

# CONFECÇÃO DE MOLDE PARA TERMOPLÁSTICO EM RESINA TERMOFIXA.<sup>1</sup>

## MOLDE PROTÓTIPO EM RESINA

*César Augusto Guerrero<sup>2</sup>  
Gilberto Lodi<sup>3</sup>*

### Resumo

Este projeto apresenta metodologia e informações pertinentes a confecção do molde protótipo, em resina termofixa ( Resina de superfície 4026 + endurecedor RP1500 e resina de enchimento 4036 com o mesmo endurecedor), para injeção da Polia da máquina de lavar roupas, em termoplástico, atualmente confeccionada em Alumínio, demonstrando as etapas de construção do molde, suas características até a produção do protótipo em termoplástico ( PA6:6 30% FV ). Busca-se também de forma concisa, apresentar as propriedades e as vantagens na confecção de molde protótipos, obtendo um produto protótipo com propriedades físicas e químicas definidos no projeto do produto, melhorando a relação custo benefício, em comparação ao molde confeccionado em material metálico, e por meio de algumas tabelas, gráfico e figuras são explicitadas as diferenças e suas correspondentes empregabilidade na produção de peças e componentes para os mais diversos tipos de indústria.

Palavras-chave: Molde Protótipo, Resina Termofixa e Produto protótipo.

1 – 2º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes -21ª 23 de setembro de 2004 –ABM – São Paulo – SP

2 – Técnico de Ensino, Escola SENAI Mario Amato ( [docplastico116@sp.senai.br](mailto:docplastico116@sp.senai.br) )

3 – Técnico de Ensino, Escola SENAI Mario Amato ( [docplastico116@sp.senai.br](mailto:docplastico116@sp.senai.br) )

## 1. Introdução

### 1.1 Prototipagem de peças plásticas

É necessário, geralmente, o desenvolvimento das peças de modelos e protótipos durante o processo de desenvolvimento de produtos plásticos. A fase de desenvolvimento de prototipagem de produto é crucial para o sucesso de um projeto, ainda que este aspecto de desenvolvimento seja ainda que freqüentemente apressado.

As peças de protótipo são usadas para comunicações, estudos de engenharia, estudo de mercado e promoções, avaliações de produto quanto à fabricação e características de montagem, e para verificar a modelagem CAD ou uma precisa impressão. Não importa o meio escolhido, as técnicas de prototipagem geram modelos físicos que agem como um meio primário de comunicação entre Marketing de Produto, Engenharia de Produto, grupos de Estampagem e Produtores Industriais.

O uso de um protótipo para descrever a função, tamanho, forma, e visão de uma peça encontra inevitavelmente um ambiente mais produtivo e um grau mais alto de interação entre os membros da equipe de projeto de produto.

A necessidade de rapidez no desenvolvimento de novos produtos fez surgir, a partir do final da década de 80, uma série de técnicas de confecção de protótipos e de ferramental que possibilitam obter desde modelos conceituais — apenas para aprovação visual de produtos —, até ferramentas metálicas para a produção de pequenas e médias séries. Tudo isso de forma tão rápida — se comparada às técnicas convencionais — que esta palavra passou a integrar a própria definição dos processos que foram surgindo ao longo dos últimos anos.

Pode-se entender a prototipagem rápida como a construção de um modelo físico a partir de um modelo virtual, desenvolvido em programas CAD, ou ainda como um meio de obter rapidamente um item manufaturado (ou uma amostra do que ele será), utilizando o sistema mais indicado, de acordo com a finalidade do modelo físico. O quanto se pode pagar por ele (protótipo) e a própria definição do conceito “rápido”, que pode variar de acordo com o que se quer produzir.

As peças de protótipos têm sido caracterizadas como sendo uma cópia do produto, que pode servir para as funções de marketing e engenharia (com limitações), ou protótipos de processo, (aqueles produzidos usando moldes de injeção de protótipo ou ferramentas), que são usadas para avaliar ambos o processo de moldagem e as propriedades da peça moldada, antes da moldagem estar completamente definida.

Termo prototipagem rápida designa um conjunto de tecnologias usadas para se fabricar objetos físicos diretamente a partir de fontes de dados gerados por sistemas de projeto auxiliado por computador (CAD.). Tais métodos são bastante peculiares, uma vez que eles agregam e ligam materiais, camada a camada, de forma a constituir a peça desejada. Eles oferecem diversas vantagens em muitas aplicações, quando comparados aos processos de fabricação clássicos baseados em remoção de material, tais como fresamento ou torneamento.

Tais métodos permitem aos projetistas criar rapidamente protótipos concretos a partir de seus projetos, ao invés de figuras bidimensionais. Esses modelos apresentam diversos usos, eles constituem um auxílio visual excelente durante a discussão do projeto com colaboradores ou clientes. Além disso, o protótipo pode

permitir testes prévios como, por exemplo, ensaios em túnel de vento para componentes aeronáuticos ou análise fotoelástica para se verificar pontos de concentração de tensões na peça.

A verdade é que os projetistas sempre construíram protótipos; os processos de prototipagem rápida permitem que eles sejam feitos mais depressa e de forma mais barata. De fato, estima-se que as economias de tempo e de custos proporcionadas pela aplicação das técnicas de prototipagem rápida na construção de modelos sejam da ordem de 70% a 90%.

As mesmas técnicas de prototipagem rápida podem ser usadas para a fabricação de ferramental, um processo também conhecido como ferramentaria rápida, ou seja, a fabricação automática de ferramentas para uso na produção em série.

