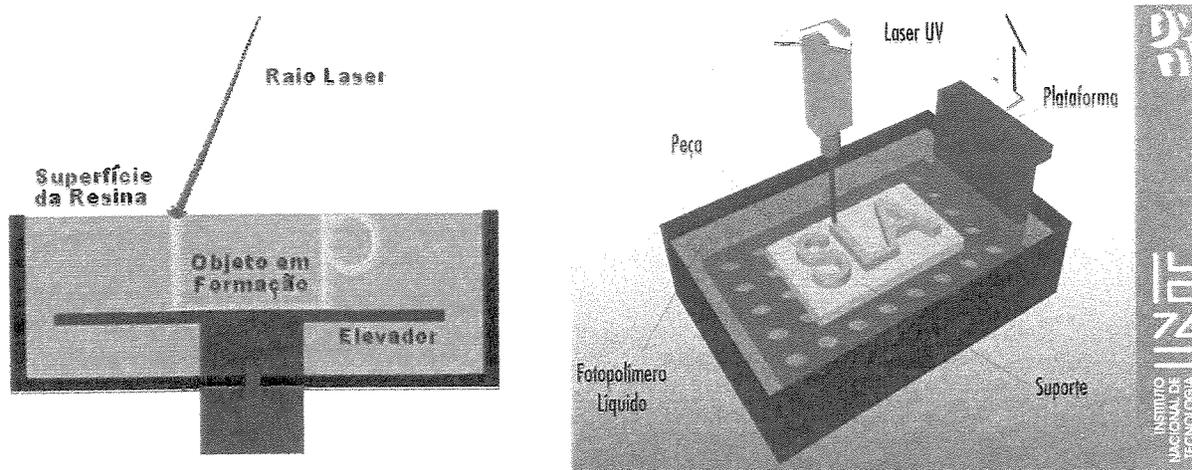


Figura 2.12 - Imagem esquemática do método de Estereolitografia (INT)

Estereolitografia é a tecnologia de PR atualmente mais utilizada, de maior exatidão e com o melhor acabamento superficial.

Com os anos, uma grande gama de materiais com propriedades que imitam de diversos termoplásticos de engenharia foram desenvolvidos. Cores limitadas podem ser escolhidas para aplicações biomédicas e outras aplicações, materiais cerâmicos estão atualmente sendo desenvolvidos. A tecnologia é também notável para objetos de grande porte que são possíveis de serem executados.

O lado negativo, é que trabalhar com materiais líquidos pode provocar sujeira, as peças requerem freqüentemente uma operação pós-cura em um forno para a cura completa e a estabilidade da peça, assim como essa foto-cura pode se prolongar ao longo do tempo enrijecendo ou amolecendo, alterando a cor e até trincando a peça.

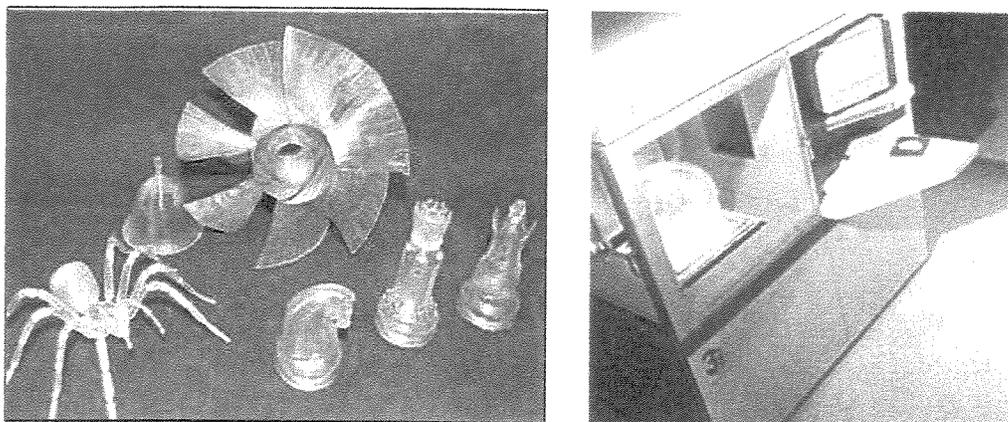


Figura 2.13 - Foto de protótipos elaborados em Estereolitografia e foto do equipamento correspondente da empresa 3D Systems

Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM) - É o segundo mais usado processo de PR e baseia-se num filamento plástico que ao ser desenrolado de uma bobina fornece o material para um bocal de extrusão. Este bocal é aquecido para derreter o filamento plástico e tem um mecanismo que permite que o fluxo de plástico derretido seja depositado camada a camada formando o objeto. O bocal é acoplado a um mecanismo que o move nos sentidos: horizontal (x) e vertical (y).

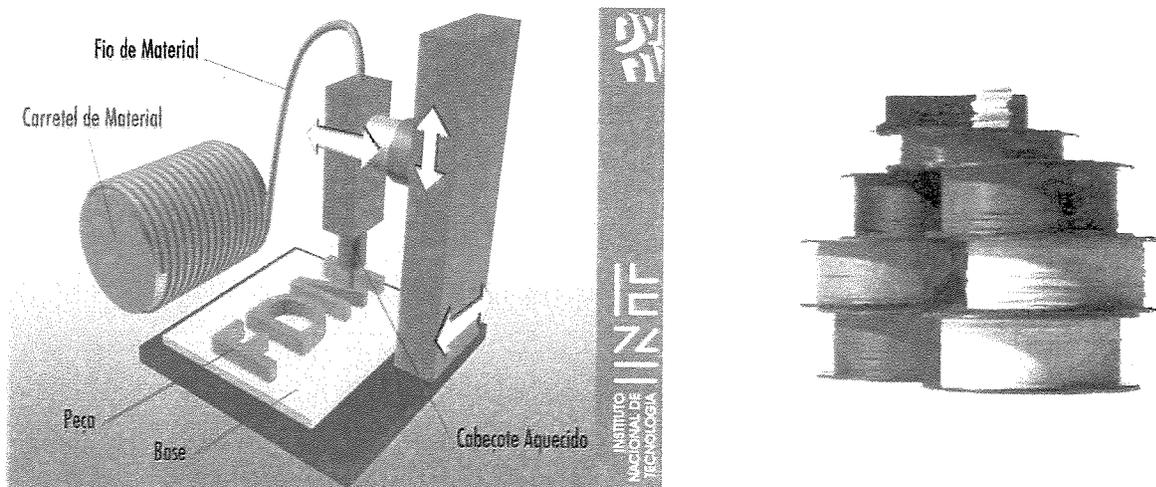


Figura 2.14 – Processo Deposição de Material Fundido - FDM (INT) e foto da matéria prima filamentos de plástico utilizado nesse processo.

Portanto, enquanto o bocal é movido no traçado da geometria requerida sobre a mesa do equipamento, ele deposita uma fina partícula de plástico que é expulsa para dar forma a cada camada.

O plástico endurece imediatamente depois de ser extrudado do bocal e liga-se à camada abaixo. O sistema inteiro é contido dentro de uma câmara que é mantida a uma temperatura exatamente um pouco abaixo do ponto de fusão do plástico.

Diversos materiais estão disponíveis para o processo, inclusive plástico industrial ABS e cera para aplicação em processo de cera perdida. O ABS oferece uma boa resistência, contudo mais recentemente materiais como policarbonato e polisulfonas foram introduzidos estendendo-se as potencialidades em resistência e de temperatura.

Estruturas de sustentação são necessárias para geometrias suspensas, estas estruturas são posteriormente removidas.

Este método é aplicável a ambientes de escritório por ser limpo e silencioso. FDM é razoavelmente rápido para peças pequenas, ou aquelas com formas altas e delgadas, entretanto pode ser muito lento para peças com seções transversais largas. O acabamento superficial das peças tem melhorado extremamente nos últimos os anos, contudo ainda não é completamente comparável a Estereolitografia. O concorrente mais próximo ao processo de FDM é provavelmente impressão tridimensional. Entretanto, contudo o FDM oferece peças de maior resistência e uma gama maior de materiais que os métodos baseados em impressão tridimensional tal como nos processos 3DPrinter e ZCorp.

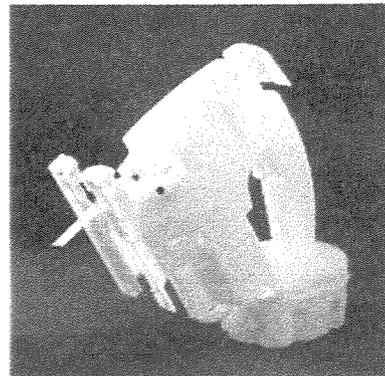
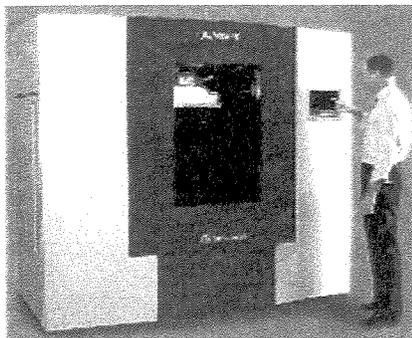


Figura 2.15 – Equipamento para Processo Deposição de Material Fundido (FDM) e foto de protótipo elaborado por esse processo.

Sinterização Seletiva a Laser (SLS) - Neste método um pó essencialmente termoplástico é espalhado por um rolo sobre a superfície de execução do protótipo. O pistão que suporta a mesa de produção do protótipo abaixa uma determinada espessura para acomodar cada nova camada de pó referente a cada camada a ser sinterizada. Um dos pistões de alimentação move-se para cima incrementalmente que fornece uma quantidade necessária de pó para o processo.

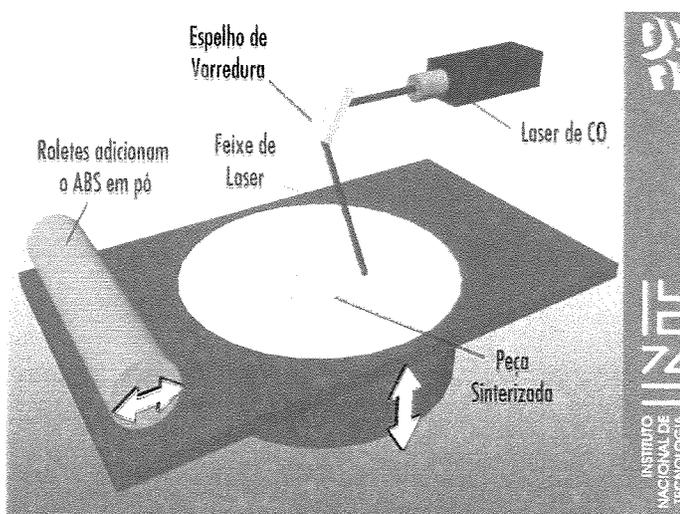


Figura 2.16 – Esquemático do Processo de Sinterização Seletiva a Laser – SLS (INT).

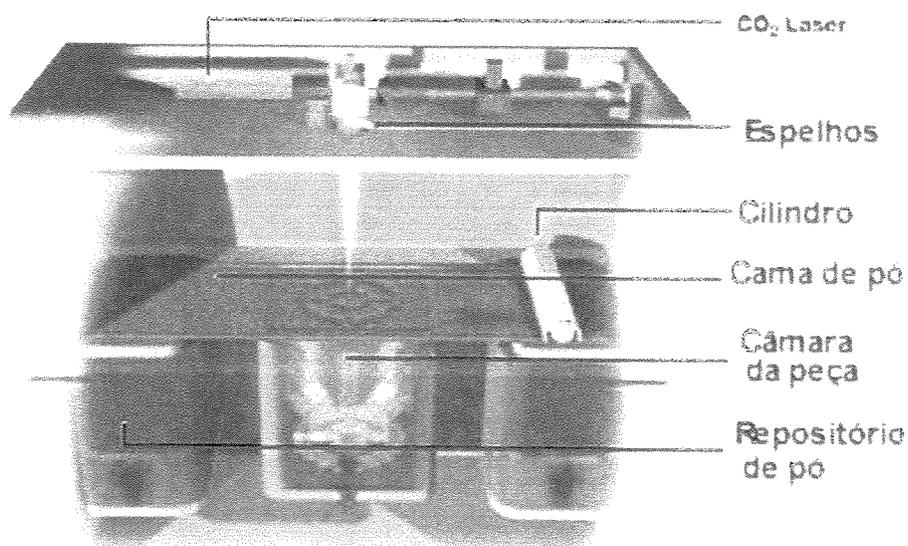


Figura 2.17 – Imagem do Processo SLS, cortesia 3D Systems.

Um feixe de laser é aplicado então sobre a superfície deste pó firmemente comprimido para fundi-la e ligar seletivamente dando forma a uma camada do objeto. A câmara da fabricação é mantida com uma atmosfera inerte com aplicação de nitrogênio para evitar a oxidação do pó e a uma temperatura pouco abaixo do ponto de fusão do pó de modo que o calor do laser eleva a temperatura ligeiramente para causar a sinterização. O processo é repetido até que o objeto inteiro seja fabricado.

Depois que o objeto é inteiramente formado, o pistão da plataforma de produção será levantado e todo o “bolo” contendo pó mais protótipos será retirado. O pó do “bolo” é simplesmente retirado, escovado e o acabamento manual final, se for o caso, poderá ser realizado. Nenhuma sustentação é requerida neste método porque as saliências e as reentrâncias são suportadas pelas próprias camadas de pó.

Uma variedade de materiais termoplásticos tais como o nylon, nylon com carga de vidro, e poliestireno estão disponíveis. Contudo o acabamento superficial e a exatidão não são completamente tão bons quanto da Estereolitografia, mas as propriedades mecânicas podem estar bem perto daquelas dos materiais a serem usados nas peças reais isso traz a vantagem estratégica de se obter peças funcionais. Entretanto, o sistema é mecanicamente mais complexo do que a Estereolitografia e a maioria das outras tecnologias

O método foi posteriormente estendido para a fabricação direta em metal e de objetos e ferramentas cerâmicas. Considerando-se que os objetos são sinterizados, então eles são porosos. Pode ser necessário infiltrar a peça, em especial metais, com um outro material para melhorar características mecânicas.

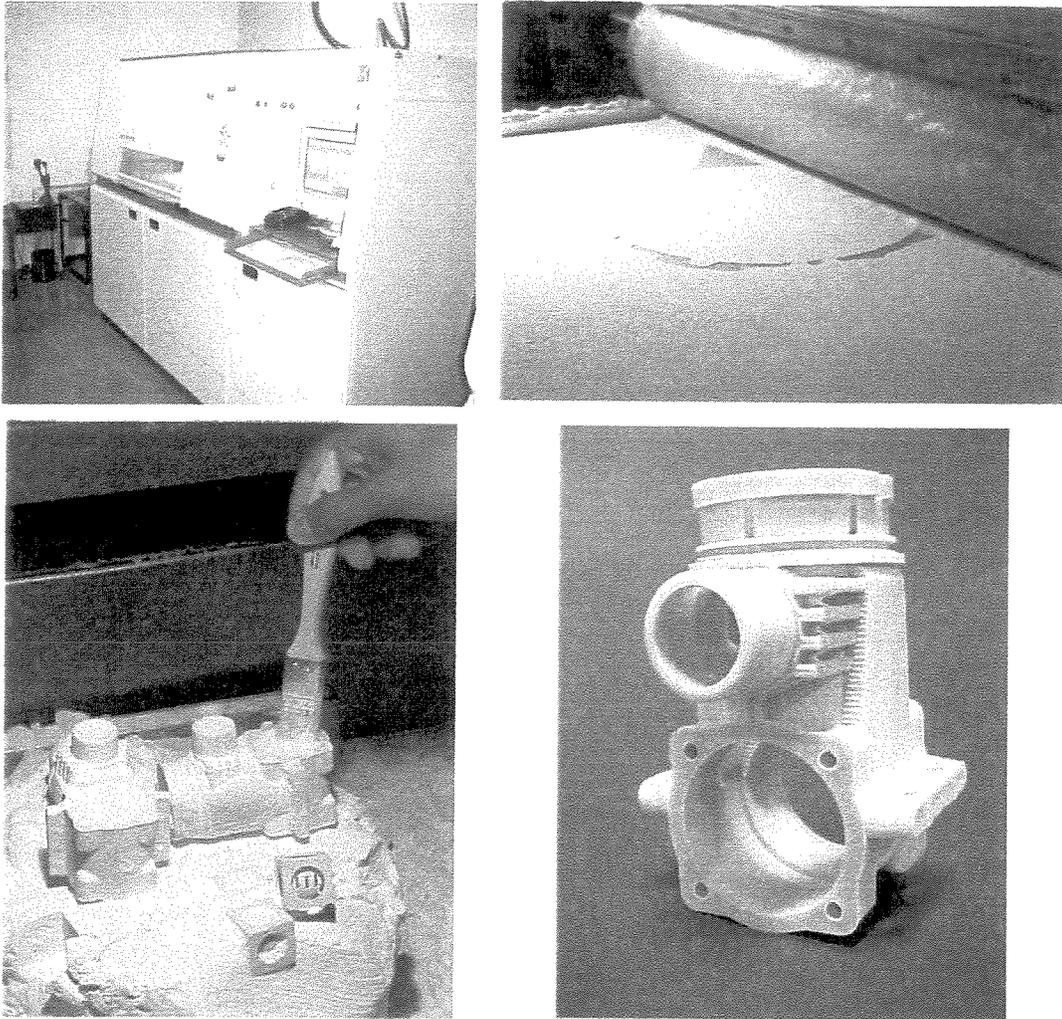


Figura 2.18 – Imagens do processo SLS no Centro de Pesquisas Renato Archer.

Impressão Tridimensional (3D Printer) - Desenvolvida no MIT (Massachusetts Institute of Technology) e os protótipos são construídos sobre uma plataforma situada num recipiente preenchido com material em pó. O processo começa depositando uma camada de material em pó no alto da área de fabricação. Uma quantidade determinada do pó é colocada na câmara movendo um pistão para cima de forma incremental. Um rolo então distribui e comprime o pó na mesa da câmara de fabricação. Uma cabeça injetora com multicanais deposita subseqüentemente o adesivo líquido em um traçado bidimensional na camada do pó que adere onde depositado e as camadas subseqüentes, para dar forma a um objeto (figura 2.19).

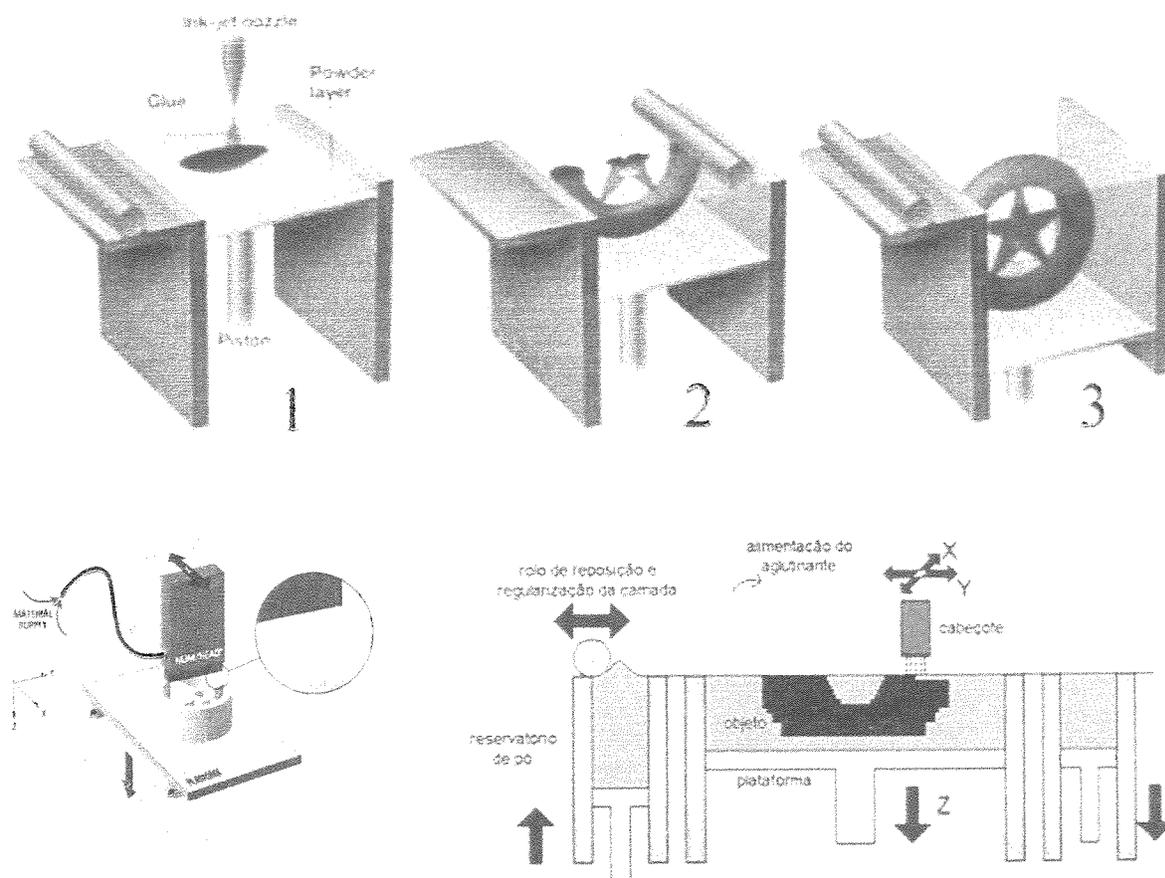


Figura 2.19 – Seqüência e Detalhes do Processo de Impressão Tridimensional (ZCorp).

Uma vez que uma camada é terminada, o pistão da fabricação abaixa a espessura de uma camada, e o processo é repetido até que o objeto inteiro tenha tomado forma dentro do recipiente de pó. Após a conclusão, o objeto é elevado, retirado e o pó extra então é escovado obtendo-se o que é chamado de objeto "verde" que necessita de cura posterior. Nenhuma sustentação externa é requerida durante a fabricação desde que a cama do pó suporta qualquer saliência.

A impressão tridimensional oferece as vantagens da fabricação rápida e de custo baixo dos materiais. De fato, é provavelmente o mais rápido de todos os métodos do RP. Recentemente tornou-se também disponível a possibilidade de aplicação de cores. Entretanto, há limitações na definição, no acabamento superficial, na fragilidade da peça e nos materiais disponíveis.

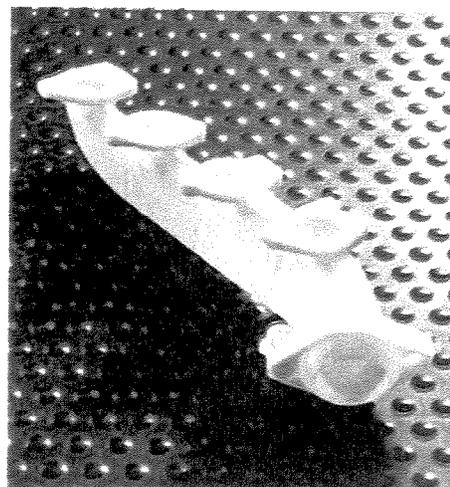
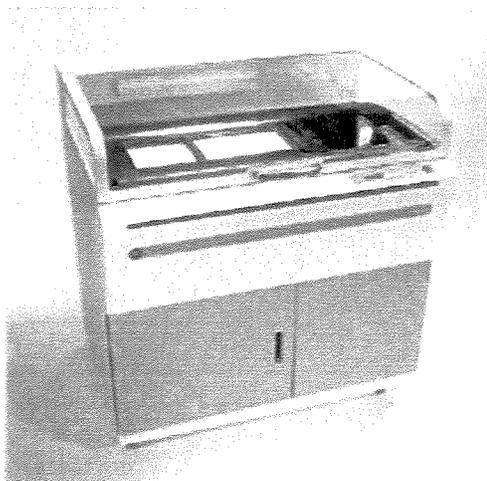


Figura 2.20 - Foto de protótipos do Processo de Impressão Tridimensional (3D Printer).

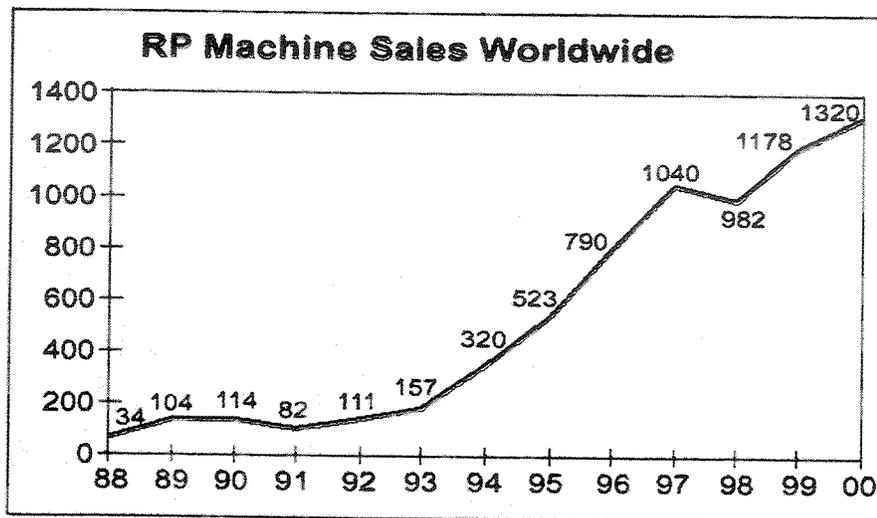
Limitações da PR atualmente - Os sistemas de PR podem produzir de forma direta peças funcionais em quantidades limitadas de produção, contudo:

- Peças produzidas desta forma possuem precisão e acabamento superficial abaixo das peças usinadas ou injetadas.
- O material e as propriedades mecânicas das peças mesmo sendo idênticos ou muito parecidos o plástico ou metal usados nas peças feitas de forma normal, eles podem apresentar não repetibilidade em suas características.

Tabela 2. 3 - Comparativa entre as tecnologias de PR que considera a necessidades dos usuários de PR e traz um comparativo entre as principais tecnologias comerciais de prototipagem rápida.

| Tecnologia | Estereolitografia (SLA) | Sinterização Seletiva a Laser (SLS) | Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM) | Impressão Tridimensional |
|---|---|--|--|--|
| Fabricante do Sistema | 3D Systems | | Stratasys | Z Corp. |
| Dimensões Máximas do Objeto (mm) | 508 x 508 x 610 | 381 x 330 x 458 | 610 x 508x 610 | 508 x 610 x 406 |
| Velocidade | Media | Media para grande | Lenta | Excelente |
| Precisão | Excelente | Boa | Boa | Razoável |
| Acabamento Superficial | Muito bom | Bom | Bom | Razoável |
| Resistência | Boa | Excelente | Boa | Baixa |
| Pontos Fortes | Líder de mercado, Peças de grandes dimensões, Precisão, ampla linha de produtos | Líder de mercado, Precisão, materiais. | Aplicável a escritórios, Preço, Materiais | Aplicável a escritórios' Velocidade, Preço, Cores |
| Pontos Fracos | Pós-processamento, Sujeira devido ao líquido | Tamanho e peso, Peça do sistema Acabamento superficial | Velocidade | Materiais limitados Peças frágeis Acabamento superficial |

Tendências no uso de PR - Considerando-se que em 2000, de acordo com Wohlers Associates, cerca de 23 fabricantes venderam 1320 sistemas de PR; apresentando um crescimento de 12,1 % de no setor; numa estimativa de 3.000.000 de protótipo produzidos em 6.755 máquinas já instaladas pelo mundo, (figura 2.21). E que as diretrizes de avanço da PR nos próximos anos, de acordo com estudos efetuados por C.K. Chau e K.F. Leong, sugerem que o P&D na área de PR pode ser verificada em quatro áreas distintas: Entrada, Método, Material e Aplicação, detalhadas pelo diagrama da figura 2.22.



Source: Wohlers Associates, Inc.

Figura 2.21 – O avanço de vendas de Equipamento de PR no mundo.

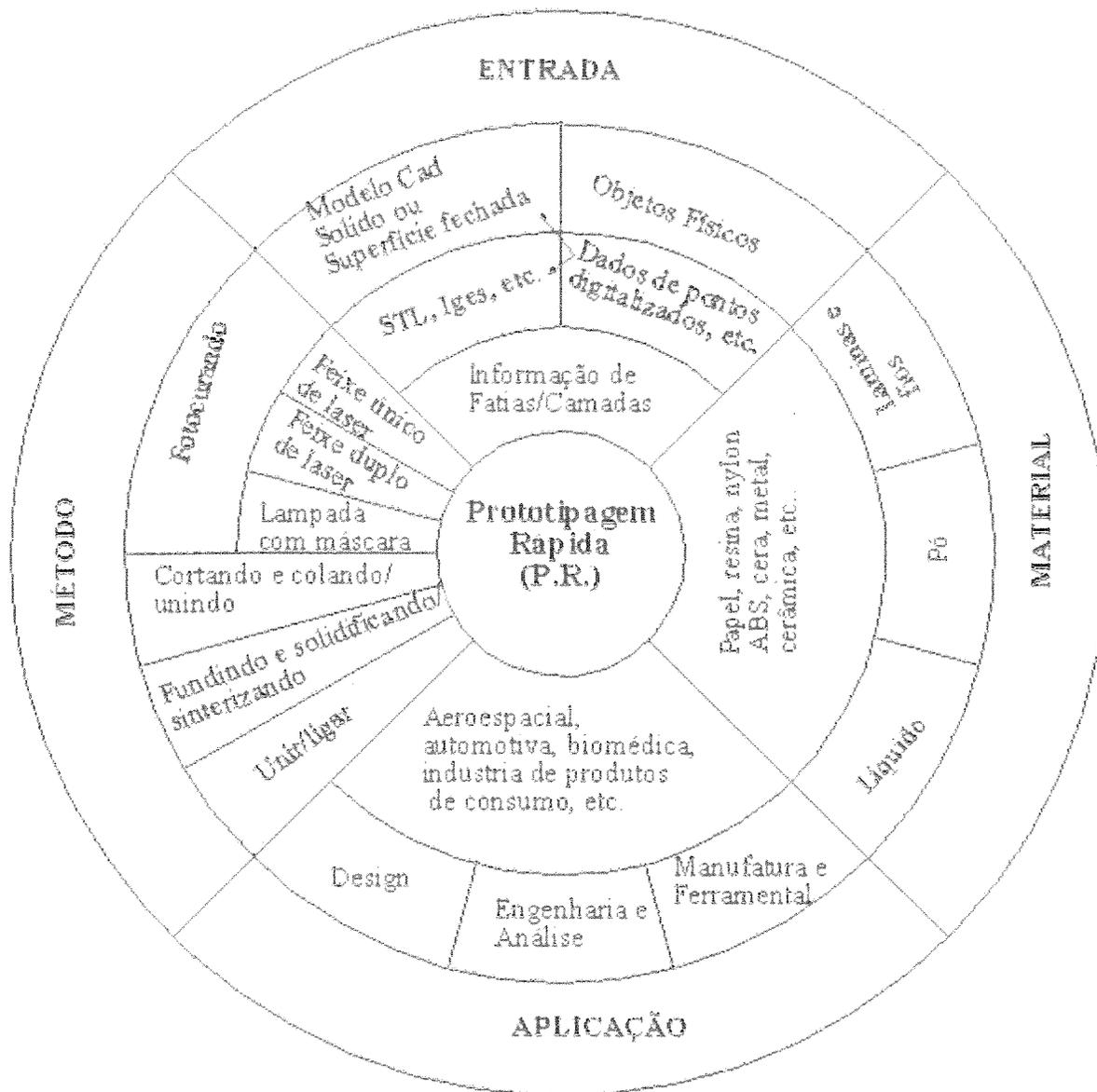


Figura 2.22 – A Roda da PR retrata os quatro mais importantes aspectos da Prototipagem Rápida (C.K. Chau e K.F. Leong, 2003).

Constata-se que a partir de 1995 há um empenho na redução constante do tamanho e do custo de equipamentos de prototipagem rápida. Equipamentos do tipo “desktop”, pequenos e acessíveis estão incorporando-se agora a este mercado. O futuro mostra-se muito auspicioso para PR em termos globais e os benefícios advindos da maioria de suas aplicações compensam em muito as desvantagens, especialmente quando são usadas na situação correta. Tendo tudo isso a

favor, em muitos países o uso e até mesmos a aquisição de equipamentos de PR já se tornou um fato corriqueiro.

No Brasil porém, como pode ser visto na figura 2.23, a PR não está difundida como em países mais avançados. O Brasil ainda é um dos países que dá seus primeiros passos nesse campo tecnológico.

A utilização da PR no Brasil vem crescendo, segundo Wohlers (*State of Industry – 1999*) já estão instalados 16 sistemas de PR. Contudo ele ainda faz parte do grupo de 1,5% de países detentores de equipamento de PR no mundo.

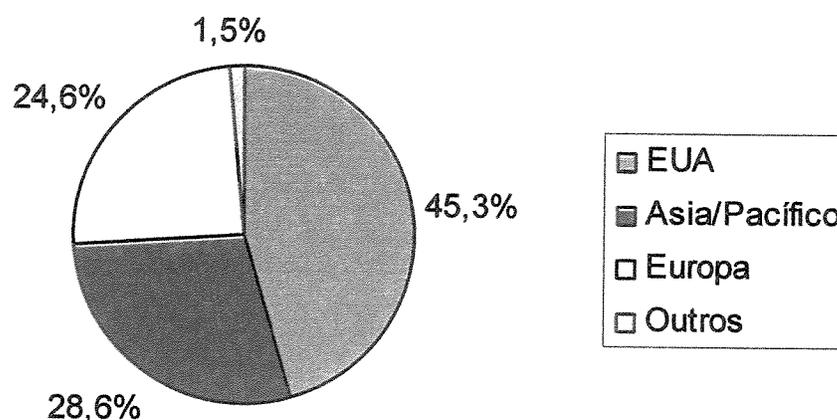


Figura 2.23 – Gráfico da distribuição de equipamento PR no mundo – Wohlers Associates.

2.2 - Cadeias de Desenvolvimento de Produtos

Segundo Clark e Fujimoto (1991) desenvolvimento de produto "é o processo a partir do qual informações sobre o mercado são transformadas nas informações e bens necessários para a produção de um produto com fins comerciais" é "a atividade sistemática necessária desde a identificação do mercado/necessidades dos usuários até a venda de produtos capazes de satisfazer estas necessidades – uma atividade que engloba produto, processos, pessoas e organização". Pugh S., Total Design (1990, p.5).

O desenvolvimento rápido e criterioso de produtos tem se tornado um dos processos-chave para a competitividade das empresas, pois o constante aumento da concorrência, rápidas mudanças tecnológicas, diminuição do ciclo de vida dos produtos e a maior exigência por parte dos consumidores exigem cada vez mais agilidade, produtividade e alta qualidade que dependem necessariamente da eficiência e eficácia da empresa no PDP.

O PDP origina atividades essencialmente interativas e necessariamente multidisciplinares, que fazem com que uma grande quantidade de metodologias, sistemas, ferramentas e soluções desenvolvidas por profissionais/empresas de diferentes áreas necessitem obrigatoriamente conversar entre si para que as diversas visões parciais sobre o PDP sejam alinhadas e compartilhadas por todos envolvidos.

É fato que no PDP o grau de incerteza no início é bem elevado, e que diminui com o tempo, mas é justamente na fase inicial que se determina a maior quantidade de soluções construtivas. Deve-se considerar que o custo de modificação aumenta exponencialmente ao longo do ciclo de desenvolvimento (ver figura 2.24). Pois, a cada alteração, um número maior de decisões já tomadas podem ser invalidadas, e investimentos já efetuados podem ser totalmente inutilizados devido a uma mudança de conceito. O desafio então é conseguir gerenciar as incertezas envolvidas num PDP, onde as decisões de maior impacto são necessariamente tomadas, ou seja no início do processo onde existe um maior número de grau de incertezas e alternativas.

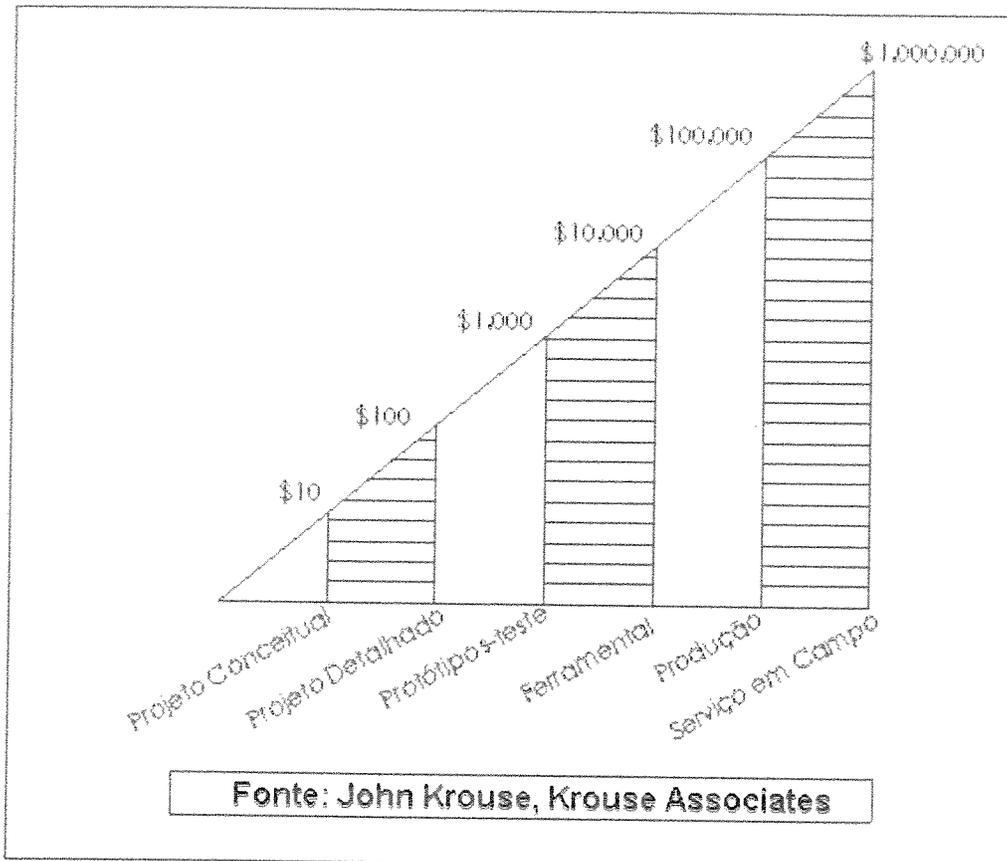


Figura 2.24 – Gráfico sobre o custo de alteração de projeto ao longo de ciclo de desenvolvimento do produto (Wohlens, 1998).

A falta de visão holística (figura 2.25) no PDP, ou seja, da construção de uma imagem única e integrada do todo do PDP, ainda hoje faz com que profissionais de engenharia pensem no desenvolvimento de produto como atividades particionadas e desconectadas, onde:

- Administradores vêem como algo mais abstrato, independente do conteúdo tecnológico e voltado para os problemas organizacionais e estratégicos;
- Projetistas sentem como o resultado de estudos de conceituais;
- Especialistas em qualidade como a aplicação de ferramentas específicas.

A transposição para a prática destas visões desconectadas pode levar a muitos problemas, ineficiências e falhas de grande monta, pois qualquer PDP implica em conhecimentos de várias destas visões.

- **hólos(grego): inteiro, composto**
- **holismo: tendência, que se supõe seja própria do universo, a *sintetizar* unidades em totalidades**
- **síntese: reunião de elementos em um todo, composição**
- **integrar: tornar inteiro, completar**

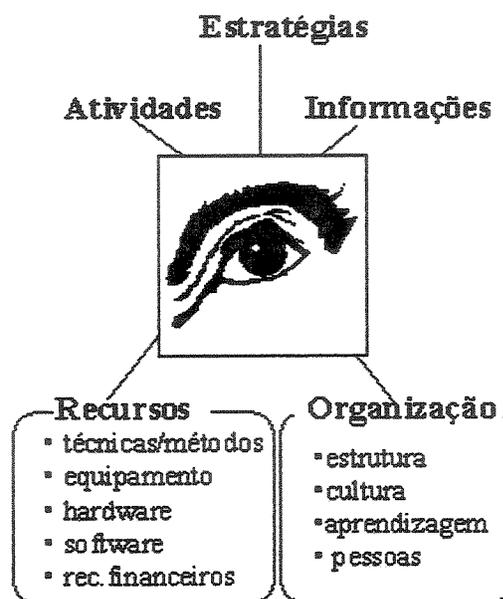
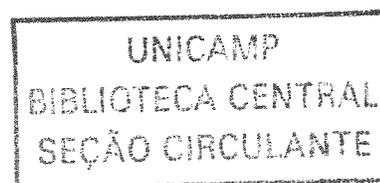


Figura 2.25 – Quadro de explanação sobre visão holística.

Portanto, o PDP deve ser um todo integrado e dependente, para um adequado resultado final da consideração de diversos fatores ligados às mais diversas áreas do conhecimento.

Um benefício substancial ao projeto do produto geralmente considerado é o envolvimento de fornecedores. Dowlatshahi (1998) sugere que o envolvimento precoce do fornecedor significa a integração das competências deste nas operações e nos sistemas da cadeia de fornecimento. Carlisle e Parker (1989) consideram que “o fornecedor deve ser envolvido no processo de projeto no sentido de otimizar suas habilidades e seus processos”. No que se refere à quantificação dos benefícios, concorda-se geralmente que a participação precoce do fornecedor no projeto propicie um ambiente em que os componentes de um determinado produto possam ser projetados separados e simultaneamente por diferentes fornecedores usando as habilidades em projeto dos mesmos (Chuang, W. e Grady, P., 2001).



Basicamente se considerando o PDP, depara-se com a existência de dois principais fatores os quais influenciam todas as atividades intra ou extra-empresa, sendo eles:

- Fator tecnológico: materiais, ferramentas e tecnologias avançadas de projeto e manufatura
- Fator organizacional: cultura, estrutura, e pessoas.

Contudo atualmente a maioria dos PDP's envolvem bem mais do que tão somente a própria empresa detentora da idéia inicial, do conceito do produto. Chegam, em muitas vezes, a promover a participação efetiva, integrada e sincronizada de várias empresas no propósito do êxito do processo de desenvolvimento.

Este ambiente colaborativo entre empresas para desenvolvimento de produtos tornou-se o novo paradigma da engenharia atual. A colaboração inter e trans-empresas permitem um maior compartilhamento de informações e uso de métodos e tecnologias como:

- Engenharia simultânea,
- Prototipagem virtual,
- Testes pré-produção,
- Gerenciamento de qualidade total;
- Prototipagem Rápida Física, o principal alvo deste estudo.

Os resultados são aumento da qualidade do produto e diminuição no tempo e custo do ciclo de desenvolvimento. Portanto, o tempo de produção e o custo de manufatura e em relação a peças individuais podem ser reduzidos, conseqüentemente diminuem-se os custos e os tempos totais do projeto de produto. Além disso, problemas tardios na operação da cadeia de suprimentos podem ser diminuídos.

O relacionamento entre a montadora do produto e seus fornecedores de peças, foi denominado “Cadeia do Projeto” (Clark e Starkey, 1988; Twigg, 1997) porém, mais corretamente, pode ser chamado uma “Cadeia de Desenvolvimento de Produto” (CDP), desde que todas as atividades associadas com o desenvolvimento de produto são realizadas na CDP. Estas atividades incluem o projeto, prototipagem, e testes.

Uma definição apropriada de uma CDP pode ser adaptada daquela dada para uma Cadeia de Fornecedores por Poirier e Reiter (1996):

“Uma Cadeia de Desenvolvimento de Produto é um sistema através do qual as organizações desenvolvem produtos e serviços para se atender a requisitos dos clientes”.

A CDP abrange os fornecedores e os clientes, como mostrado na figura 2.26, onde as exigências do cliente são passadas aos fornecedores e aos fornecedores secundários, que desenvolvem então as peças a serem montadas e configuradas para o cliente.