A produção de ferramentas é uma das etapas mais lentas e caras no processo de manufatura, devido à qualidade extremamente alta que se exige delas. Ferramentas geralmente apresentam geometrias complexas e precisam ser dimensionalmente de centésimos de milímetro. Além disso, elas devem ser duras, resistentes ao desgaste e apresentar baixa rugosidade, em torno de 0,5  $\mu$ m RMS. Por isso matrizes e moldes são tradicionalmente feitos por usinagem CNC, eletroerosão ou mesmo manualmente. Todos esses processos são caros e demorados, o que torna a implementação das técnicas de prototipagem rápida muito bem vinda. Estima-se que essas técnicas permitam economizar 75% do tempo e custos envolvidos na fabricação das ferramentas.

Elas também possibilitam a obtenção de peças com mesmo nível de qualidade da produção em série, na chamada manufatura rápida “. De fato, a prototipagem rápida é o melhor processo de manufatura possível quando é preciso produzir pequenos lotes de peças ou no caso de componentes complicados”.

É provável que pelo menos um, ou talvez uma série de protótipos teria sido feito antes de uma finalização do custo de pré-produção ou de moldagem de protótipo. O passo posterior pode somar o tempo significativo e o custo inicial para o processo de desenvolvimento de produto.

Porém, este passo é necessário quando estiver trabalhando com materiais novos e pouco conhecidos, geometrias de produto complexas, peças estruturais, ou aplicações de tolerância mais estreita, já que a função e montagem de um produto de plástico moldado estão fortemente influenciadas pelo projeto de ferramenta e a fabricação e condições da moldagem de injeção.

Os resultados do ensaio da ferramenta de pré-produção permitem uma compreensão do projetista de molde para o bom projeto de molde de produção, e fornecer a equipe o projeto com um número potencialmente grande de peças de protótipo de vida quase real (protótipos funcionais), que pode ser exigido para estudos de marketing ou engenharia.

É importante notar que o uso da ajuda de software de simulação de processo para moldagem de injeção reduziu a necessidade da usinagem do protótipo para um grau significativo. Análises de preenchimento, refrigeração, contração e distorção estão fornecendo respostas que estavam previamente disponíveis somente através de ensaios de moldagem real.

Um estudo de simulação bem projetado fornecerá informações sobre localizações de pontos de solda e deficiências potenciais da peça, possíveis prisões de gás, peça distorcida ou níveis de tensão interna (moldagem).

Os resultados obtidos usando esta abordagem são claros na simulação, e são freqüentemente usados no concerto e na usinagem de protótipos para aperfeiçoar o

projeto do processo e produto. Os pacotes de simulação reduzem ao mínimo, a necessidade para modificações de ferramenta de produções importantes. Todos os processos de prototipagem rápida atualmente existentes são constituídos por cinco etapas básicas:

1. Criação de um modelo CAD da peça que está sendo projetada;
2. Conversão do arquivo CAD em formato STL, próprio para estereolitografia (veja a descrição a seguir);
3. Fatiamento do arquivo STL em finas camadas transversais;
4. Construção física do modelo, empilhando-se uma camada sobre a outra;
5. Limpeza e acabamento do protótipo.

Virtualmente, qualquer técnica de prototipagem pode ser utilizada para produzir uma peça que é esteticamente agradável, porém, só a pré-produção ou técnicas de moldagem de protótipos fornecerem informações naturais sobre o desempenho de produto, moldabilidade e tolerâncias dimensionais.

A resistência química, características mecânicas, elétricas, térmicas e dimensionais de peças plásticas moldadas são influenciadas por ambas as operações de processos primários e secundários, indicando o desempenho de produto que deveria ser idealmente avaliado utilizando a formulação de produção, material e as operações primárias, (secundárias para serem usadas em produção). Em um certo ponto, os custos e o tempo associados com desenvolvimento de protótipos empregados neste tipo, pode exceder níveis realistas, e devem contar geralmente com simulações ou métodos de prototipagem menos realistas.

Os fatores de segurança usados no projeto são diretamente influenciados pela confiança que o desenhista tem no protótipo e nos métodos de teste experimentais que tenham sido usados acima do curso do ciclo de desenvolvimento de produto.

Dentro desta concepção de produção de peças protótipos com exigências de resistência *mecânicas ou químicas*, existem varias técnicas que possibilitam esta condição. Destaca-se alguns processos que utilizam materiais termofixos na construção de moldes , que podem ser utilizados para moldes de injeção e também para moldes de sopro, onde são utilizadas placas de poliuretano ou sistemas de resinas epoxi.

As placas de poliuretano específica para este fim, nos permite usinar a cavidade do molde através de máquinas convencionais ou equipamentos controlados por computador, esta escolha está condicionada ao tipo de informação que estará disponível e o nível de complexidade da peça. Este material tem como vantagens em relação aos metais, as velocidades de cortes superiores, o menor desgaste das ferramentas e estratégias de usinagem mais agressivas, o que permite menor tempo de usinagem do molde. A quantidade de peças produzidas nestes moldes está em torno de 300 a 400 peças, considerando peças de grande complexidade interna como: nervuras, levando a um enfraquecimento do molde.

O sistema de resina epoxi nos permite a produção de moldes, utilizando o modelo físico, seja oriundo da prototipagem rápida, processos convencionais ou mesmo de peças já em produção. Consiste em preparar o suporte ( Berço ), levando em consideração a linha de fechamento, aplicando o sistema de resina mais o endurecedor, obtendo as cavidades do molde.

A definição de qual técnica será utilizada para produzir um determinado molde está relacionado a qual tipo de informações que estejam disponíveis ( se o modelo é virtual ou físico ), é também quais equipamentos estão a disposição para efetuar o trabalho, ( CNC, Prototipagem rápida, Equipamentos de reengenharia ou Máquinas convencionais) e se o modelo for composto por geometrias complexas ou não, conforme Ciclos para confecção de Protótipos ( Figura 1 )