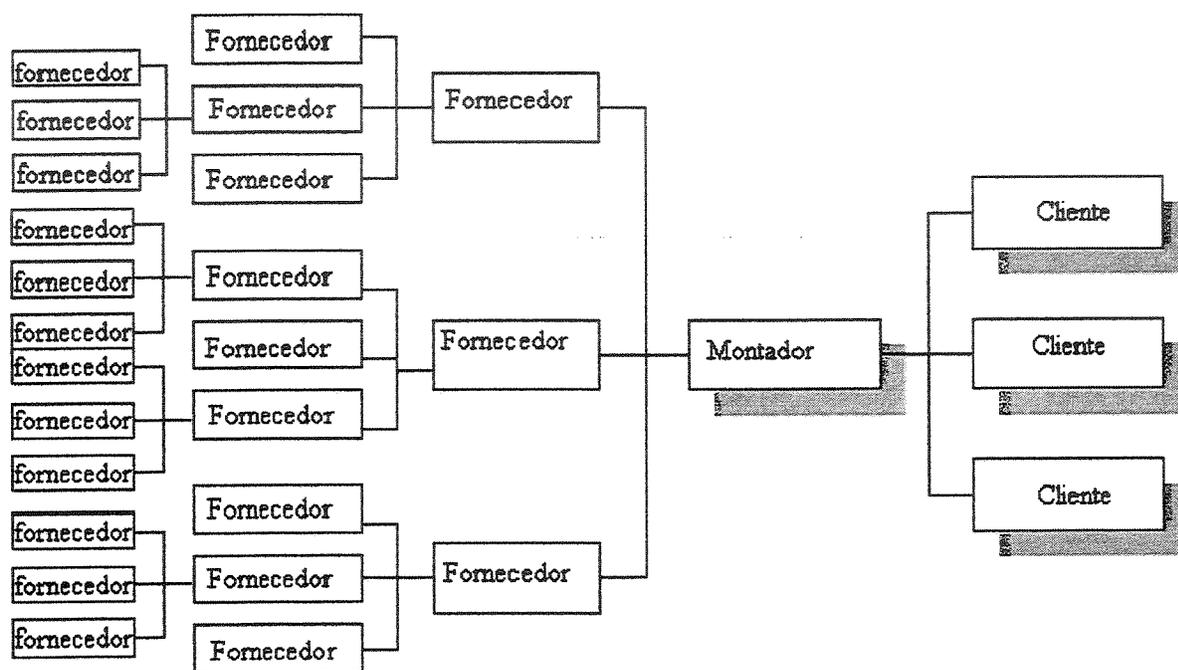


Figura 2.26 – Gráfico sobre a Cadeia de Desenvolvimento de Produtos (CDP).

Como visto, na verdade a CDP é uma malha complexa de fornecedores. Para compor esta malha, cada participante na CDP pode estar envolvido em uma gama de outras CDP's, cada um clamando por atenção. Cada fabricante pode, por o exemplo, ativamente produzir diversos produtos finais, cada qual requerendo sua própria CDP, provavelmente com um considerável envolvimento entre fornecedores. Em alguns casos atender as exigências dos clientes sob estas circunstâncias pode ser muito difícil. Além disso, cada CDP é dinâmica por natureza, com variações em termos de tempo nos aspectos que se refere às tarefas dos participantes e em exigências do cliente.

Uma CDP pode ser classificada de acordo com quem possui, e quanto possui da autoridade do projeto, que é a autoridade para alterar o projeto.

Clark e Fujimoto (1991) classificam fornecedores no âmbito da CDP em três categorias diferentes:

1. Fornecedores que provêm as "peças proprietárias do fornecedor", situação na qual os fornecedores possuem toda a autoridade do projeto da peça.
2. Fornecedores que provêm as "peças caixa preta", situação na qual os fornecedores possuem uma autoridade parcial do projeto da peça. Geralmente, as funções da peça e as características gerais estão especificadas pela montadora, enquanto os fornecedores possuem a autoridade para projetar os detalhes da peça baseados nestas funções/características pré-especificadas.
3. Fornecedores que provêm as "peças detalhes-controlados", em que a montadora possui completa autoridade do projeto da peça. Este seria o caso onde o fornecedor age como um sub-contratado da montadora, apenas manufacturando a peça de acordo com o projeto detalhado recebido da empresa montadora e entregando então a parte terminada a ela.

Similarmente pode-se comparar a classificação sobre fornecedores com a feita pela indústria automotiva que classifica seus fornecedores em oito categorias, que são:

1. Projeto *in-house* na montadora;
2. Engenharia conceitual e especialista;
3. Peças proprietárias;
4. Caixa preta: especificações críticas;
5. Detalhe-controlado: peças funcionais;
6. Detalhe-controlado: peças estéticas;
7. Peças menos complexas;
8. Peças padrão de catálogo.

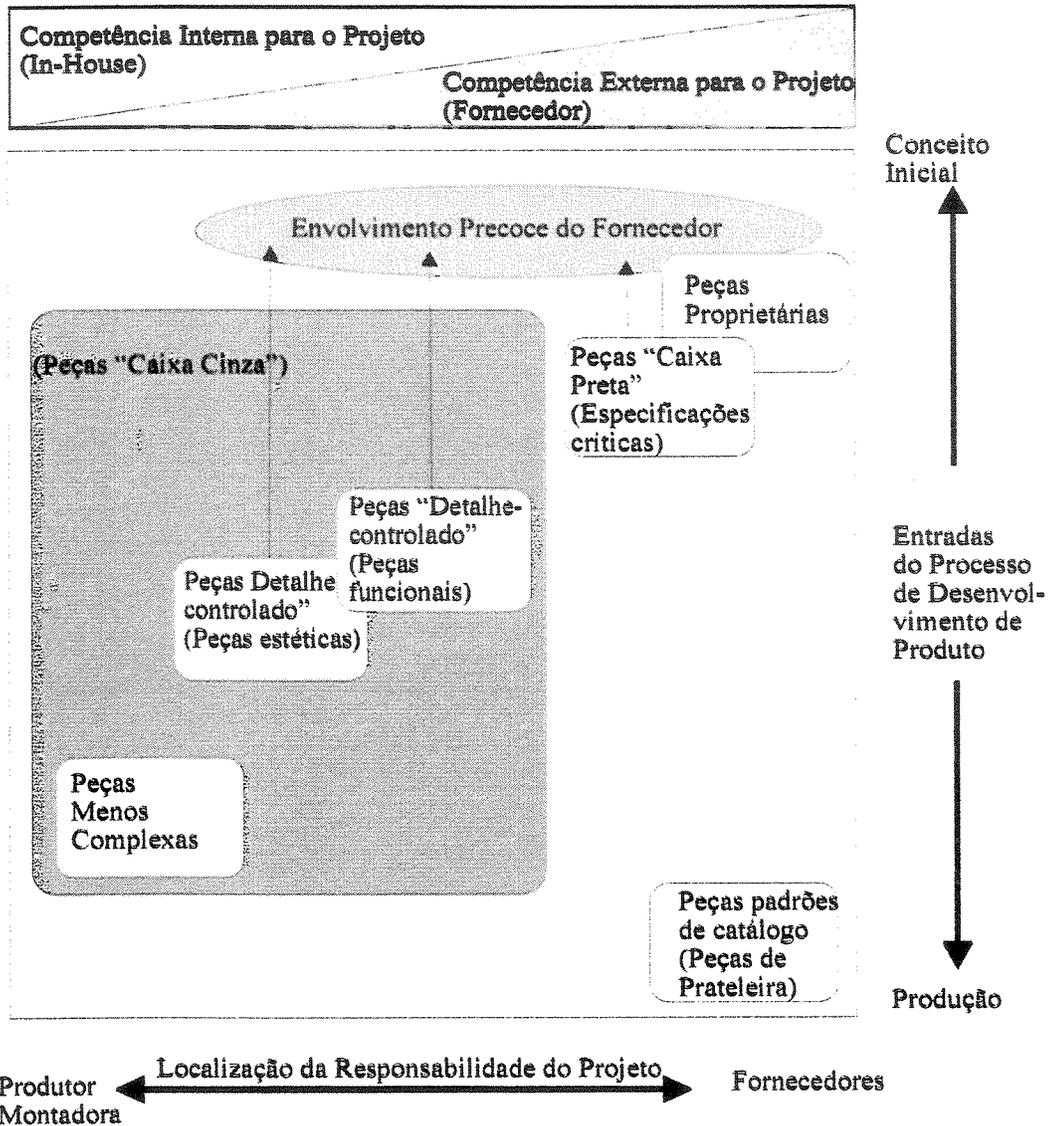


Figura 2.27 – Gráfico comparativo sobre a localização da responsabilidade do tipo de peça no contexto do projeto.

A pesquisa de Clark e Fujimoto (1991) indica que, em CDP, as tarefas do projeto pode ser decomposta e os níveis diferentes da autoridade do projeto podem ser distribuídos aos fornecedores. A distribuição vai realmente depender de aspectos como: as características da peça e as potencialidades dos fornecedores.

A habilidade de gerenciar o projeto e desenvolvimento de produtos interempresas considera mecanismos alternativos para coordenação das atividades de projeto e da manufatura (Twig, D.,

2002). Este envolvimento dos fornecedores nas atividades de projeto e desenvolvimento aumenta cada vez mais a necessidade de mecanismos de coordenação mais efetivos, assim como a definição de níveis de interdependência que são requeridos entre a empresa “base” e seus fornecedores no que diz respeito a informações de projeto e desenvolvimento.

A tipologia do uso de mecanismos de coordenação interempresas visa uma de integração que auxilia a CDP nos quatro estágios do processo de desenvolvimento de produto:

1. Fase de Estudo de Viabilidade
2. Fase de Projeto Preliminar
3. Fase de Projeto Detalhado
4. Fase de Planejamento de Produção

Portanto importantes contribuições tanto tecnológicas de intercambio de dados eletrônicos, ou conceituais como criação de comitês ou times de fornecedores de projeto, como apresentado no quadro tipológico (tabela 2.4).

Tabela 2.4 – Sobre a Tipologia dos Mecanismos de Coordenação Interorganizacional

| Tipologia dos Mecanismos de Coordenação Interorganizacional | | | | |
|--|--|---|--|---|
| | Fase de Estudo de Viabilidade | Fase de Projeto Preliminar | Fase de Projeto Detalhado | Fase de Planejamento de Produção |
| Padrões | <ul style="list-style-type: none"> • Gerenciamento de Custo | <ul style="list-style-type: none"> • Compatibilidade de padrões • Intercambio Eletrônico de dados • Troca de dados CAD/CAM | <ul style="list-style-type: none"> • Conhecimento Tácito dos projetistas sobre manufatura • Normas de projeto | <ul style="list-style-type: none"> • Início adiantado da manufatura com dados adiantados de projeto • Flexibilidade da manufatura |
| Cronogramas e Planos | <ul style="list-style-type: none"> • Avaliação Relacionamento | <ul style="list-style-type: none"> • Cronogramas de desenvolvimento de competências | <ul style="list-style-type: none"> • Sinalizar a finalização | <ul style="list-style-type: none"> • Ciclos de teste de Protótipos da produção |
| Ajuste Mútuo | | <ul style="list-style-type: none"> • Comitê de desenvolvimento de fornecedores | <ul style="list-style-type: none"> • Verificação da produtibilidade do projeto / Eng^o de Manufatura • Engenheiro de projeto convidado | <ul style="list-style-type: none"> • Alteração de Engenharia • Engenheiro Local • Engenheiro de suporte ao produto |
| Times | | <ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de Time do Fornecedor • Desenvolvimento conjunto | <ul style="list-style-type: none"> • Unir times de produto e processo do produto. | <ul style="list-style-type: none"> • Time de Transição |

Origem: Adaptado e expandido de Adler (1995)

Embora muito se saiba da importância da CDP para a sobrevivência das empresas, notamos que todas as atenções ultimamente tem sido voltadas a Cadeia de Fornecimento (Supply Chain). Muito se tem escrito e discutido sobre ela e a CDP, uma similar sua na área de projeto, se mantém quase que ignorada.

Conclui-se portanto que a CDP hoje pode crescer e se impor não pela vontade dos empresários e sim pelos seguintes fatores de mercado e tecnologia:

1. A continuada necessidade de redução do ciclo de desenvolvimento do produto, com objetivo de redução de custo e melhor a oferta do produto no mercado.
2. A tendência das montadoras cada vez mais estar contratando fornecedores e aumentando as proporções de fabricação.
3. O desenvolvimento de TI, particularmente tecnologias de Internet, permitindo um nível melhor de comunicação entre montadoras, clientes e a CDP.

Capítulo 3

Aplicações da Prototipagem Rápida em Pequenas e Médias Empresas

3.1 – Aplicações iniciais

Muitas das informações aqui contidas foram constatadas através de um trabalho que já vem sendo desenvolvido há cerca de quatro anos junto a Divisão para Desenvolvimento de Produtos (DDP) do Centro de Pesquisa Renato Archer – CenPRA (Órgão do Ministério de Ciência e Tecnologia), no atendimento a mais de 160 empresas, prestando serviços em PR.

A Divisão para Desenvolvimento de Produtos (DDP) surgiu em 1996 com o objetivo primeiramente de estudar e dar apoio à troca de dados entre sistemas CAD (Projeto Auxiliado por Computador) diferentes, trocas essas baseadas em arquivos de padrão neutro tais como STEP (*Standard for the Exchange of Product Model Data*) e IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*), com o objetivo de apoiar a integração entre empresas nas atividades de engenharia no desenvolvimento de produtos.

Um desdobramento das atividades da DDP foi uma análise desenvolvida para uma empresa montadora de máquinas fotocopadoras junto a uma parte de seus fornecedores. Neste trabalho foram verificados junto a alguns de seus melhores fornecedores seus graus de competência e capacidade tecnológica em desenvolvimento de projeto de produtos. Foram verificados tópicos como: interação, comunicação eletrônica, conversão de dados de arquivos CAD, entre outros.

Esses primeiros trabalhos nos mostraram que os padrões neutros de troca de dados em sistemas CAD eram muito importantes. Contudo existiam duas fortes tendências, não excludentes e comprovadamente complementares, acontecendo no campo da troca de informações para o desenvolvimento de um produto. Uma tendência no mercado de sistemas CAD, onde os produtores desses programas cada vez mais pressionados pela necessidade de integração entre usuários de qualquer plataforma ou grau de potencialidade, foram obrigados a melhorar e aumentar a oferta de conversores neutros ou uni/bidirecionais proprietários. Outra foi a tendência mundial, impulsionada pelos amplos benefícios, de utilização da Prototipagem Rápida no PDP e que algumas empresas brasileiras, prioritariamente de grande porte, começaram a aplicar em seus PDP's.

Em face desse novo quadro que se apresentava a Divisão para Desenvolvimento de Produtos decidiu mudar seu foco de atuação para a PR com o objetivo de difundir esta tecnologia e propiciar os benefícios dela no PDP, visando um público de pequenas e médias empresas.

Passos para escolha da mais adequada tecnologia de PR - Há uma regra geral de fatores a serem analisados não só para aquisição de um equipamento de PR, mas também mais corriqueiramente para escolher o tipo de tecnologia que mais se adequa às características de seu protótipo:

1. **Fatores Tecnológicos** – Dizem respeito basicamente a qualidade do protótipo e como ele atende as demandas e ao desempenho necessário:
 - **Propriedades das matérias-primas** – Materiais estão sempre em pleno desenvolvimento e como muitos sabem são um fator crucial na escolha de

equipamentos de prototipagem rápida, contudo para uma solução ideal busca-se o melhor do conjunto: material, aplicação e tecnologia.

- **Precisão** - A precisão da PR é extremamente dependente da tecnologia empregada no processo, da competência do técnico operador em relação ao posicionamento das peças, da exposição ao ambiente e da necessidade de trabalhos de acabamento.
- **Estabilidade** - É a capacidade do protótipo manter as dimensões durante sua vida.
- **Pós-processamento** – O ideal seria a não existência de trabalhos posteriores ao término da execução da PR, que o protótipo pudesse ser enviado para o cliente imediatamente. Contudo se isso for inevitável, busque o de melhor trabalhabilidade.
- **Acabamento superficial** – O ideal de todo usuário/cliente é receber o protótipo com o acabamento superficial o mais próximo de que seria seu produto final, geralmente com baixíssima rugosidade.
- **Resistência ao ambiente** – Protótipo que possam resistir minimamente a condições ambientais adversas tais como temperatura elevada, vapores, produtos químicos, etc..
- **Estrutura de suporte** – A existência de suportes que estabilizem e dêem apoio ao fabrico do protótipo é indesejado por envolver duas atividades a mais no processo; sendo uma anterior a execução que é a criação geométrica/matemática deles e outra posterior a prototipagem que é a retirada dos mesmos.

2. **Fatores de Uso** – Analisa a utilização a que se destina o protótipo. As vantagens e desvantagens de cada processo na ótica do usuário/cliente.

- **Visual** – A utilização destes protótipos para efeitos visuais como demonstração para gerentes, clientes ou pessoal de um mesmo grupo de trabalho, tende a ser cada dia mais intensa.
- **Funcional, forma e adequabilidade** - A análise de projetos é um dos mais importantes papéis da prototipagem rápida, permitindo a detecção de erros de projeto na fase inicial deste, poupando tempo e custos com projetos ineficazes.

Todos esses fatores deveriam estar sendo buscados nas tecnologias de PR daquela época e acredita-se que nas de hoje também. Contudo tinha-se uma decisão a tomar e para tal escolheu-se duas tecnologias de PR que então atendiam melhor as necessidades e passou-se a compará-las como é mostrado na tabela 3.1 que além de comparativa serviu como uma matriz de decisão para atender os objetivos do CenPRA, que na época eram:

1. **Prestação de serviços** - Atender às necessidades das indústrias, se consolidando como um centro de referência em prestação de serviços de Prototipagem Rápida.
2. **Pesquisa** - A introdução da PR no CenPRA, para suportar atividades de pesquisa extremamente promissoras, que abrangeriam desde a área de desenvolvimento de novos materiais e métodos para utilização em prototipagem rápida, passando pelo desenvolvimento de sistemas de controle de máquina e aplicativos para tratamento de modelos matemáticos tridimensionais, até a aplicação em medicina para pesquisa em prótese e reconstituição de estrutura óssea para cirurgias.

Tabela 3.1 – Tabela comparativa das tecnologias de PR para seleção da mais adequada.

| Quadro comparativo de tecnologias usado como matriz de decisão para aquisição de equipamento de PR | |
|--|--|
| Fatores Analisados | Tecnologia Estereolitografia (SLA) |
| Materiais | Ampla gama de materiais com propriedades adequadas às mais diversas aplicações |
| Precisão | Menor precisão devido às características do processo e materiais utilizados. |
| Estabilidade | Mais estável em termos de dimensões da peça que SLA. |
| Pós-Processamento | Operações de acabamento são necessárias se o cliente não estiver satisfeito com a porosidade superficial inerente ao processo. |
| Acabamento superficial | Apresenta superfície porosa e rugosa. Isto se relacionado ao processo baseado em sinterização e ao material que é pulverulento. |
| Resistência ao ambiente | Protótipos mais resistentes e estáveis aos efeitos do ambiente, suportando temperaturas elevadas, vapores e produtos químicos. |
| Estrutura de suporte | Não requer qualquer tipo de suporte devido à utilização de material sólido (pó), que atua como suporte para a peça. |
| Visual | Apresenta um acabamento mais poroso e rugoso, mas pode ser muito melhorado com o pós-processamento adequado, dependendo do material empregado e neste caso ajudado pela porosidade superficial que permite uma maior ancoragem para pintura. |
| Funcional, forma e adequabilidade | Embora menos preciso é mais recomendado devido às qualidades superiores de material, suportando maiores temperaturas e tensões mecânicas, além de suportar exposição à ambientes mais instáveis. |

Considerando o mostrado na tabela 3.1, as linhas com tarja na cor verde ressaltam os fatores mais positivos de interesse do CenPRA. Então como visto anteriormente devido ao pequeno número de tecnologias disponíveis para PR, bem como o fato de que os detentores da tecnologia são os fabricantes do equipamento, o único fabricante que ofereceu uma maior gama de materiais e aplicabilidades, desde protótipos conceituais até moldes para pequenas séries de peças, foi a DTM Corporation (atualmente comprada pela 3D System, sua antiga concorrente detentora da tecnologia SLA).

Abaixo pode ser vista a especificação completa do equipamento Sinterstation 2000 - DTM corporation adquirido em 1999 e até hoje em atividade e em qual foram prestados os serviços de PR pelo CenPRA base de muitas das informações contidas nesta dissertação.

Sistema Sinterstation® 2000

- Sistema Sinterstation® 2000, composto de: Unidade Base (Câmara de processo, Cabine de controle e Unidade de Condicionamento Atmosférico), Laser de CO2 de 50 Watts, Computador Pentium 90 MHz, 32MB de memória RAM, Disco rígido de 1 GB, Monitor de 17", Sistema Operacional UNIX 4.0+, Softwares aplicativos e utilitários
- Estação de limpeza e reciclagem dos materiais em pó composta de peneira vibratória e acessórios. Esta reciclagem é limitada, pois com o uso ocorre a degradação das propriedades do polímero sendo necessária a inserção uma quantidade de polímero novo para que as propriedades originais sejam recobradas. Até o ponto em que a quantidade de produto virgem é tão grande para recobrar as características de coesão do material que não é possível mais reciclagens.
- Volume útil para produção de protótipo Diam. 260 X Alt. 300 mm
- Aspirador de pó à prova de explosão.
- Jateador de areia e estação de tamboreamento.

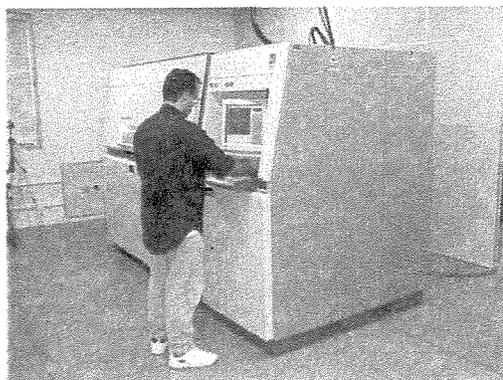


Figura 3.1 – Dados técnicos do equipamento de prototipagem rápida adquirido pelo CenPRA.

3.2 – Iniciando das Atividades de PR no CenPRA

De maneira geral a implantação de um Sistema de PR, nos planos do CenPRA, teve um objetivo muito além da simples criação de um birô de venda de serviços. Na verdade a PR seria um meio de obter e propalar as seguintes diretrizes:

- Consolidar-se como um centro de referência;
- Suprir uma necessidade imediata por esta tecnologia;
- Difundir a Tecnologia de PR no Brasil;
- Aumentar a competitividade da indústria nacional;
- Envolver as empresas na melhoria da formação de seus engenheiros e técnicos;
- Contribuir para a formação de pessoal especializado para futuros postos de trabalho;
- Firmar convênios com Universidades e Centros de Pesquisa do Brasil e Exterior;
- Desenvolvimento de pesquisa em áreas estratégicas;
- Atender demandas internas de protótipos.

Seguindo essas diretrizes muitas empresas passaram a serem atendidas e a usarem a PR em seu PDP. Pois como Barkan e Iansiti (1993) afirmaram “A rápida aprendizagem dos envolvidos em cada estágio do PDP é a chave para o sucesso do desenvolvimento”. Portanto a utilização de protótipos, quando devidamente explorada, para tal propósito torna-se essencial para o PDP. Pois projetar um produto novo é gerenciar os comprometimentos entre:

- como o produto funciona,
- como ele é produzido,
- com o que ele se parece,
- quanto ele custará e quem irá comprá-lo.

Estes atributos ou objetivos devem ser definidos claramente porque é quase impossível gerar uma solução, ou seja um produto, para um problema indefinido. Além disso, os objetivos devem ser priorizados, porque nem todos podem ser resolvidos ou atendidos completamente ou perfeitamente, e uma priorização permitirá o desenvolvimento de um produto com os atributos mais fortes. Mais ainda, priorizar os objetivos ajuda ao processo de geração do conceito de produto, isso permite aos projetistas focalizarem um objetivo por vez seqüencialmente.

Portanto o PDP pode ser visto como uma seqüência interligada de tarefas de processamento de informações. Ele fornece uma estrutura flexível que guia o desenvolvimento de idéias a partir de uma coleção de conceitos livres até uma solução tangível de produto.

Mais precisamente acordo com Clark e Fujimoto (1991), o desenvolvimento de produto é o processo pelo qual uma organização transforma as informações de oportunidades de mercado e de possibilidades tecnológicas, em informações vantajosas para a fabricação de um produto. Esta perspectiva do desenvolvimento de produto como um sistema de informação se estende além do projeto de engenharia, englobando a produção, marketing, serviços pós-venda e o próprio comportamento do consumidor.

Com o objetivo de possibilitar uma melhor visualização do PDP, apresenta-se, na figura 3.2, as etapas que compõem esse processo, que podem contar com pequenas variações de conteúdo ou denominações para cada empresa em particular (Clark e Fujimoto, 1991).

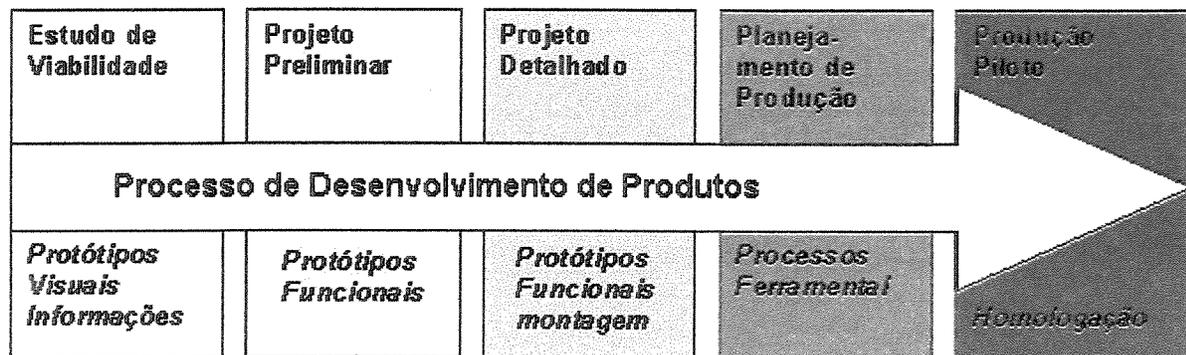


Figura 3.2 – Gráfico sobre a evolução do Processo de Desenvolvimento de Produtos.

Estudo de Viabilidade: Esta etapa, busca informações sobre as necessidades de mercado, as possibilidades tecnológicas e a viabilidade econômica do produto. Essas informações são integradas para futuramente serem empregadas à geração do conceito do novo produto. Este tem como funções básicas, estruturas e ou mensagens associadas, que irão atrair e satisfazer os consumidores.

Projeto Preliminar: Fase em que o conceito do produto deve ser traduzido em premissas mais concretas como: estilo, leiaute e a escolha de seus componentes, que devem ser planejados e concebidos, de uma tal maneira que seus custos sejam especificados. Nesta etapa, deve ser dado o início à construção dos protótipos (geralmente visuais) para a avaliação de estilo e leiaute.

Projeto Detalhado: Compõe-se da transformação das informações geradas na fase anterior em desenhos e normas, ou seja, a transformação das informações geradas nas fases de Conceito e Planejamento do Produto em um projeto específico e detalhado do produto, com dimensões e características reais, envolvendo a criação de protótipos (geralmente com capacidades funcionais) e realização de testes.

Planejamento de Produção: Etapa que envolve a tradução das especificações do projeto do produto em projeto do processo em vários níveis tais como fluxograma do processo, projeto de ferramentas e equipamentos, projeto de trabalho, habilidades dos funcionários e procedimentos de operações, que serão empregados no processo de fabricação.

Produção Piloto: Fase que compreende a produção para teste em que se inicia a produção do produto simulando as condições normais de operação da fábrica, de forma a produzir os primeiros exemplares do produto para teste e homologação e realizar os acertos finais no processo de fabricação.

Embora como visto netas etapas de DDP o uso de protótipos é um fator muito importante, contrariamente sua aplicação, tanto no Brasil como no mundo, ocorre em um índice muito baixo, como consequência do tempo e do custo associado à sua fabricação (Reinhart & Breitinger, 1997). As empresas de maneira errônea iniciam a execução de protótipos somente no estágio em que o projeto do produto esta totalmente definido.

O protótipo acaba sendo a checagem final de que tudo àquilo que se vinha trabalhando há meses, com grandes investimentos em tempo e espécie resultou de fato no produto que haviam idealizado inicialmente.

Isso se dá por dois motivos correlatos, que são:

- Longo tempo de construção de um protótipo convencional: devido muitas vezes ao seu processo ser arcaico, até mesmo artesanal;
- Alto custo do protótipo: produzido por profissionais qualificados, verdadeiros artesãos, cada vez mais escassos no mercado.

Porém basicamente no Brasil, quando se iniciaram as atividades da Divisão para Desenvolvimento de Produtos, constatou que, fazer protótipos convencionais era prática apenas de empresas de grande e algumas de médio porte. Micro e pequenas empresas estavam longe desse universo da prototipagem, pior ainda havia um conceito formado que se prototipagem convencional já era cara então a prototipagem rápida seria uma coisa impensável, portanto o quadro se apresentava deste modo bem adverso ao que propunha a DDP.

A DDP visando cativar as primeiras empresas para essa tecnologia de PR e mais ainda com objetivo de treinamento no uso dela, começou a oferecer testes gratuitos nos primeiros três meses de atividades. Foram executados protótipos de vários tipos de produtos, logicamente com acertos e muitos erros, mas que propiciaram experiências e tornaram o CenPRA conhecido como prestador de serviços nesta área.

Pouco a pouco as empresas passaram a entender o sentido e a aplicabilidade da PR (figura 3.3) e mais que isso começaram cada vez mais a utilizar protótipos rápidos de produtos em

estágios mais precoces do PDP, como no de planejamento do produto. Certas empresas evoluíram na utilização de PR onde ela passa a acompanhar todo DDP, sendo gerados protótipos rápidos com objetivo visual algumas vezes até sem detalhes internos e que com o transcorrer do desenvolvimento vão sendo modificados e ganhando detalhes de montagem e aplicação se transformando em protótipos rápidos funcionais.

Algumas empresas passaram inclusive a usar a PR para produção direta de peças finais por serem produtos que geralmente possuem as seguintes características: construção complexa, baixíssima demanda, baixa responsabilidade estrutural e alto valor agregado.

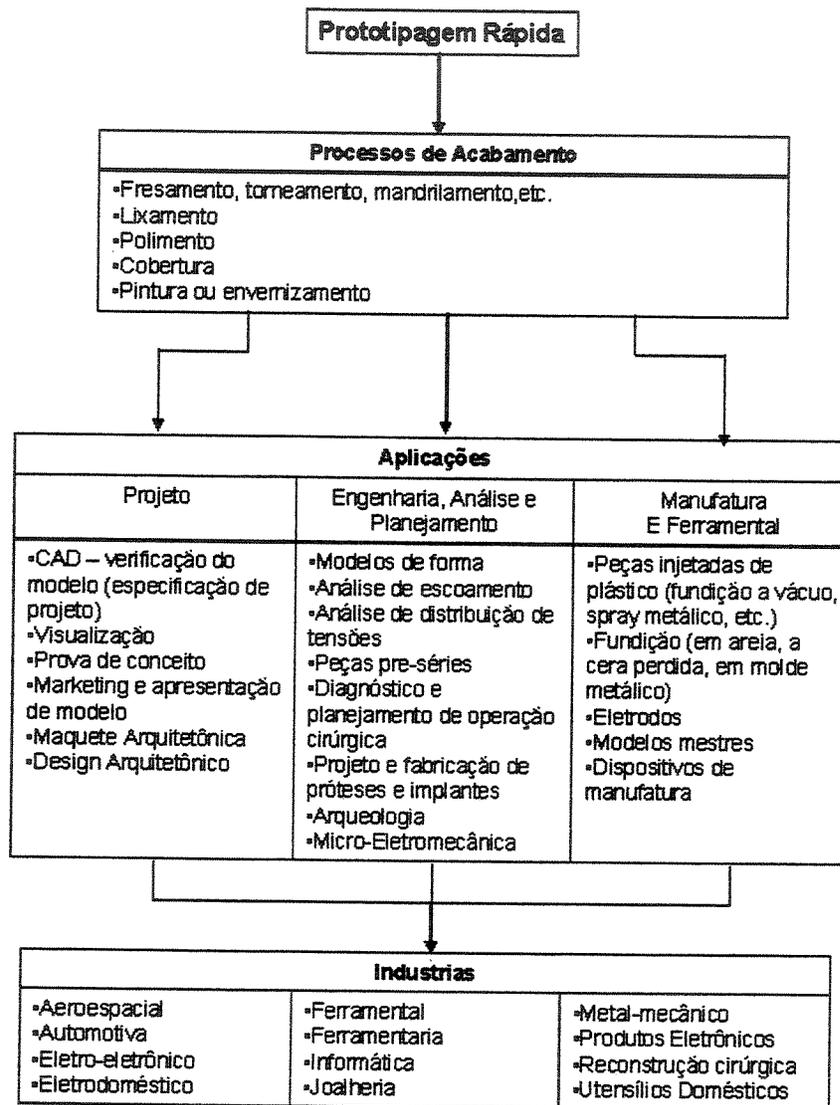


Figura 3.3 – Possibilidades de aplicação da PR.

3.3 – Processo de Elaboração de Protótipos

A execução de um protótipo através da PR demanda geralmente uma quantidade de processos iterativos seqüenciais que cobrem todo o trabalho de elaboração do protótipo. Desde a hora em que nasce como um modelo matemático computacional e tridimensional até a hora que sai do mundo virtual e se transforma numa peça física para satisfazer as ansiedades táteis de seu idealizador. Essa seqüência de passos, que podem ser iterados até que um modelo satisfatório seja obtido, na verdade são sete descritos a seguir:

1. **Modelagem Tridimensional** (figura 3.4): Um pré-requisito da PR, o qual pode ser compartilhado por toda equipe de projeto para diferentes propósitos, como estudos de interferência, análise de esforços, detalhes de projeto, referência para desenho, planejamento de manufatura, incluindo-se programação de Controle Numérico. O modelo tridimensional usualmente é desenvolvido em programas CAD/CAM avançados, que possam criar modelos sólidos ou de superfícies totalmente fechadas. A inexistência de um modelo 3D por parte das empresas que procuram empresas prestadoras de serviço em PR para execução de um protótipo, na maioria das vezes pelo desconhecimento da tecnologia, acaba onerando e atrasando a execução do protótipo. Várias vezes fornecem arquivos em muitas formas que não a tridimensional, como CAD 2D, desenho em papel, peça física e outros. As empresas devem se conscientizar sobre os benefícios do uso de modelos tridimensionais não só para PR como também para as demais aplicações acima descritas.

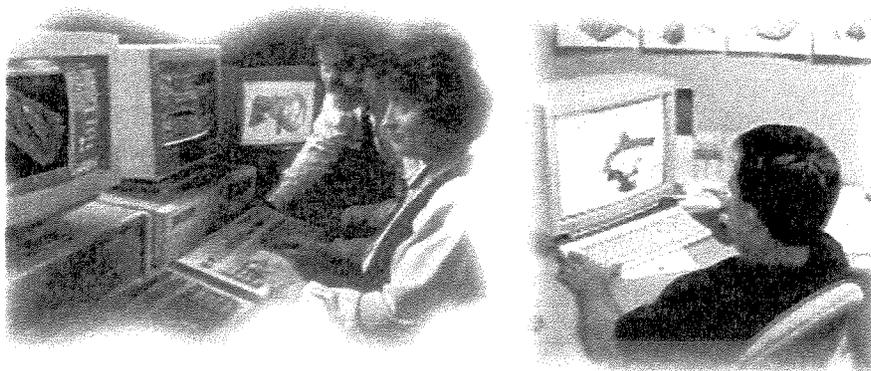


Figura 3.4 – Ambientes de trabalho em Sistemas CAD.

2. **Conversão de Dados:** Os modelos sólidos ou de superfícies fechadas depois de executados são então convertidos em um arquivo no formato STL. Formato de arquivo criado pela empresa 3D Systems, pioneira do Sistema de Estereolitografia. O formato de arquivo STL (figura 3.5) aproxima-se as superfícies do modelo tridimensional usando inúmeros minúsculos triângulos, isso significa que para superfícies muito curvas ou irregulares os arquivos no formato STL podem ser muito grandes. Quase todos os sistemas CAD/CAM do mercado suprem interfaces CAD-STL. Desde 1990, um grande número de sistemas CAD/CAM desenvolveram e integraram estas interfaces em seus sistemas. Na verdade em todo o processo a conversão é o passo mais simples e rápido, porém se os parâmetros de controle de criação do arquivo STL não forem meticulosamente definidos, podem ser gerados arquivos tridimensionais com acabamento superficial muito ruim. O modelo STL então apresenta muito facetamento, para evitar isso se orientam os usuários quanto aos acertado uso desses parâmetros, os quais se apresentam de forma diferente e com nomenclaturas diferentes em cada Sistema CAD/CAM.

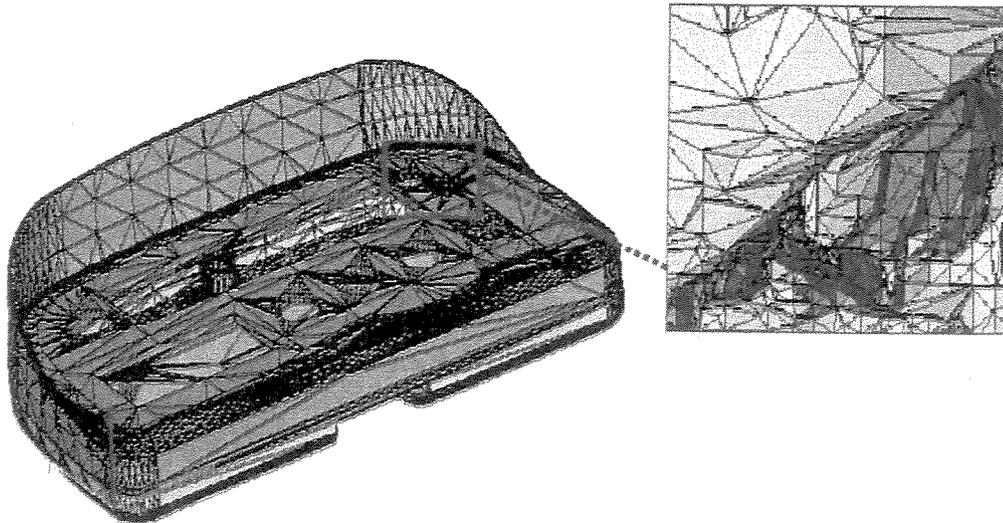


Figura 3.5 - Visualização de arquivos STL.

3. **Transmissão:** O propósito deste estágio é a transferência dos arquivos tridimensionais em STL ou outro padrão que depois será convertido em STL, no sentido do cliente para a empresa prestadora de serviço em PR. Isso é feito geralmente através da Internet (figura 3.6) utilizando-se comumente o e-mail com arquivos compactados, em casos de arquivos demasiadamente grandes faz-se uso do Protocolo de Transferência de Arquivos – FTP. Acontece então o surgimento de uma comunidade de clientes virtuais de PR, cujos meios de comunicação são fax e telefone ou através Internet onde são transformados bits em produtos concretos, não importando em que lugar da Terra cada um esteja.

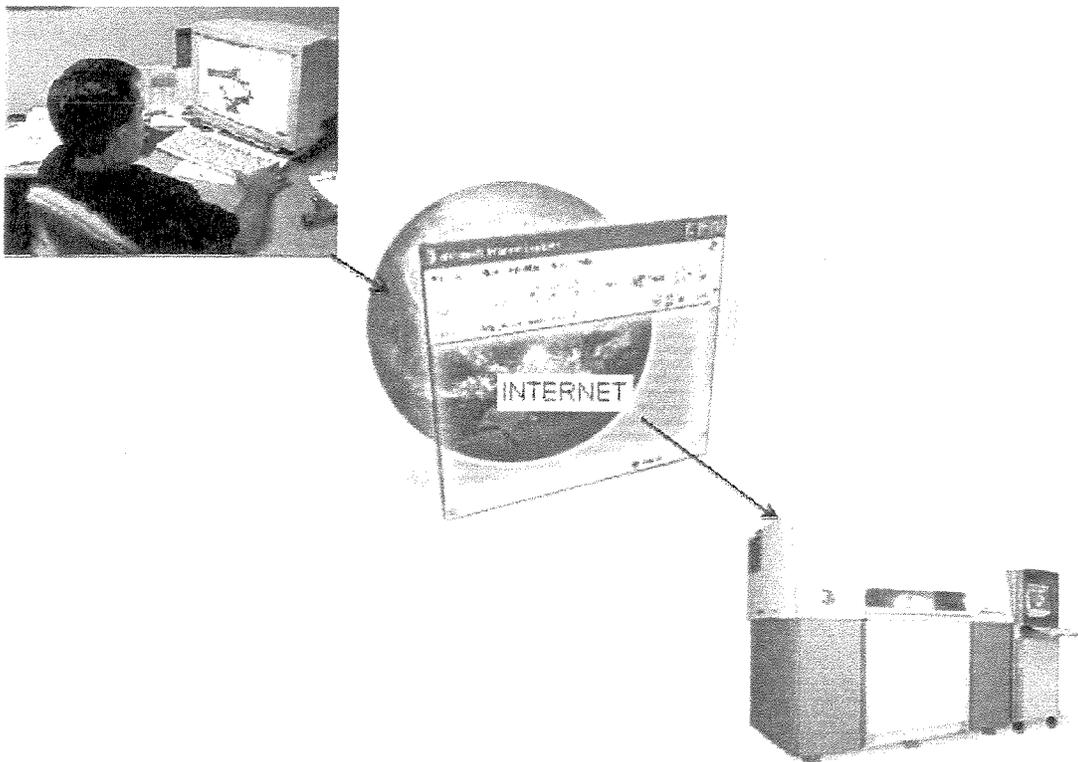


Figura 3.6 – Esquemático de transmissão de dados STL tridimensionais para execução de PR.

4. **Checando:** Como em todo setor computacional toda má informação que entra gera conseqüentemente uma má saída, um mal resultado. Assim também acontece com a PR onde muitos clientes iniciantes se frustram e até se irritam ao descobrir que embora seus modelos tridimensionais parecessem perfeitos acabaram gerando arquivos STL falhos. Esses erros devem-se realmente a erros do modelo CAD ou a interfaces CAD-STL ainda não robustas o suficiente. Os erros mais comumente encontrados são: superfícies ou mesmo triângulos com a normal invertida, ou seja, uma inversão entre o que é o interno e o que é o externo do modelo; buracos de superfície não são geralmente vistos no modelo CAD e que só aparecem quando é gerado o STL; erro de borda (*bad edge*), onde as bordas de superfícies contíguas não estão devidamente conectadas surgindo falhas minúsculas nas bordas e mínimas paredes possíveis, pois existe no caso do SLS uma limitação na espessura de parede em 0,5 mm mínimo. Considera-se o programa Magics (figura 3.7) um dos mais eficazes e indicados no auxílio a resolução de muitas das falhas dos arquivos STL. O Magics foi desenvolvido e é comercializado pela empresa Materialise NV que se situa na Bélgica, na cidade de Leuven, a qual é fornecedora mundial de outros vários aplicativos para prototipagem. A Materialise trabalha em parceria com universidades e centros de pesquisa europeus, conseguindo resultados inovadores. Possui um centro de serviços equipado com máquinas de diversos fabricantes e presta serviços para empresas de toda a Europa. Dispõe, entre outros, de sistemas para reparação e preparação de arquivos para prototipagem; importação, segmentação e reconstrução 3D de imagens médicas para prototipagem; auxílio e geração de padrões para implante dentário via prototipagem rápida. Esta resolução de falhas embora tenha atividades automáticas, a maioria delas ainda é manual e muitas vezes demorada e complexa. Quando não é possível, por um motivo ou outro, isentar totalmente o arquivo de falhas ou se o tempo de reparo do arquivo se apresenta tão grande que seu custo vai onerar a execução do protótipo o cliente é orientado a gerar novamente o arquivo STL tento corrigir os erros decorrentes da geração o dos próprios arquivos 3D.

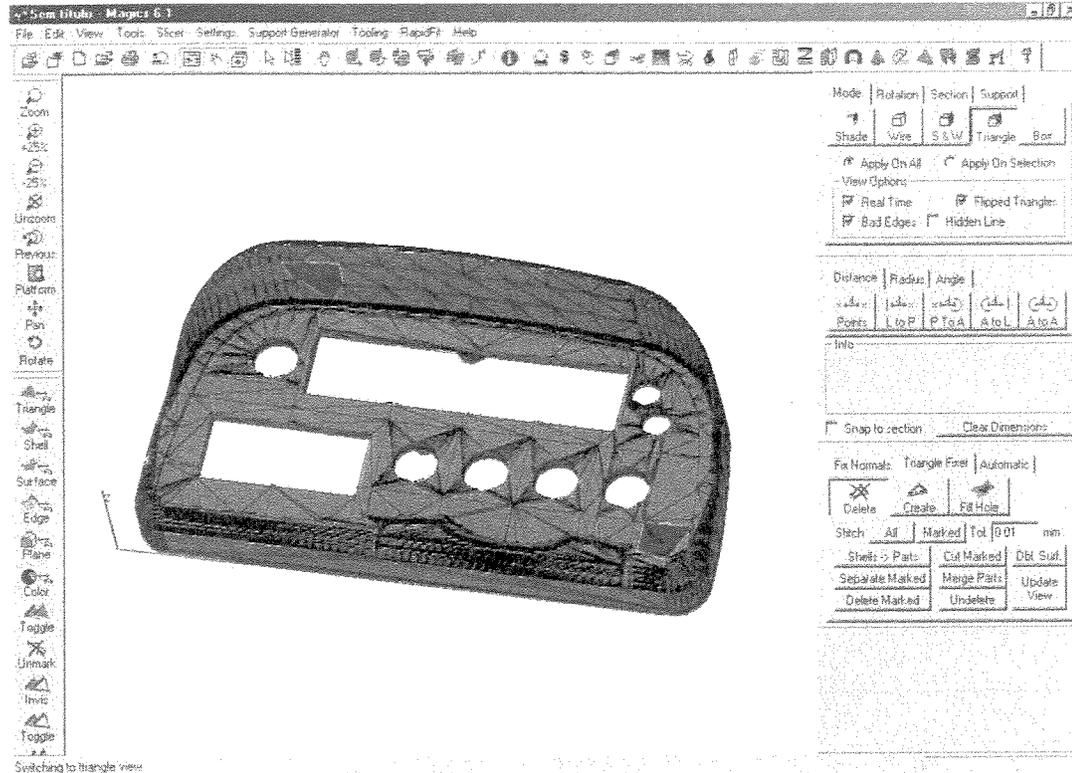


Figura 3.7 – Exemplo do programa Magics de checagem de arquivos STL.

5. **Preparando:** Uma vez os arquivos verificados e livres de falhas utiliza-se o programa Magics RP também para auxiliar no posicionamento de cada protótipo dentro do pacote volumétrico em que serão produzidos. Embora haja uma boa parte automatizada no que diz respeito a colisões de peças e outras funções, a inserção da mão-de-obra técnica especializada é imprescindível. É encontrada na literatura de PR, constantemente, a afirmação que o equipamento de PR independe da interferência do técnico operador, porém como é constatado no que se refere a tecnologia SLS de PR isso não é verdade, Os excelentes resultados que foram obtidos e que hoje se obtém em termos de qualidade, precisão e resistência se deve às metodologias implantadas, a abnegação e competência do corpo técnico operacional. O posicionamento do protótipo de acordo com o que se deseja dele em resistência ou flexibilidade, análise da ocupação ótima versus a ocupação segura do envelope volumétrico de produção e a determinação da escala de contração que será usada, pois a matéria prima é basicamente um termoplástico. Todas essas atividades fazem parte das atividades dos técnicos na

preparação do protótipo se alongam até a execução e encadeiam-se com atividades deles nesta fase que será vista a seguir.

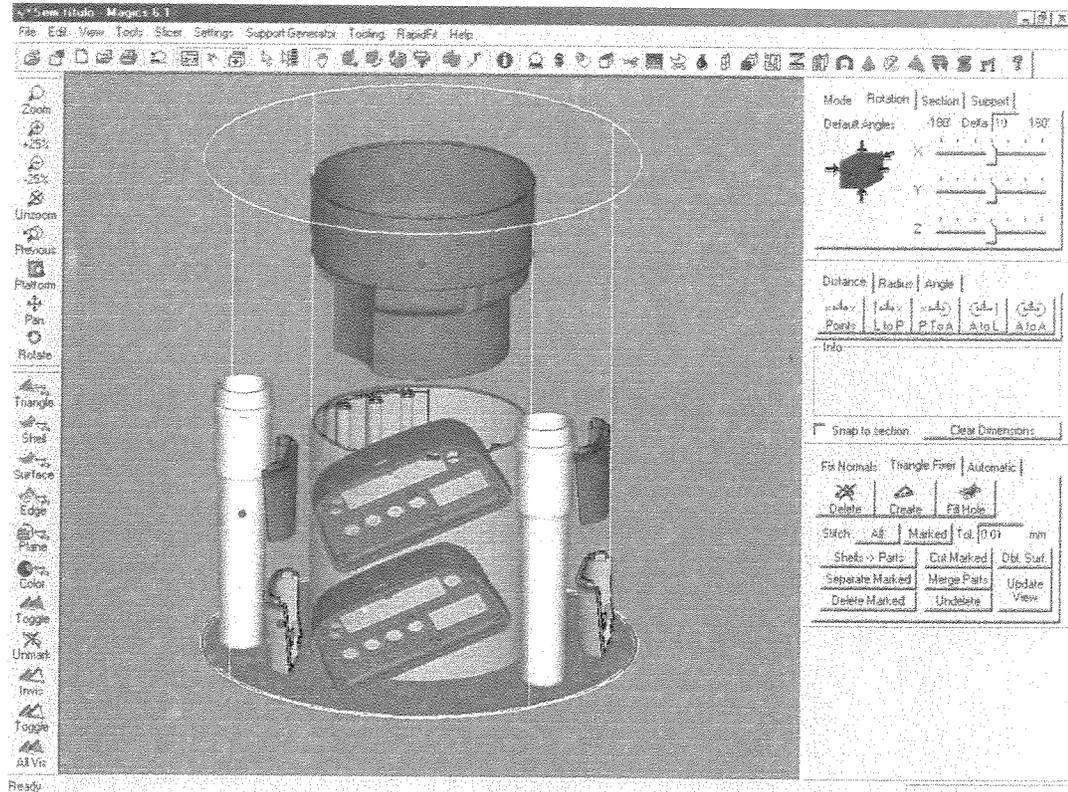


Figura 3.8 – Exemplo de posicionamento de peças para execução de PR.

6. **Produzindo o Protótipo:** Aqui cabe uma explicação sobre algumas palavras que fazem parte do jargão de produção da PR, como: “*build*” ao envelope volumétrico de produção; “rodada” execução do *build* que tem um ciclo geralmente de 03 dias e “bolo” que é o volume de pó de poliamida com os protótipos sólidos dentro. Os ciclos de 03 dias foram definidos com o objetivo de sempre iniciar a rodada com o *build* com o maior volume tomado por protótipos, isso sempre faz com que se ofereça um preço cada vez mais justo ao cliente. Com o tempo verificou-se que os ciclos funcionam melhor se iniciados nas segundas, quartas e sextas-feiras adequando-se ao ciclo de acumulo de pedidos e aprovações de propostas. Nesta fase quem assume totalmente é a equipe técnica operacional efetivando o seguinte conjunto de atividades:

- verificando a matéria prima requisitada pelo cliente,

- fazendo a carga da mesma no equipamento,
- iniciando o pré-aquecimento, verificando a carga de nitrogênio necessária para inertização do equipamento,
- transferindo o pacote de protótipos do *build* do computador onde se trabalhou com o programa Magics para o computador do equipamento de PR via rede local.
- cada *build* tem numeração própria e todo seu processo é registrado documentalmente em Folha de Processo (Anexo B) além disso o equipamento mantém um registro interno de todas as variáveis, tais como temperaturas, potência do laser e outras, para efeito de diagnóstico em caso de algum problema durante a rodada.

Com os anos aprendeu-se também que o processo de sinterização se assemelha muito com o de injeção, pois estão ambos trabalhando com termoplásticos e a temperatura é que comanda o espetáculo, um grau a mais, um grau a menos, pressa em resfriar o protótipo e um empenamento pode acabar com todo seu trabalho.

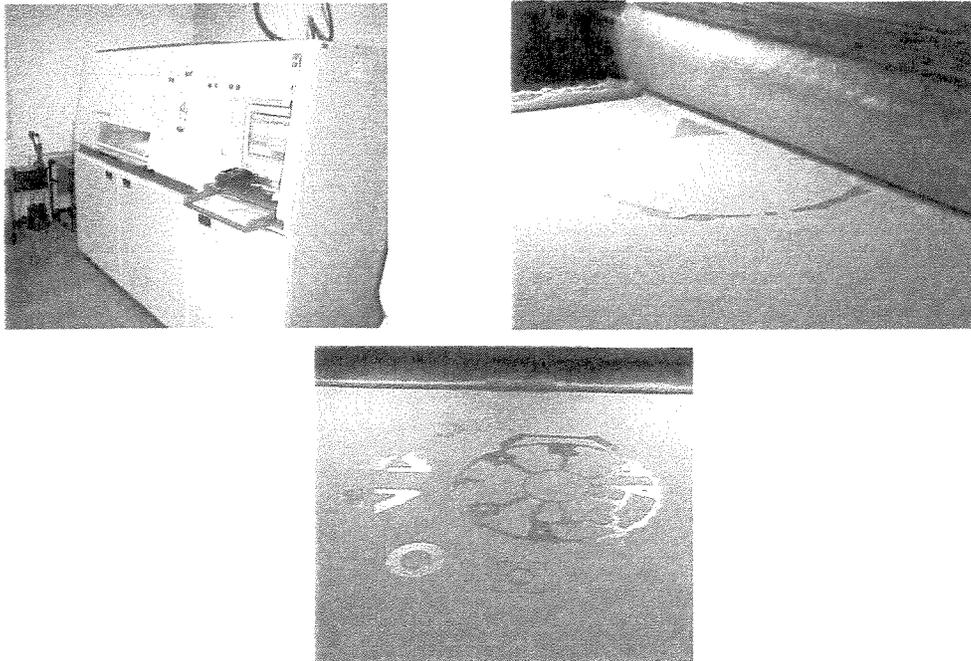


Figura 3.9 – Imagens de um equipamento (SLS) de PR e de fases do processo.

7. **Pós-processo:** Como foi dito anteriormente um forte motivo para optar pela tecnologia SLS é por não haver necessidade de qualquer tipo de suporte devido à utilização de material em pó, que atua como suporte para a peça. Descobriu-se que muitas das melhores ferramentas para tratar com esse pós-processamento que basicamente era escovar as superfícies do protótipo, pertenciam mais ao ambiente doméstico (escovas de dente, escovas de tapete, hastes de metal, etc) do que ao industrial. Após essa primeira limpeza com escovas as peças são jateadas com micro esferas de vidro e limpas com jatos de ar. Posteriormente é feita uma aferição nas pedidas principais dos protótipos para verificar a confiabilidade do sistema e saber se é necessário um ajuste na escala de contração. Todas as peças então são fotografadas e essas fotos arquivadas com o numero do *build* referente (Anexo B). Essas fotos são feitas pelos seguintes motivos: manter uma memória visual sobre cada processo, ser um material de informação numa confrontação resultados e em alguns casos clientes distantes tem muito interesse em receber estas fotos para análises primárias.



Figura 3.10 – Seqüência das etapas de pós-processo.

3.4 – Pequenas Empresas, Grandes Inovadoras de Produtos

Contrariamente ao que se pensava antes da 2ª Guerra Mundial, a importância das pequenas empresas para o desenvolvimento equilibrado das atividades empresariais foi somente percebida após o final da Guerra, quando as crises que se seguiram mostraram a existência de um grande potencial dos pequenos negócios se sustentarem e desenvolverem tecnologia (Mello apud Ramos, 2000).

Na América Latina, a participação das pequenas empresas é maior que nos países francamente industrializados, tanto na produção, como na comercialização e geração de empregos. As pequenas empresas atuam como um fator de estabilidade política ao propiciarem a desconcentração do poder econômico, e também como fator de distribuição de renda e mobilidade social.

Nos EUA as pequenas empresas correspondem a 90% do total de empresas, oferecem 50% dos empregos privados e são responsáveis por 60% a 70% das novas ocupações criadas.

No Japão, representam 98% do total de empreendimentos e ocupam posição de destaque no comércio exterior.

Na Comunidade Européia, as pequenas empresas correspondem a 92% dos 16 milhões de empresas da Comunidade.

Dados mais recentes que atestam a importância relativa das pequenas empresas na economia do Estado de São Paulo. As micro e pequenas empresas respondem por 97% dos estabelecimentos formais existentes no estado, desse total 84% são microempresas e 13% de pequeno porte. Se forem também consideradas as empresas informais, essa participação é maior ainda (Mello apud Ramos, 2000).

Do ponto de vista de política tecnológica, existem argumentos relacionados com o papel das pequenas empresas como fonte de novas idéias e inovações. Esses argumentos são os seguintes (Rothwell e Zegveld, 1982):

- Pequenas empresas têm grande habilidade em produzir inovações, isso sugere que em certos setores industriais, pequenas empresas são responsáveis por uma fatia muito maior de inovações radicais. Este perfil empreendedor é responsável por criação de novas combinações tecno-econômicas sobre as quais o crescimento econômico é baseado;
- Mudanças tecnológicas são melhores promovidas num sistema que utiliza o potencial de simbiose entre pequenas, médias e grandes empresas, que deriva do fato de que a primeira é adepta da inovação radical e a última tem suficiente recurso para desenvolver com sucesso e em escala de produção;
- As contribuições das pequenas empresas na inovação tecnológica se distinguem entre linhas de produtos em um estágio muito rápido ou fluido de desenvolvimento, e setores mais maduros são caracterizados por tecnologias industriais específicas.
- Empresas no estágio fluido de desenvolvimento são caracterizadas por altas taxas de inovação em produtos, competição baseada em maximização da performance ao invés de preços, tamanho pequeno, organização empreendedora mais livre e o uso de tecnologia de fabricação com fins gerais com trabalho relativamente especializado. Ao contrário, quando a linha de produto torna-se madura, os produtos individuais ficam mais padronizados, quase “commodities”; a mudança de processo tende a ser predominantes em relação a mudança de produtos; competição é primariamente com base na minimização de custos e pequena diferenciação de produto; a empresa começa a ficar maior, mais hierarquizada e com fortes divisões, junto com linhas funcionais, equipamentos de produção ficam mais especializados, e as modificações de produtos mais difíceis.
- Cálculos feitos pela NSF (*National Science Foundation*, dos Estados Unidos) em 1976, com base em estatísticas de P&D sugerem que, se confrontada inovação medida contra dispêndio em P&D, pequenas empresas tem tido muito melhor performance que as grandes empresas. Os argumentos acerca da contribuição das pequenas empresas para a

inovação parecem, entretanto, requerer uma análise setorial. Somente em certos setores industriais que as inovadoras pequenas empresas estão em posição de contribuir para o desenvolvimento tecnológico, entrar e se manter em produção sem encontrar acentuadas barreiras.

Desde a II Guerra Mundial 50% de todas as inovações e 95% de todas as radicais inovações têm sido originadas em novas e pequenas empresas. Incluem-se nessas inovações o microcomputador, o marca-passo, entregas de pacotes *overnight*, troca rápida de óleo, *fast food*, contraceptivos orais e equipamentos de raio-X .

A descrição da “Empresa Inovadora Típica”, segundo as informações coletadas em pesquisa que definiram as cem empresas inovadoras na Iberoamérica, tendo em vista a media das respostas obtidas. O perfil da empresa inovadora seria:

- Contar com cerca de 66 empregados, dos quais 31% profissionais especializados;
- Faturamento em torno de US 37.000 por trabalhador ao ano;
- Vendas sofreram aumento de 37% nos últimos anos;
- Investimento em P & D representando 4% das vendas;
- A media de investimento por projeto de inovação foi de:
 - US 156.000, na etapa de investigação,
 - US\$ 180.000 em aquisição de máquinas e modificação da linha de produção
 - US\$ 54.000 para o conceito de mercado;
- O período médio entre o início da investigação e o lançamento do produto foi de pouco menos de 2 anos.

Esse estudo da NSF também mostrou que as empresas inovadoras de pequeno porte investem proporcionalmente mais em P & D, enquanto que as empresas maiores investem mais em máquinas e equipamentos. Além disso, pequenas empresas inovadoras desenvolvem produtos e processos que não requerem grande investimento inicial em capital fixo, ao contrário do que acontece com as grandes empresas inovadoras. As empresas inovadoras de pequeno porte investem em média US\$ 400.000,00/ projeto, enquanto que as grandes investem, em média, US\$ 2.300.000,00. A pequena empresa inovadora é praticamente em sua totalidade uma organização

de P&D e a para a tendência a inovação parece estar relacionada ao pessoal, a qualidade que buscam para seus produtos, a motivação intrínseca, a liderança e a dedicação sistemática as atividades de P&D.

Portanto conclui-se desse modo que:

- Existe do ponto de vista corporativo uma correlação significativa entre esforço tecnológico, vendas, exportações, produtividade e utilidade;
- Idéias inovadoras surgem dentro das empresas, orientadas por sinalizações do mercado;
- Estratégia empresarial reside na força própria, independentemente dos fatores externos;
- Os fatores-chave são a motivação, o clima interno, a participação, a cultura inovadora e o esforço sistemático.

Vantagens e Desvantagens na inovação das pequenas, médias e grandes empresas estão em grande parte focadas na questão de vantagens e desvantagens em escala. Entretanto, entende-se que uma análise mais detalhada requer que se considere o setor onde as empresas atuam, uma vez que cada um tem uma série requerimentos tecnológicos e de mercado próprios.

A análise do desenvolvimento econômico impõe que se considere a idade do setor e o seu estágio de desenvolvimento. Assim, há vantagens relativas em inovação das novas pequenas empresas de base tecnológica operando com uma tecnologia emergente num mercado fluido são diferentes daquelas vividas por pequenas empresas estabelecidas há muito tempo operando em áreas tradicionais, como têxteis e calçados. Igualmente, as vantagens e problemas das pequenas empresas em um estabelecido segmento, mas entretanto de base tecnológica, como por exemplo, o de equipamentos científicos, pode ser diferente em alguma extensão daquelas acima citadas. Entretanto, a despeito dessas diferenças, os autores entendem que generalizações podem ser feitas (Rothwell & Zegveld, 1982).

Entre as vantagens consideram as seguintes:

- **Marketing** – Pequenas empresas desenvolvem certas capacidades em certas áreas tecnológicas, servindo um estreito mas sofisticado mercado. Através do contato estreito com os clientes elas mantêm-se próximas das freqüentes mudanças da demanda do

mercado, e são capazes de reagir imediatamente e eficientemente às demandas tecnológicas e de mercado. Não sofrem com a inércia da burocracia que freqüentemente aflige as grandes empresas.

- **Gerenciamento dinâmico e empreendedor** – Geralmente são controlados por empreendedores dinâmicos que agem flexivelmente para potencializar vantagens de novas oportunidades ao contrário do que ocorre nas grandes empresas. Um segundo ponto é os empreendedores que fundaram suas empresas com a produção de uma particular inovação são talvez mais dispostos a assumir novos riscos em projetos de inovação do que os gerentes de grandes empresas os quais são geralmente controlados por contadores com aversão aos riscos. Além disso, a seleção formal de projetos e técnicas de avaliação geralmente empregadas para tomadas de decisões nas grandes empresas que podem conter viés contra inovações de alto risco.
- **Comunicação interna** – o gerenciamento eficiente de uma organização necessita de boa comunicação interna. Pequenas empresas têm vantagem sobre as grandes sob este aspecto tendo em vista a facilidade de organização da comunicação interna. Existe menor necessidade de se estabelecer redes formais sofisticadas de comunicação em pequenas empresas, onde a comunicação é mais informal e reativa, e onde, geralmente, ocorrem rápidas respostas aos problemas internos e na reorganização para adaptar-se ao ambiente externo. Também melhora o relacionamento entre os trabalhadores que pode, por seu turno, facilitar a adoção de inovações em equipamentos de produção.

Entre as desvantagens, são citados:

- **Recursos Humanos** – Inovação e, particularmente, inovação radical, requer o uso de engenheiros e cientistas qualificados. As pequenas empresas normalmente não possuem departamentos de P&D e podem somente despende pequenas somas em desenvolvimento tecnológico. Assim, experimentam grandes dificuldades em atrair e financiar a manutenção em bases permanentes de engenheiros e cientistas. Neste caso faz-se necessário citar os avanços nessas áreas com aplicações das incubadoras de empresas em universidades assim como da busca de melhores competências no uso de Cadeias de Desenvolvimento de Projeto.

- **Comunicação externa** – Para permitir que uma empresa faça um planejamento e avaliação adequada da inovação, uma grande quantidade de informação é necessária sobre vários aspectos, como situação do mercado, novos desenvolvimentos tecnológicos, fontes de assistência técnica, medidas governamentais de promoção, etc. Devido à falta de recursos, as pequenas empresas estão em desvantagens em juntar e analisar essas informações.

Também a inexistência de dados públicos sobre os desenvolvimentos do setor de pequenas empresas industriais ou sobre mercados específicos, os quais seriam mais úteis do que informações macroeconômicas, trazem desvantagens para as pequenas empresas. Afirmam ainda alguns autores que a área na qual as pequenas empresas têm desvantagens em comparação as grandes empresas são em obter informação científica e tecnológica. Como resultado disso, as pequenas empresas passam a procurar idéias principalmente de fontes internas perdendo consciência de novas tendências e oportunidades:

- **Técnicas e práticas de gerenciamento** – Enquanto as pequenas empresas desfrutam a vantagem do gerenciamento aberto e dinâmico, em áreas industriais tradicionais elas podem ter a desvantagem da falta de maior capacidade no uso de técnicas gerenciais, muitas vezes devido ao caráter autocrático de seus empreendedores.
- **Finanças** – Inovação têm alto custo e alto risco e as pequenas empresas geralmente não possuem recursos. Certamente poucas empresas podem diversificar o risco desenvolvendo vários projetos simultaneamente, ao contrário das grandes empresas.
- **Economias de escala e abordagem sistêmica** – Em algumas áreas a economia de escala impõe uma substancial barreira a entrada de pequenas empresas (automóveis, bens de consumo duráveis). Entretanto, as pequenas empresas podem desempenhar um papel importante no suprimento de componentes e sub-montagens para as grandes empresas.
- **Problema de crescimento** – Durante o pós-guerra muitas das novas empresas de base tecnológica, inicialmente pequenas, cresceram rapidamente. Outras empresas, freqüentemente em tradicionais áreas da indústria, permaneceram pequenas por muitos anos, e parecem ter pouca ambição para o crescimento. As razões para o não-crescimento são muitas e variadas, indo de fatores econômicos a fatores sociológicos.

3.5 – Pequenas e Médias Empresas Utilizando as Vantagens da PR

A PR é um termo que abarca um range muito grande de novas tecnologias para produção acurada de peças diretamente de um modelo CAD tridimensional em poucas horas, com pouca intervenção humana. Isto significa que projetistas têm liberdade para produzir modelos físicos a partir de seus modelos virtuais mais freqüentemente, permitindo a checagem funcional e de montagem do projeto assim como discutir sobre as várias versões executadas antes do início definitivo da produção.

A percepção espacial de uma peça muitas vezes muitas é de difícil interpretação. Quando apresentada em uma forma “virtual”, seja em desenho bidimensional no papel ou computador, seja na forma tridimensional computacional (CAD) acarreta um considerável tempo para sua total compreensão, pois se iguala a rápida percepção tridimensional tátil que desfrutar no protótipo como se pode comparar na figura 3.11.

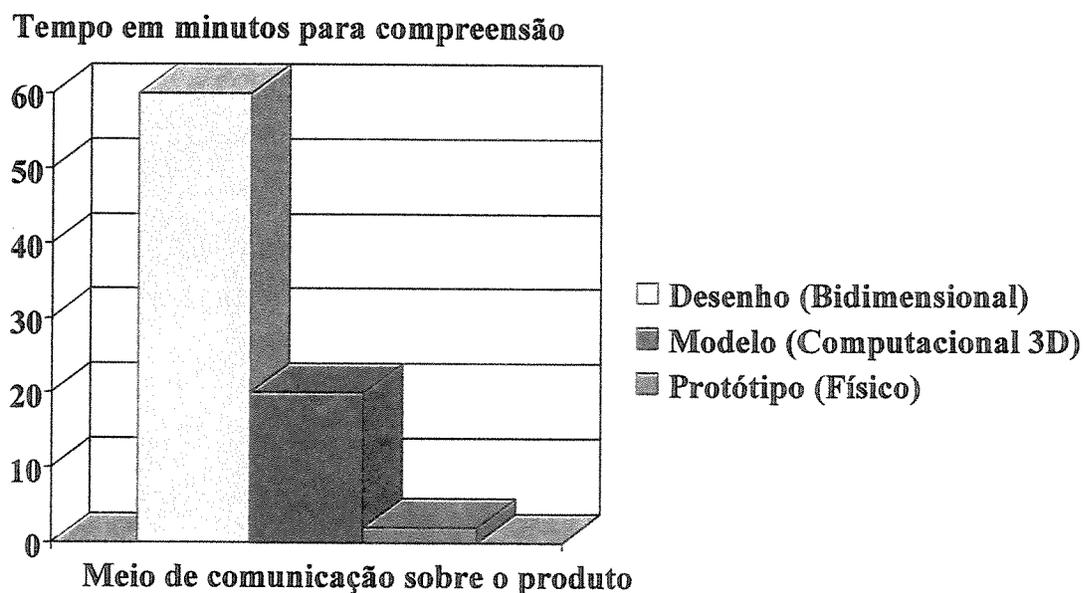


Figura 3.11 – Gráfico sobre a velocidade de comunicação da informação tridimensional.

Com esse aumento de compreensão do produto conseqüentemente minimizam-se os erros, assim os custos do PDP podem-se ser cortados em até 70% e o time-to-market diminuído em até 90%, obviamente dependendo do tipo de produto e do grau caótico do PDP da empresa.

3.5.1 - Benefícios Gerais da PR - Pode-se dizer que a PR traz, a priori, os seguintes benefícios:

- Diminui o prazo de lançamento (*Time-to-market* ou *concept-to-customer*).
- Diminui os custos de projeto por unidade.
- Diminui os custos de garantia por unidade.
- Diminui os custos de manufatura por unidade.
- Diminui o tempo de otimização dos protótipos matemáticos e físicos.
- Linha de base concreta para uma comunicação entre usuários e colaboradores.
- Incentiva a inserção precoce dos participantes do DPD.
- Permite a observação imediata das conseqüências das decisões do projeto.
- Pode ajudar com na decisão de escolha de fornecedores, tanto de serviços como de produtos.
- Pode ajudar a vender para a gerência uma idéia de um produto novo.

De maneira mais ampliada é possível elencar os benefícios específicos nas áreas de projeto de produtos, projeto de ferramental/manufatura e de maneira indireta marketing.

3.5.2 - Benefícios de PR em Projeto de Produtos:

- Pode-se aumentar a complexidade estética do produto com pequenos efeitos no lead time e custo. Mais orgânico, formas esculturais atendendo razões funcionais ou estéticas podem ser acomodadas.
- Otimização de projetos de peças para atender aos requisitos dos clientes, com pequenas restrições de manufatura.
- Reduzir preço das peças pela combinação de várias características em uma peça única.

- Projetar com o mínimo de restrições o formato das peças sem se preocupar com ângulos de saída, linhas de partição ou outras restrições. Minimizar o as discussões de tempo de consumo e avaliações de possibilidades de manufatura.

3.5.3 - Benefícios de PR em Projeto de Ferramental/Manufatura:

- O engenheiro de manufatura pode diminuir o tempo de execução de projetos, dispositivos e ferramentas.
- Verificar as necessidades de detalhes especiais no ferramental.
- Verificar ângulos de saída e necessidades de dispositivos-gaveta.
- Testar linhas ou dispositivos de montagem do futuro produto.

3.5.4 - Benefícios de PR indiretos ao Marketing:

- Apresentação adianta ao público.
- Testes de aceitabilidade.
- Opções de formas variadas para análise.
- Peça antes do concorrente no mercado o melhor do marketing.

3.5.5 – Cautelas no uso de PR – Muitas armadilhas e ilusões cercam usuários inexperientes de PR, tais como:

- O uso da PR necessita de uma cooperação da gerência, dos colaboradores, e dos usuários.
- Os gerentes podem ver a PR como um aplicação desperdiçadora do montante de verba endereçada ao projeto.
- Os gerentes e/ou os clientes e/ou o marketing podem querer ver o protótipo já como o produto final.
- O protótipo pode ser tão re-trabalhado pelos usuários que a razão para que foi feito passa a ser esquecida, não ter mais sentido.

- A competência da tecnologia de PR pode influenciar o projeto de maneira negativa por propiciar soluções geométricas e de execução impossíveis em outros processos ou equipamentos.
- Possibilidade de das empresas empenharem prazos com seus clientes muito menores do que a PR é capaz. Vale aqui o dito: “A prototipagem é rápida, mas não mágica”. Daí a importância de esclarecer fortemente os usuário de PR sobre seus limites.

3.5.6 - Tecnologia de prototipagem - A escolha da tecnologia de produção do protótipo, embora possa se considerar todas as características técnicas já abordadas na página 50, depende em muitas vezes da quantidade de peças e do tempo que a empresa tem disponível para execução das mesmas como pode ser visto na figura 3.12.

Numa pequena quantidade de peças para um curto prazo de tempo ou para uma razoável quantidade de peças a serem executadas num prazo maior a PR seria o meio mais indicado, contudo ressalva-se aqui o tamanho das peças pois para determinados equipamentos peças de porte acima do envelope 500 x 500 mm passam a exigir a execução em partes com posicionamento/colagem posterior o que demanda então dois processamentos e portanto um tempo maior de execução.

3.5.7 – Processos de Produção de Lotes Limitados de Peças/Protótipos

Ferramental Leve (Soft Tooling) – É um tipo de ferramenta que possa ter função similar a uma ferramenta convencional durável, contudo é projetada para um uso provisório limitado aplicado a um número pequeno das peças. O custo de construção de um Ferramental Leve é geralmente mais baixo do que o despendido com ferramentas duráveis, por já ser projetada para um uso limitado. O Ferramental Leve geralmente é usado no processo do desenvolvimento do produto e não se pretende usá-lo para sustentação da produção normal. Diferentemente das ferramentas convencionais duráveis, o Ferramental Leve não é consumido no processo de manufatura, nem se transforma parte do ferramental do produto final.

Ferramental Rápido (Rapid Tooling) - Os sistemas de PR não podem ainda produzir peças em larga escala e de forma rápida o suficiente para atender o espectro enorme de exigências da indústria. Processos convencionais tais como o de injeção, usinagem e fundição são ainda os únicos meios disponíveis para fazer isso, contudo a PR é freqüentemente o ponto de início para tornar estes processos mais rápidos e mais baratos. Estamos falando do *Rapid Tooling* (Ferramental Rápido) onde a PR pode ser empregada de duas maneiras:

- Para produzir os moldes, metálicos ou não, diretamente em um equipamento de PR.
- Peças geradas em PR são usadas como padrões para fabricar um molde por processos indiretos ou secundários. Nestes processos peças são feitas pelo sistema do PR e usadas tipicamente como padrão ou modelo.

O Ferramental Rápido tem características distintas do trabalho feito com ferramentas convencionais, tais como:

- a) O tempo de trabalho para executar um Ferramental Rápido é muito mais curto do que para um ferramental convencional. Tipicamente, o tempo está abaixo de um quinto do de construção de um ferramental convencional.
- b) O custo de construção de um Ferramental Rápido é muito menor do que o do ferramental convencional. Ele pode ficar abaixo de 5% do custo do trabalho feito com ferramental convencional.
- c) A vida da Ferramenta Rápida é consideravelmente menor do que a de uma ferramenta convencional.
- d) As tolerâncias das Ferramentas Rápidas são maiores do que uma ferramenta convencional.

O campo do Ferramental Rápido está se expandindo rapidamente, contudo ainda há um grande número de tecnologias que estão sendo exploradas nesta área, porém somente algumas delas tornar-se-ão comercialmente disponíveis.

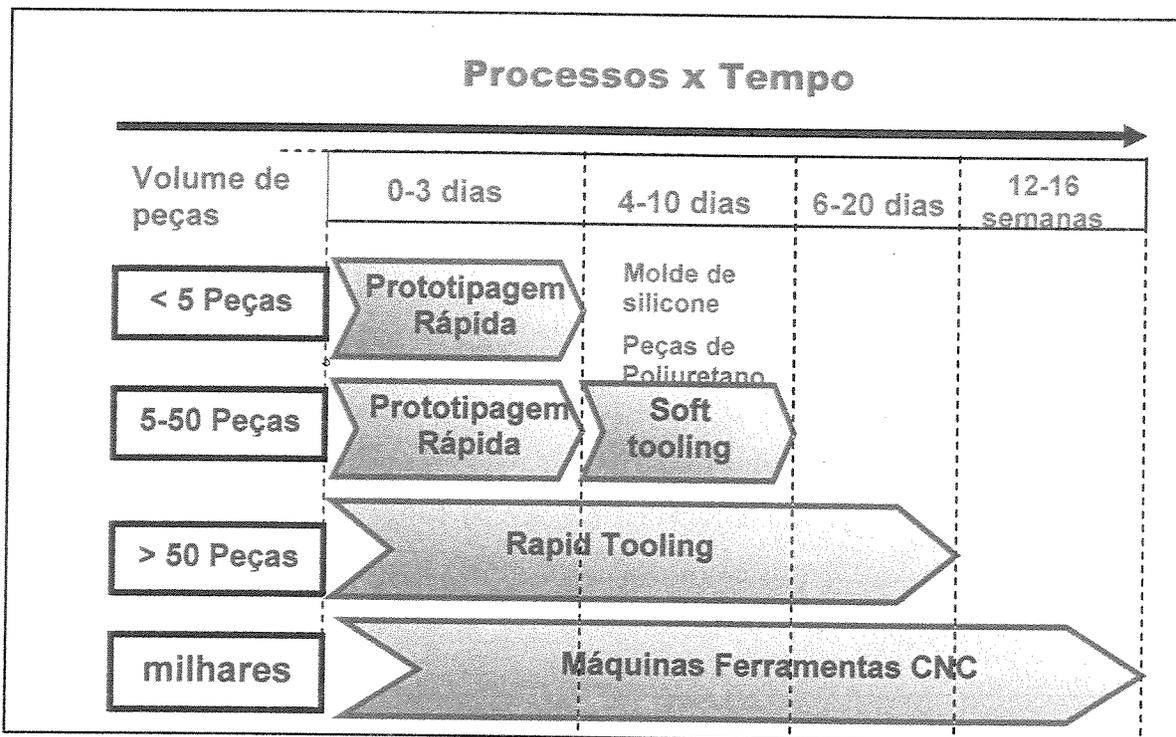


Figura 3.12 – Gráfico sobre a o tipo de PR deve ser escolhida.

3.5.8 - Aplicações Possíveis de PR – São possíveis vários tipos de aplicações como pode ser visto na figura 3.13, as marcadas em vermelho já foram praticadas pelo CenPRA.

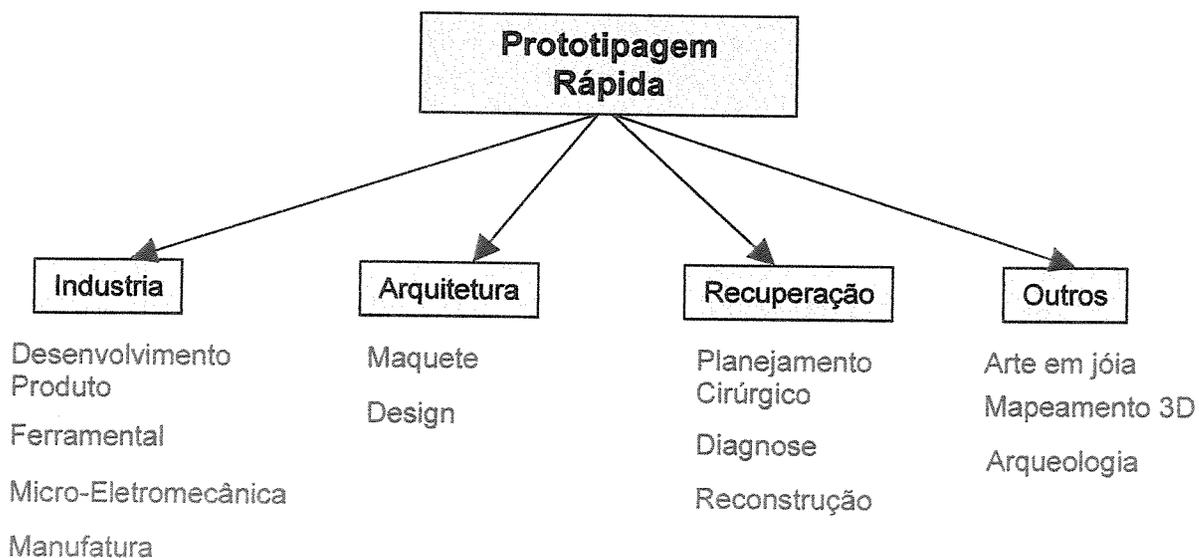


Figura 3.13 – Campos de aplicações da PR.

3.5.9 - Orientação aos usuários da tecnologia de PR – Sempre o que mais se enfocou na DDP do CenPRA foi o apoio orientativo no uso da tecnologia de PR. O mais importante não é o fazer o protótipo, mas sim para que fazer, quando fazer e se é realmente necessário um protótipo

Muitos clientes se “assustam” com a postura não tão comercial do CenPRA no sentido do “vale tudo para vender”, mas com o tempo se acostumam e gostam dessa visam mais de orientação, até com discussões sobre tópicos do projeto, chegando até a evitar que um número maior de peças de uma mesma versão seja prototipada num estágio quando produto não esta ainda totalmente definido.

Principalmente, como salientado por Volpato, N. (1999), em produtos considerados de natureza revolucionária típicos de pequenas e médias empresas, que envolvem o uso de novas tecnologias e que possuem um alto custo associado a uma falha de projeto.

O risco de uma falha é agravado pela inovação de se entrar em um território não familiar que é a PR para algumas empresas. Nas fases iniciais do PDP, a procura minuciosa dos problemas ajuda a reduzir os riscos da inovação, pois o projeto é suficientemente flexível para assimilar alterações com o mínimo de dificuldades. Desta forma, observa-se que alguns produtos são mais beneficiados com o uso de protótipos, devido ao elevado risco e incertezas associadas ao o seu desenvolvimento.

Orienta-se também que algumas atividades podem ser realizadas mais rapidamente se um protótipo for inserido ao PDP. Uma situação comum, onde este efeito é facilmente visualizado, é na etapa de projeto de um molde de injeção (figura 3.14).

A visualização e o projeto de uma ferramenta, para uma peça de geometria complexa, podem ser realizados mais rapidamente se um protótipo da peça é fornecido à ferramentaria junto com o desenho técnico 2D, ao invés de somente o desenho 2D.

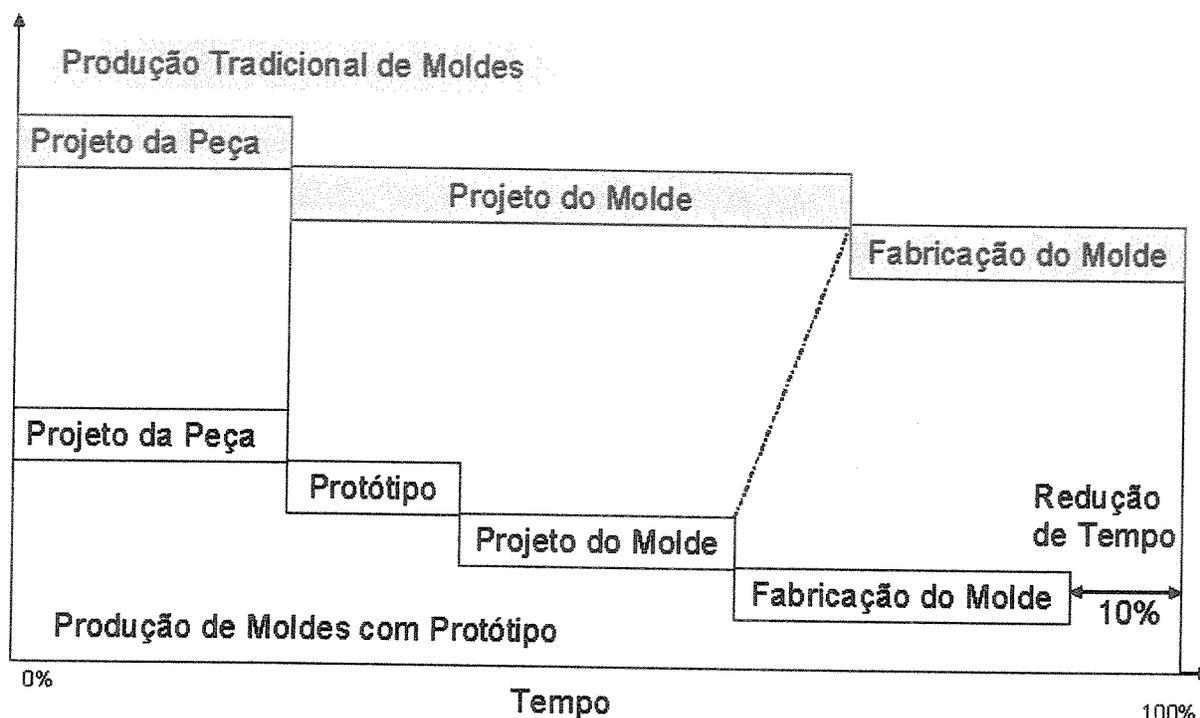


Figura 3 14 – Influência do protótipo em atividade subseqüentes de DDP (Ulrich, K.T. e Eppinger, S.D, 1995)

Conclui-se que todas as vantagens da PR são inócuas se você usa o protótipo na maneira, na quantidade e na hora errada. E que não é somente aplicar as orientações anteriormente descritas, e sim mais que isso, doutrinar as empresas no caminho da tecnologia, só assim elas obterão algo de maior impacto e eficácia em seus PDP's.

Foi mostrando que o serviço prestado era muito mais que a venda de simples protótipos, que o CenPRA em quatro anos de atividade com PR ajudou a mais de 160 clientes nesta área. Hoje conta com uma comunidade de empresas usuárias que fazem dele um elo de ligação para encontrar outras empresas que possam participar em conjunto de uma CDP de um determinado produto.

Capítulo 4

Análise sobre Perfil de Empresas Usuárias de Prototipagem Rápida

O CenPRA atendeu até atualmente mais de 160 empresas diversas em PR. Para esta análise abstraiu-se as 50 empresas com maior freqüência de execução de serviços. Foi criado um questionário (Anexo A), o qual foi enviado via correio eletrônico para as empresas, e respondidos por elas através do próprio correio eletrônico ou por fax.

Procurou-se analisar primeiramente qual a principal atividade da empresa, pois o autor constatava que não somente indústrias procuravam os serviços de PR. Confirmou-se com a pesquisa que das empresas atendida: 78% são indústrias, 14% prestadoras de serviços e 8% empresas comerciais (ver figura 4.1).

Principal Atividade da Empresa

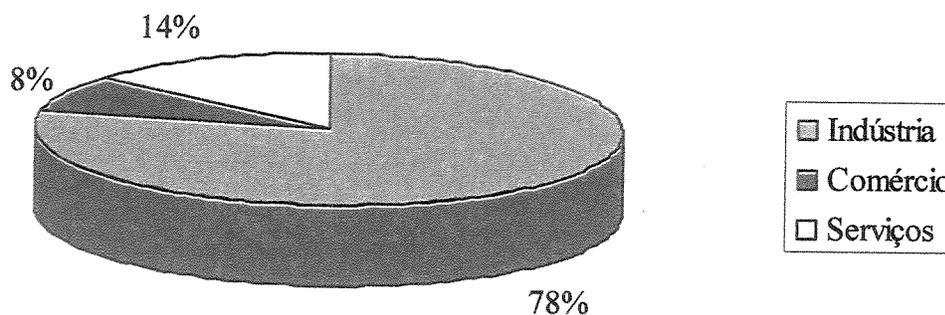


Figura 4.1 – Gráfico de análise sobre a principal atividade da empresa.

Tendo analisado a atividade principal o autor posteriormente questionou qual o porte das empresas atendidas para tal se referenciou no padrão SEBRAE para determinação desse porte que leva em consideração a quantidade de funcionários. Esse padrão foi adotado pelo autor por ter tido experiências anteriores, onde pesquisas técnicas em setores técnicos com padrões monetários que sofreram boicote por se tratar de questão “sigilosa”.

Na verdade o objetivo da pesquisa era realmente confirmar suspeitas que o foco das atividades de PR do CenPRA estavam voltadas para o atendimento de pequenas e médias empresas. Isto se confirmou em porcentagens expressivas além do esperado pelo autor trazendo a informação de que 42% são empresas de médio porte (Indústria de 100 a 499 empregados e no Comércio/Serviços de 50 a 99 empregados), 20% empresas de pequeno porte (Indústria de 20 a 99 empregados e no Comércio/Serviços de 10 a 49 empregados), 20% microempresas (Indústria até 19 empregados e no Comércio/Serviços até 09 empregados) e 18% empresas de grande porte (Indústria acima de 499 empregados e no Comércio/Serviços mais de 99 empregados).

Constata-se portanto que 82% das empresas analisadas são de porte de micro a médio (ver figura 4.2).

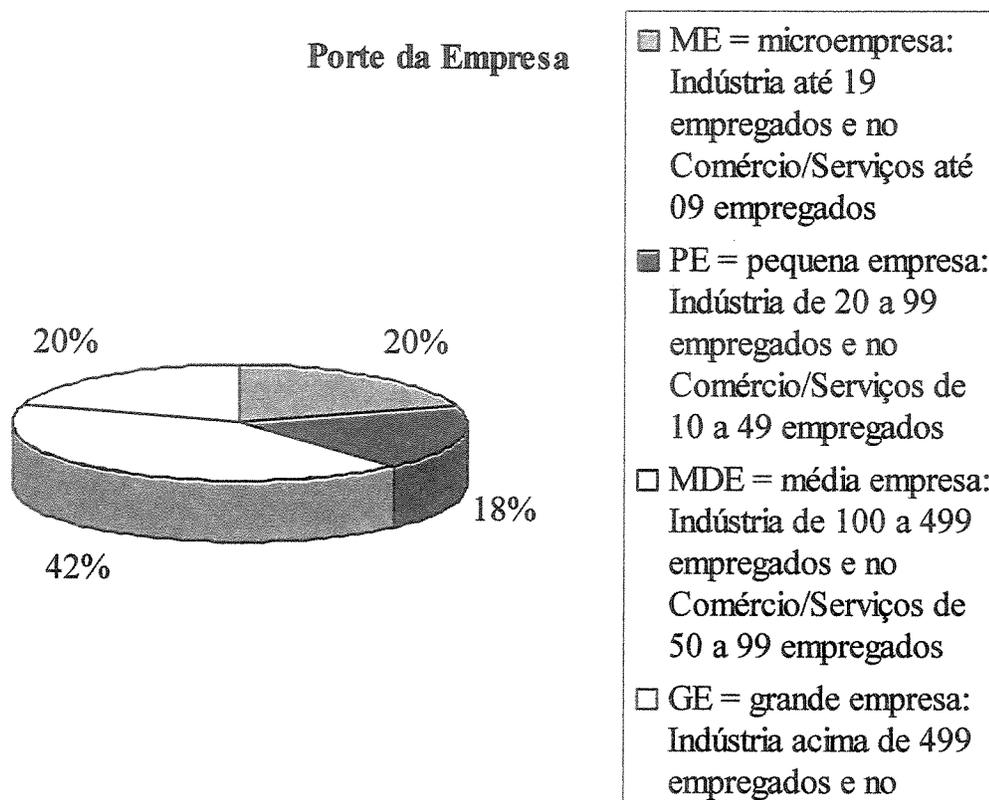


Figura 4.2 – Gráfico de análise sobre o porte da empresa.

O setor empresarial de atuação da cada empresa também foi um fator que incitou o interesse do autor pois sempre havia uma interrogação por parte do CenPRA a que setor a empresa mais se adequava. Aqui cabe uma observação que, embora muitas vezes tivesse enquadrado uma determinada empresa em um determinado setor pelos protótipos que nos pediam para produzir, a empresa se auto-enquadrava em outro setor que nunca se imaginava que pudesse pertencer.

Os resultados obtidos mostraram a seguinte distribuição por setor empresarial de atuação: 18% de empresas da área automobilística (montadora/autopeças), 18% da área Eletro-eletrônico, 13% da área de Desenvolvimento de Projetos, 13% da área de Plástico (injeção, utensílios, etc.), 13% outras áreas, 10% da área de Eletrodoméstico / Linha Branca, 10% da área de Metal-mecânico (estamparia, usinagem, etc.), 3% da área de Informática, 2% da área de Ferramentaria (Ver figura 4.3).

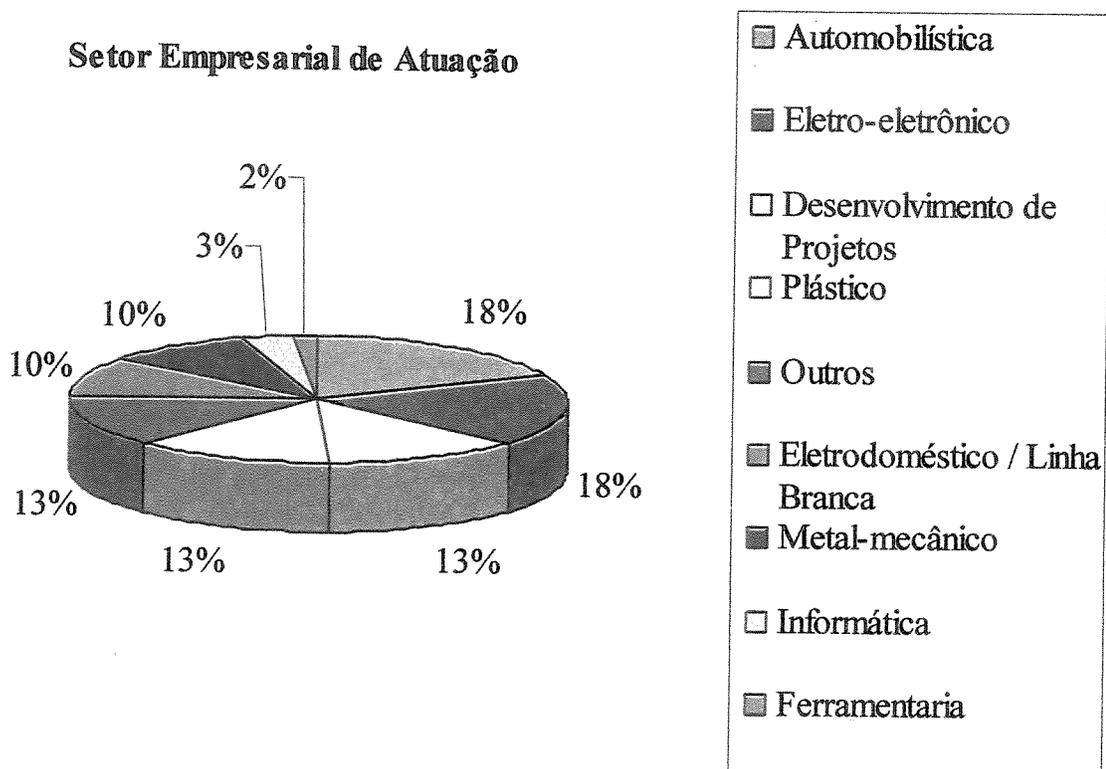


Figura 4.3 – Gráfico de análise sobre setor empresarial de atuação.

As empresas quando perguntadas sobre como efetuavam seus processos de desenvolvimento de produto responderam que 49% delas executavam o desenvolvimento de produtos de maneira independente, 49% sempre desenvolviam em conjunto com outras empresas e apenas 2% terceirizava totalmente o processo de desenvolvimento (ver figura 4.4).

Processo de Desenvolvimento de Produtos

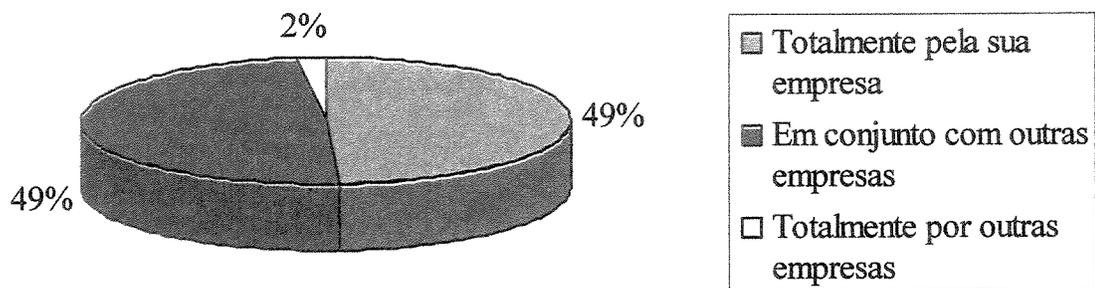


Figura 4.4 – Gráfico de análise sobre maneira de desenvolvimento de produtos.

Numa análise mais detalha sobre que tipos de empresas praticam o desenvolvimento conjunto de produtos o autor constatou que 44% delas são de médio porte, 26% de pequeno porte, 15% de grande porte e 15% microempresas. Então o grande foco do desenvolvimento em conjunto e conseqüentemente os prováveis usuários e participantes da Cadeia de Desenvolvimento de Produtos, são as micro, pequenas e médias empresas - 85% do total das empresas analisadas (ver figura 4.5).

Uso do Processo de Desenvolvimento Compartilhado de Produtos em Porte da Empresas

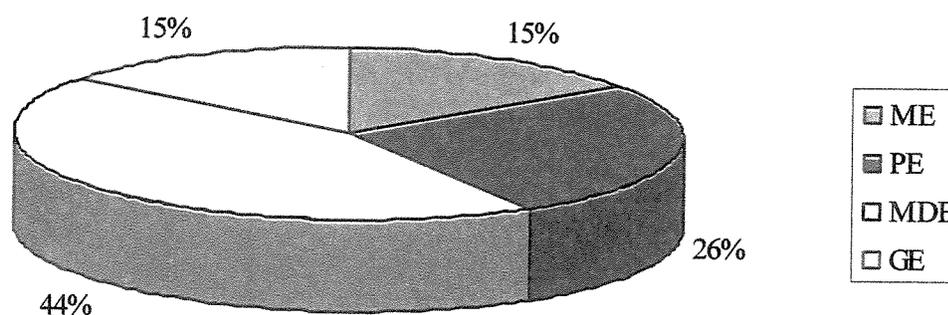


Figura 4.5 – Gráfico do desenvolvimento compartilhado por porte da empresa.

Segundo as empresas as pela ordem as maiores aplicações para P.R., são: 28% para apresentação de pré-produto ao cliente; 27% como apoio a execução do ferramental; 16% para início de definição do projeto, 11% como meio de comunicação de idéias entre os grupos de desenvolvimento e 11% para apresentação de pré-produto ao cliente. Um pesquisado neste item declarou um uso inusitado que seria o uso do protótipo em fotos para catalogo de venda do produto.

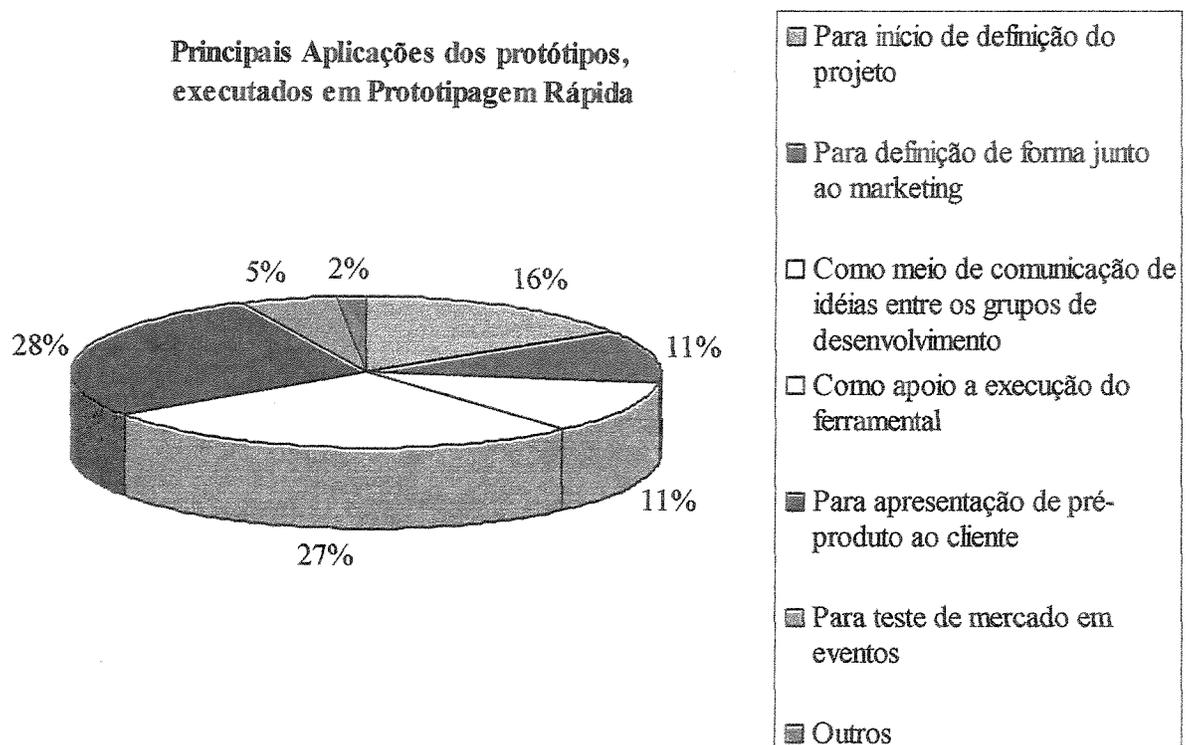


Figura 4.6 – Gráfico das principais aplicações de PR.

Outro item que foi analisado e que muito contribui para esta pesquisa foi o de com que frequência as empresas pesquisadas lançaram mão do uso de PR. Constatou-se que não há um uso freqüente sendo que 46% das empresas declararam um uso médio de ao menos 01 vez a cada 03 meses, 38% têm um uso esporádico de 01 vez a cada 06 meses ou menos e somente 4% tem um uso freqüente de mais de uma vez por mês (ver figura 4.7).

Frequência de uso de PR

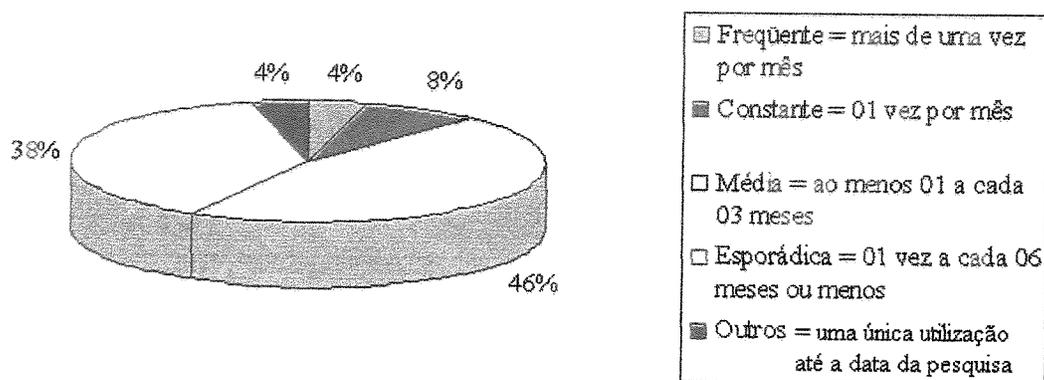


Figura 4.7 – Gráfico da frequência de uso de PR.

Foi pedido também na pesquisa, que as empresas externassem os motivos pelos quais elas tinham uma determinada frequência de uso da PR. Pode ser visto a seguir a compilação dessas respostas.

Tabela 4.1 – Tabela sobre frequência de uso de PR.

| Frequência | Motivos |
|--|--|
| Frequente (mais de uma vez por mês) | <ul style="list-style-type: none"> • Testes |
| Constante (01 vez por mês) | <ul style="list-style-type: none"> • Grande variedade de produtos • Sempre que necessário • Validação do projeto |
| Média (ao menos 01 a cada 03 meses) | <ul style="list-style-type: none"> • Custo elevado da P.R. • Depende da situação do mercado • Desenvolvimento de novos produtos • PR usada somente em casos extremos senão faz os protótipos pelas vias convencionais • Usa diversos processos de prototipagem |
| Esporádica (01 vez a cada 06 meses ou menos) | <ul style="list-style-type: none"> • Baixo fluxo de projetos • Ciclo de desenvolvimento de produto muito longo • Custo elevado da P.R. • Pequena demanda por novos produtos • Pouco desenvolvimento de produtos • Só faz P.R. quando projeto requer verificação mais detalhada • Usa na maioria das vezes outros métodos de prototipagem. |

Por ultimo foi perguntado as empresas qual a importância de P.R. em seu processo de desenvolvimento de produto. Relatadas a seguir algumas dessas respostas com o objetivo de traduzir quais as principais intenções de uso de PR que essas empresas aplicam ou buscam:

- “A prototipagem rápida agiliza o desenvolvimento do produto e torna o projeto mais confiável”.
- “Extremamente importante, pois nos dá segurança de continuidade de projeto e fabricação de ferramental”.
- “Ajuda a visualizar o produto final melhorando o planejamento e antecipando possíveis alterações durante a execução do produto, reduzindo custos e prazo para tornar disponível para venda.”
- “Devido ao alto custo das ferramentas de injeção, a obtenção de um protótipo de forma rápida e o mais próximo possível da peça definitiva é essencial para a viabilidade econômica do projeto.”
- “A P.R. oferece maior agilidade ao grupo de projetos devido a possibilidade de “contar com a peça” antes da ferramenta final estar construída. Isto aumenta o entendimento do projeto, agiliza o fluxo de informações, permite verificar montagens, problemas em ferramentas, testes laboratoriais e diminui a possibilidade de erros em uma fase tardia do projeto, ou próximo a sua introdução em produção.”
- “É de vital importância para testar o funcionamento do produto e possíveis erros antes da execução do ferramental, o que tornaria muito mais caro a alteração e com certas limitações impostas pelo ferramental”.
- “Como o investimento em ferramental definitivo é muito grande, necessitamos de um método rápido para demonstrações e barato para que possamos avaliar a viabilidade, custos e maneira de fabricação da ferramenta”.

- “Consideramos de fundamental importância no desenvolvimento. Os protótipos são aplicados em partes dos produtos e auxiliam nas tomadas de decisão.”
- “É uma ferramenta importante pois possibilita a visualização da peça por pessoas que não são técnicas . Permite realizar simulações de encaixe entre as peças que estão em desenvolvimento. Em alguns casos auxilia a preparação do projeto de ferramental.”
- “No caso de nossa empresa, a PR nos auxiliando em vários aspectos como: redução do tempo de desenvolvimento, visualização de uma possível falha de projeto e outros.”
- “A prototipagem rápida é viável, na nossa empresa, quando é necessária a construção de um modelo que será submetido a testes (de abastecimento, por exemplo) e não é possível, em função de sua geometria, obtê-lo por métodos convencionais de usinagem. Já utilizamos protótipos de tubos de enchimento obtidos a partir de sinterização por laser seletivo em poliamida e o resultado foi bastante satisfatório.”
- “Muito importante pela possibilidade de visualização prévia e análise de montagem do produto no cliente.”
- “De extrema importância, o correto seria que todo produto tivesse um protótipo feito na prototipagem rápida, infelizmente, por razões de custos e/ou tempo, erradamente às vezes abrimos mão dessa excelente ferramenta.”

Conclui-se, com os dados deste capítulo, que mesmo tendo alcançado bons resultados nos esforços de proliferação do uso da tecnologia de PR, estes estão longe de serem expressivos para o total do quadro de empresas nacionais de pequeno e médio porte.

Porém o erro na verdade não se encontra na maneira de como os esforços de multiplicação do uso da tecnologia foram conduzidos, mas esbarra sempre, na questão dos custos dos protótipos que é composto e onerado por dois fatores cruciais: os equipamentos e as matérias-primas ambos importados e de preços elevados.

Capítulo 5

Conclusões e Planos Futuros

A PR não se apresenta como uma tecnologia de ruptura, mas sim que adiciona significativas vantagens competitivas ao PDP e à CDP, tendo sua relevância aumentada quanto mais os conhecimentos e o desenvolvimento de materiais e processos forem a ela agregados.

Como visto nesta dissertação a PR, auxilia largamente empresas de variados portes com vantagens como: diminuição do prazo de lançamento de um produto, dos custos de projeto e manufatura por unidade, do tempo de otimização dos protótipos matemáticos e físicos e incentiva a participação precoce dos participantes do DPD, entre outras.

Contudo em termos de Brasil todas essas vantagens podem estar muito distantes das empresas, devido aos poucos esforços de disseminação dessa tecnologia e ao elevado custo que ela aqui alcança.

Para um rompimento dessas barreiras a maneira encontrada, a partir das constatações desta dissertação, é a execução de um plano de maior amplitude para: divulgação, efetivo uso de PR e diminuição dos custos, é a nacionalização de equipamentos, métodos e matérias-primas. Este plano pretende contar com o apoio do CenPRA, da FEM-Unicamp e parceria das empresas

privadas, por abranger áreas e recursos multidisciplinares e interesse de todos. Pretende-se estar atacando os itens considerando-se o impacto dele sobre o custo do protótipo atualmente no Brasil, tomando como base as tecnologias mais usadas confrontando-se com a maior facilidade de melhoria deste item (investimento, tecnologia, etc.).

Em alguns estudos já elaborados (C.K. Chau e K.F. Leong, 2003) considera-se uma seqüência ideal:

1. **Matérias-primas:** nacionalizá-las para os equipamentos já em uso no Brasil, inclusive lançando mão de materiais não convencionais de PR. Aplicação em curto prazo. Pesquisas na área de materiais. Alguns possíveis desenvolvimentos nesta área seriam:
 - Micronização de Poliamida nacional para uso em processo SLS de PR.
 - Desenvolvimento matejais nacionais alternativos para o processo de impressão tridimensional.

Um exemplo dessa busca por novas matérias-primas para PR é desenvolvimento de material da Empresa: Oriel Indústria e Comércio Ltda (São Carlos – S.P.) apoiado pela FAPESP, cujo objetivo é o desenvolvimento de material em forma de filamento do tipo ABS para utilização em máquinas de PR que utilizam a tecnologia FDM. Resumidamente o desenvolvimento desse material no Brasil, tem o intuito de baratear o custo de confecção de protótipos tanto no aqui como no exterior. O projeto consiste na caracterização do material através várias análises sobre um filamento de ABS. Após estas análises, serão pesquisados materiais do tipo ABS comercializados no Brasil para que seja feita uma mistura dos mesmos de modo a se obter uma mistura resultante com características similares ao filamento de ABS importado.

2. **Equipamentos:** nacionalização começando por equipamentos de pequeno porte como impressoras tridimensionais chegando até tecnologia a laser. Aplicação em médio/longo prazo. Pesquisas na área de: materiais, projeto mecânico, automação, etc..
3. **Métodos:** P&D sobre com variações de métodos atualmente usados, utilização de patentes já em domínio público ou então o desenvolvimento de novos métodos para os

novos equipamentos nacionalizados. Aplicação em médio/longo prazo. Pesquisas na área de: materiais, projeto mecânico, automação, etc..

Referências Bibliografias

Adler, P.S., **Interdepartmental interdependence and coordination: the case of the design/manufacturing interface**, *Organization Science*, 6, 2, 147-67. 1995.

Barkan, P. e Iansiti, M., Prototyping: a Tool for Rapid Learning in Product Development. **Concurrent Engineering: Research and Applications**, v.1, 1993, pp. 125-134. Breiting, F. Rapid Tooling for Simultaneous Product and Process Development (Part I and II), *Rapid News*, v.5, n.5 and v.5, n.6. 1997.

Blather, J. E., **U.S Patent 473,901**. 1892.

Bogart, M., **In art the ends don't always justify means**. *Smithsonian* 104-110. 1979.

Carlisle, J. A. And Parker, R. C., **Beyond Negotiation: Redeeming Customer-Suppliers Relationships**, John Wiley & Sons, Chichester, p. 127. 1989.

Carlisle, J. A. e Parker, R.C., **Beyond Negotiation Redeeming Customer-Supplier Relationships**, John Wiley & Sons, Chichester, p. 127. 1998.

Chau, C.K. e Leong, K.F. **Rapid Prototyping: Principles & Application in Manufacturing**, John Wiley & Sons, Inc, 2003.

Chee-Kay, C. e Kah-Fai, L., **Rapid Prototyping and Manufacturing: The Essential Link Between Design and Manufacturing**, in J.M. Usher, U. Roy and H.R. Parsaei, eds, *Integrated Product and Process Development – Methods, Tools, and Technologies*, John Wiley & Sons, Inc., USA. 1998.

Chuang, W. e Grady, P., **Design Object Decomposition in a Product Development Chain**, *Internet Lab Technical Report TR 2001-12*, Department of Industrial Engineering, Seamans Center, University of Iowa, Iowa City, Iowa 52242, USA. 2001

Ciraud, P. A., **FRG Disclosure Publication 2263777**. 1972.

Clark, K. B. And Fujimoto, T., **Product Development Performance**, Harvard Business School Press, Boston, MA. 1991.

Clark, P. A. e Starkey, K. , **Organization Transitions and Innovation-Design**, Pinter, London. 1988.

DiMatteo, P. L., **U.S. Patent 3,932,923**. 1976.

Dowlatshahi, S., **Implementing Early Supplier Involvement: a Conceptual Framework**, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 18 No. 2, pp. 143-167. 1998.

Gardner, H. **Estrutura da Mente : A teoria das inteligências múltiplas**, Ed.Artes Médicas Sul, 1994.

Gaskin, T. A., **U.S. Patent 3,751,827**. 1973.

Herbert, A. J., **Solid object generation**. *J. Appl. Photo. Eng.* 8(4)(August): 185-88. 1982.

Jacobs, P. F., **Rapid prototyping & manufacturing: fundamentals of stereolithography.** SME, 1992

Kodama, H., **Automatic method for fabricating a three-dimensional plastic model with photo-hardening polymer.** Rev. Sci. Instrum. 1770-73. 1981.

Kunieda, M. and Nakagawa T., **Development of laminated drawing dies by laser cutting.** Bull. of JSPE 353-54. 1984.

Lightman, A., **Personal communication.** 1996.

Matsubara, K., **Japanese Kokai Patent Application, Sho 51[1976]-10813.** 1974

Mello, S.G. . **O perfil das micro e pequenas empresas industriais mecânicas da região de Bauru sob o enfoque da gestão de produtos: problemas e soluções.** São Paulo. 182p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica de São Paulo, USP,1996, apud Ramos, R.C.O. . **Perfil do pequeno empreendedor: Uma investigação sobre as características empreendedoras na pequena empresa.** São Carlos. Dissertação de Mestrado.EESC/USP. 2000.

Monteah, F. H.. **U.S. Patent 1,516,199.** 1924.

Morioka, I., **U.S. Patent 2,015,457.** 1935.

Nakagawa, T., et al., **Blanking tool by stacked bainite steel plates.** Press Technique 93-101. 1979.

Nakagawa, T., M. Kunieda, and S. Liu., **Laser cut sheet laminated forming dies by diffusion bonding.** In Proc. 25th Int'l. MTDR Conf., 505-510. 1985.

Nunes, A. C. L. e Ramos, W. S., Proposta Metodológica Complementar/Auxiliar Baseada nos Atuais Processos de Multimídia aplicados ao Ensino de Desenho, Especificamente Geometria Descritiva e Desenho Técnico, Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Perera, B. V., U.S. Patent 2,189,592. 1940.

Poirier, C. C. e Reiter, S. E. , **Supply Chain Optimization: Building the Strongest Total Business Network**, Berrett-Koehler Publishers, Inc. 1996.

Pugh S., **Total Design**, Addison Wesley, 1990.

Reinhart, G., Breitinger, F.,. **Rapid Tooling for Simultaneous Product and Process**. 6th European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing Nottingham. 1997.

Rothwell, R.e Zegveld W. **Innovation and the Small and Medium Sized Firm**. Frances Printer. Londres. 1982.

Saura, C.E. et al., **Rapid Prototyping: Concepts, Aplications, and Potential Utilization in Brazil** - 15th International Conference in CAD/CAM, Robotics & Factories of the Future (CARS&FOF'99). 1999.

Schwerzel, R. E., et al., **Three-dimensional photochemical machining with lasers**. In Appl. of Lasers to Ind. Chem., SPIE, 90-97. 1984.

Swainson, W. K., U.S. Patent 4,041,476. 1977.

Twigg D., Centre for Research in Innovation Management, University of Brighton, Brighton, UK - **Managing the design/manufacturing interface across firms Integrated Manufacturing Systems** Volume 13 Number 4 pp. 212-221, Copyright © MCB University Press ISSN 0957-6061. 2002.

Ulrich, K.T. e Eppinger, S.D. **Product Design and Development**. McGraw-Hill, Inc. 1995.

Volpato, N. , Prototipagem Rápida/Ferramental Rápido no Processo de Desenvolvimento de Produto . Máquinas e Metais, Junho de 1999, n.401, pp.76-89.

Wohlers T., Wohlers Report, 1998.

Zang, E. E., U.S. Patent 3,137,080. 1940.

Anexo A

Contendo: Questionário de Pesquisa referente ao uso de Prototipagem Rápida no Processo de Desenvolvimento de Produtos

Pesquisa referente ao uso de Prototipagem Rápida no Processo de Desenvolvimento de Produtos, a ser incluída e em dissertação de Mestrado do Departamento de Projetos Mecânicos da FEM-UNICAMP.

1) Qual a principal atividade da sua empresa:

- a) Indústria b) Comércio c) Serviços

2) Qual o porte da sua empresa:

- a) **ME = microempresa:** Indústria até 19 empregados e no Comércio/Serviços até 09 empregados
 b) **PE = pequena empresa:** Indústria de 20 a 99 empregados e no Comércio/Serviços de 10 a 49 empregados
 c) **MDE = média empresa:** Indústria de 100 a 499 empregados e no Comércio/Serviços de 50 a 99 empregados
 d) **GE = grande empresa:** Indústria acima de 499 empregados e no Comércio/Serviços mais de 99 empregados

3) Qual o setor empresarial de atuação da sua empresa:

| | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> a) Automobilística (montadora/autopeças) | <input type="checkbox"/> b) Metal-mecânico (estamparia, usinagem, etc.) | <input type="checkbox"/> c) Plástico (injeção, utensílios, etc.) |
| <input type="checkbox"/> d) Eletrodoméstico / Linha Branca | <input type="checkbox"/> e) Eletro-eletrônico | <input type="checkbox"/> f) Informática |
| <input type="checkbox"/> g) Ferramentaria | <input type="checkbox"/> h) Desenvolvimento de Projetos | |
| Outro: | | |

4) O processo de desenvolvimento de produto, considerando-se da concepção até a entrada em produção, é efetuado:

- a) Totalmente pela sua empresa;
 b) Em conjunto com outras empresas;
 c) Totalmente por outras empresas;

Outros:

5) Qual(is) o(as) principal(ais) aplicação(ões) dos protótipos, executados em Prototipagem Rápida, no processo de desenvolvimento de produto da sua empresa:

- a) Para início de definição do projeto;
 b) Para definição de forma junto ao marketing;
 c) Como meio de comunicação de idéias entre os grupos de desenvolvimento;
 d) Como apoio a execução do ferramental;
 e) Para apresentação de pré-produto ao cliente;
 f) Para teste de mercado em eventos;

Outros:

6) Qual a freqüência no uso de Prototipagem Rápida por sua empresa (não importando o fornecedor desse serviço):

- a) Freqüente = mais de uma vez por mês ; Motivo:
 b) Constante = 01 vez por mês; Motivo:
 c) Média = ao menos 01 a cada 03 meses; Motivo:
 d) Esporádica = 01 vez a cada 06 meses ou menos; Motivo:

Outros:

7) Qual sua opinião sobre a importância do uso de Prototipagem Rápida dentro do seu processo de desenvolvimento de produto:

.....

Anexo B

Contendo: Proposta ao cliente, Ficha de controle de O.S., Folha de processo de PR e fotos dos protótipos resultantes.

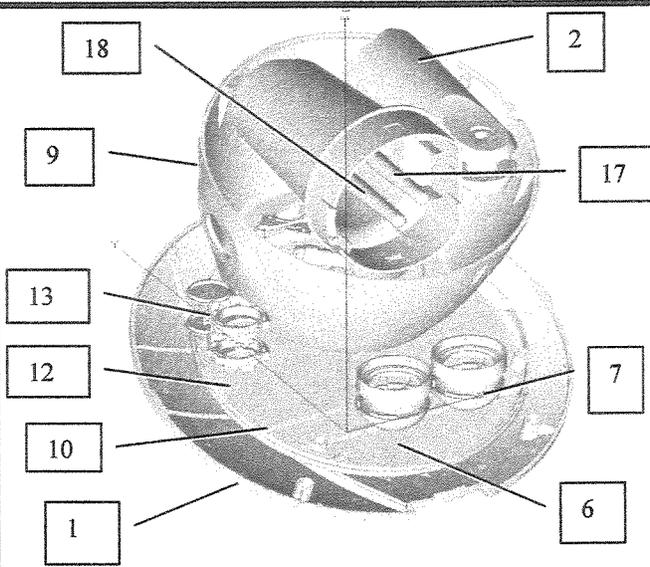
Proposta CenPRA ao Cliente:

|  | Centro de Pesquisa Renato Archer - CenPRA | | | | | | |
|--|--|------------|---------------------|----|-------|--------------|--|
| PR31102003-0X | | | | | | | |
| Srta Maria X XX Com. Ind. E Exp. Ltda Fone: XX75757 mariax@X.com | | | | | | | |
| Conforme pedido, enviamos proposta para confecção de protótipo no processo de Sinterização Seletiva a Laser (SLS), em material Poliamida, dos seguintes arquivos: | | | | | | | |
| <table border="1"><thead><tr><th>Arquivo/Peça</th><th>Quantidade</th></tr></thead><tbody><tr><td><i>Painel_x.stl</i></td><td>05</td></tr><tr><td>Preço</td><td>R\$ 3.000,00</td></tr></tbody></table> | Arquivo/Peça | Quantidade | <i>Painel_x.stl</i> | 05 | Preço | R\$ 3.000,00 | |
| Arquivo/Peça | Quantidade | | | | | | |
| <i>Painel_x.stl</i> | 05 | | | | | | |
| Preço | R\$ 3.000,00 | | | | | | |
| Prazo de entrega: 06 dias úteis após aprovação desta proposta. | | | | | | | |
| Condição de pagamento: 28 ddl. | | | | | | | |
| Aprovação: Para aprovação desta proposta, enviar-me um fax referenciando a PR31102003-0X. | | | | | | | |
| Importante: A execução dos protótipos é de responsabilidade do CenPRA – Centro de Pesquisa Renato Archer, portanto assuntos técnicos e referentes a cotação devem ser tratados pelo fone: (019) 3746-6203 ou e-mail: carlos.saura@cenpra.gov.br . Todo serviço prestado sofrerá intervenção administrativa da Fundação FACTI de apoio ao CenPRA que emitirá Nota Fiscal e fatura bancária. Desse modo, todo assunto referente à Nota Fiscal e fatura bancária deverão ser tratados diretamente na Fundação FACTI no fone (019) 3746-6121. | | | | | | | |
| Atenciosamente, | | | | | | | |
| Carlos Saur carlos.saura@cenpra.gov.br CenPRA – Centro de Pesquisa Renato Archer Rod. Dom Pedro I, km 143,6 - Campinas - S.P. - 13081-970 Fone: (019) 3746-6203 Fax: (019) 3746-6204 | | | | | | | |

Ficha de controle do processo da O.S. envolvendo todas as fases:

| | | | |
|---|--|--|---------------------------|
|  | | Centro de Pesquisa Renato Archer - CenPRA | DDP |
| Folha de controle | Nº da OS: | Nº do Build: | /2003 |
| Cliente: | | | |
| Data: | | | |
| Situ- ação | Tarefa | | Respon sável |
| | <i>Recebimento de contato do cliente</i> | | |
| | Obtenção dados do cliente (endereço, telefone, contato, e-mail) | | |
| | Emissão de cotação com confirmação de recebimento por e-mail | | |
| | No caso de emissão de cotação por fax, confirmação recebimento por telefone | | |
| | Follow-up da cotação após 3 dias | | |
| | No caso de aceitação, obtenção de todos os dados para faturamento | | |
| | Garantia da disponibilidade de arquivos do cliente para produção (*.stl) | | |
| | Emissão de OS com numeração seguindo padrão estabelecido | | |
| | Atividades de processo (Folha de atividades) – produção | | Resp. do Build |
| | Programação de mecanismo de entrega com base na previsão de produção | | |
| | Embalagem e envio das peças com protocolo de recebimento pela empresa | | |
| | Registrar e arquivar protocolo de recebimento | | |
| | Follow-up do recebimento das peças pelo cliente | | |
| | Follow-up e registro da avaliação do cliente sobre a qualidade das peças | | |
| | Entrada de dados de faturamento na planilha | | |
| | Consolidação da planilha | | |
| | Fechamento da OS | | |
| | Consolidação definitiva e mudança de status do cliente na planilha | | |
| | Embalagem e despacho da peça para o cliente com protocolo | | |

Folha de processo do build:

|  Centro de Pesquisa Renato Archer - CenPRA | | | | DDP | |
|--|--|-----------|---|---|--------------|
| Folha de Processo DTM 162 | | | Nome do Build: 604pa2200_2rec_28072003.mar | | Nº 604 /2003 |
| | Data: | Hora: | Responsável: Richard |  | |
| Início: | 28/07/2003 | 17:18 | | | |
| Fim: | 30/07/2003 | 19:36 | | | |
| Material: PA 2200 2º reciclagem | | | | | |
| Escala | X= 1.0477 | Y= 1.0406 | Z= 1.013 | | |
| Offset | X= 0.0699 | | Y= 0.0425 | | |
| Temperatura de Part Bed / °C: 165 | | | | | |
| Temperatura de Left e Right Bed / °C: 96 | | | | | |
| Potência do laser / watt: 50 | | | | | |
| Espessura da camada / mm: 0.10 | | | | | |
| Altura total do build (mm): 304.26 | | | | | |
| Tempo total de processo / horas: 50:18 | | | | | |
| Obs.: aumentamos 1 W no LP na altura de 129.64 mm as 18:00 de 29/07/2003. | | | | | |
| VALOR: | Referencia do Build completo R\$: X.000,00 | | Total das propostas R\$: 13.8000,00 | Total do build R\$: 8.310,00 | |
| 1 Peça: fundo | | | Emitir Cobrança: (x) Sim | Empenamento: Sim () | |
| Cliente: Britânia | | | Data de envio ao cliente: 01/08/2003 | () Moto | (x) outro |
| OS: PR 04072003-02 | Valor R\$: X.000,00 | | Enviada com N F: (x) Sim | (x) c/ à peça | () outro |
| Obs.: | | | | | |
| 2 Peça: torre | | | Emitir Cobrança: (x) Sim | Empenamento: Sim () | |
| Cliente: Britânia | | | Data de envio ao cliente: 01/08/2003 | () Moto | (x) outro |
| OS: PR 04072003-02 | Valor R\$: X.000,00 | | Enviada com N F: (x) Sim | (x) c/ à peça | () outro |
| Obs.: Peça cortada em duas partes. | | | | | |
| 3 Peça: 4655 (2 unidades) | | | Emitir Cobrança: (x) Sim | Empenamento: Sim () | |
| Cliente: Bravox | | | Data de envio ao cliente: 31/07/2003 | (x) Moto | () outro |
| OS: PR 24072003-05 | Valor R\$: X00,00 | | Enviada com N F: (x) Sim | (x) c/ à peça | () outro |
| Obs.: Peça não visível no desenho. | | | | | |
| 4 Peça: 4656 (2 unidades) | | | Emitir Cobrança: (x) Sim | Empenamento: Sim () | |
| Cliente: Bravox | | | Data de envio ao cliente: 31/07/2003 | (x) Moto | () outro |
| OS: PR 24072003-05 | Valor R\$: X00,00 | | Enviada com N F: (x) Sim | (x) c/ à peça | () outro |
| Obs.: Peça não visível no desenho. | | | | | |
| 5 Peça: 4660 (2 unidades) | | | Emitir Cobrança: (x) Sim | Empenamento: Sim () | |
| Cliente: Bravox | | | Data de envio ao cliente: 31/07/2003 | (x) Moto | () outro |
| OS: PR 24072003-05 | Valor R\$: X00,00 | | Enviada com N F: (x) Sim | (x) c/ à peça | () outro |
| Obs.: Peça não visível no desenho. | | | | | |
| 6 Peça: 8078-001 (2 unidades) | | | Emitir Cobrança: (x) Sim | Empenamento: Sim () | |
| Cliente: Bravox | | | Data de envio ao cliente: 31/07/2003 | (x) Moto | () outro |
| OS: PR 24072003-05 | Valor R\$: X00,00 | | Enviada com N F: (x) Sim | (x) c/ à peça | () outro |
| Obs.: enviada para Engereus. Peça não visível no desenho. | | | | | |

Folha de Processo anexo 1 DTM 162

 Nome do Build:
 604pa2200_2rec_28072003.mar

Nº 604 /2003

| | | |
|-----------------|--------------------------|----------------------|
| 7 Peça: CARCAÇA | Emitir Cobrança: (x) Sim | Empenamento: Sim () |
|-----------------|--------------------------|----------------------|

| | | |
|-------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Cliente: Daihatsu | Data de envio ao cliente: 31/07/2003 | (x) Moto () outro |
|-------------------|--------------------------------------|--------------------|

| | | | |
|--------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|
| OS: PR 24072003-04 | Valor R\$: X.000,00 | Enviada com N F: (x) Sim | (x) c/ à peça () outro |
|--------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|

Obs.: enviada para Engereus.

| | | |
|---------------|--------------------------|----------------------|
| 8 Peça: TAMPA | Emitir Cobrança: (x) Sim | Empenamento: Sim () |
|---------------|--------------------------|----------------------|

| | | |
|-------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Cliente: Daihatsu | Data de envio ao cliente: 31/07/2003 | (x) Moto () outro |
|-------------------|--------------------------------------|--------------------|

| | | | |
|--------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|
| OS: PR 24072003-04 | Valor R\$: X.000,00 | Enviada com N F: (x) Sim | (x) c/ à peça () outro |
|--------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|

Obs.: enviada para Engereus.

| | | |
|---------------------------------------|--------------------------|----------------------|
| 9 Peça: botao do relógio (8 unidades) | Emitir Cobrança: (x) Sim | Empenamento: Sim () |
|---------------------------------------|--------------------------|----------------------|

| | | |
|----------------|--------------------------------------|--------------------|
| Cliente: Yporã | Data de envio ao cliente: 31/07/2003 | (x) Moto () outro |
|----------------|--------------------------------------|--------------------|

| | | | |
|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| OS: PR 24072003-03 | Valor R\$: X00,00 | Enviada com N F: (x) Sim | (x) c/ à peça () outro |
|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|

Obs.: Peça não visível no desenho.

| | | |
|--|--------------------------|----------------------|
| 10 Peça: caixa do relógio (2 unidades) | Emitir Cobrança: (x) Sim | Empenamento: Sim () |
|--|--------------------------|----------------------|

| | | |
|----------------|--------------------------------------|--------------------|
| Cliente: Yporã | Data de envio ao cliente: 31/07/2003 | (x) Moto () outro |
|----------------|--------------------------------------|--------------------|

| | | | |
|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| OS: PR 24072003-03 | Valor R\$: X00,00 | Enviada com N F: (x) Sim | (x) c/ à peça () outro |
|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|

Obs.:

| | | |
|--|--------------------------|----------------------|
| 11 Peça: tampa do relógio (2 unidades) | Emitir Cobrança: (x) Sim | Empenamento: Sim () |
|--|--------------------------|----------------------|

| | | |
|----------------|--------------------------------------|--------------------|
| Cliente: Yporã | Data de envio ao cliente: 31/07/2003 | (x) Moto () outro |
|----------------|--------------------------------------|--------------------|

| | | | |
|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| OS: PR 24072003-03 | Valor R\$: X00,00 | Enviada com N F: (x) Sim | (x) c/ à peça () outro |
|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|

Obs.:

| | | |
|--------------------|--------------------------|----------------------|
| 12 Peça: 013451044 | Emitir Cobrança: (x) Sim | Empenamento: Sim () |
|--------------------|--------------------------|----------------------|

| | | |
|------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Cliente: Embraco | Data de envio ao cliente: 01/08/2003 | (x) Moto () outro |
|------------------|--------------------------------------|--------------------|

| | | | |
|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| OS: PR 24072003-01 | Valor R\$: X00,00 | Enviada com N F: (x) Sim | (x) c/ à peça () outro |
|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|

Obs.: Peça não visível no desenho.

| | | |
|--------------------|--------------------------|----------------------|
| 13 Peça: 013451045 | Emitir Cobrança: (x) Sim | Empenamento: Sim () |
|--------------------|--------------------------|----------------------|

| | | |
|------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Cliente: Embraco | Data de envio ao cliente: 01/08/2003 | (x) Moto () outro |
|------------------|--------------------------------------|--------------------|

| | | | |
|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| OS: PR 24072003-01 | Valor R\$: X00,00 | Enviada com N F: (x) Sim | (x) c/ à peça () outro |
|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|

Obs.: Peça não visível no desenho.

| | | |
|------------------------------------|--------------------------|----------------------|
| 14 Peça: basesensds00 (2 unidades) | Emitir Cobrança: (x) Sim | Empenamento: Sim () |
|------------------------------------|--------------------------|----------------------|

| | | |
|------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Cliente: Embraco | Data de envio ao cliente: 01/08/2003 | (x) Moto () outro |
|------------------|--------------------------------------|--------------------|

| | | | |
|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| OS: PR 24072003-01 | Valor R\$: X00,00 | Enviada com N F: (x) Sim | (x) c/ à peça () outro |
|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|

Obs.: Peça não visível no desenho.

| | | |
|---|--------------------------|----------------------|
| 15 Peça: raspador vFinal 17_07_2003 Chanfrado | Emitir Cobrança: (x) Sim | Empenamento: Sim () |
|---|--------------------------|----------------------|

| | | |
|------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Cliente: Halitus | Data de envio ao cliente: 31/07/2003 | (x) Moto () outro |
|------------------|--------------------------------------|--------------------|

| | | | |
|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| OS: PR 25072003-01 | Valor R\$: X00,00 | Enviada com N F: (x) Sim | (x) c/ à peça () outro |
|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|

Obs.:

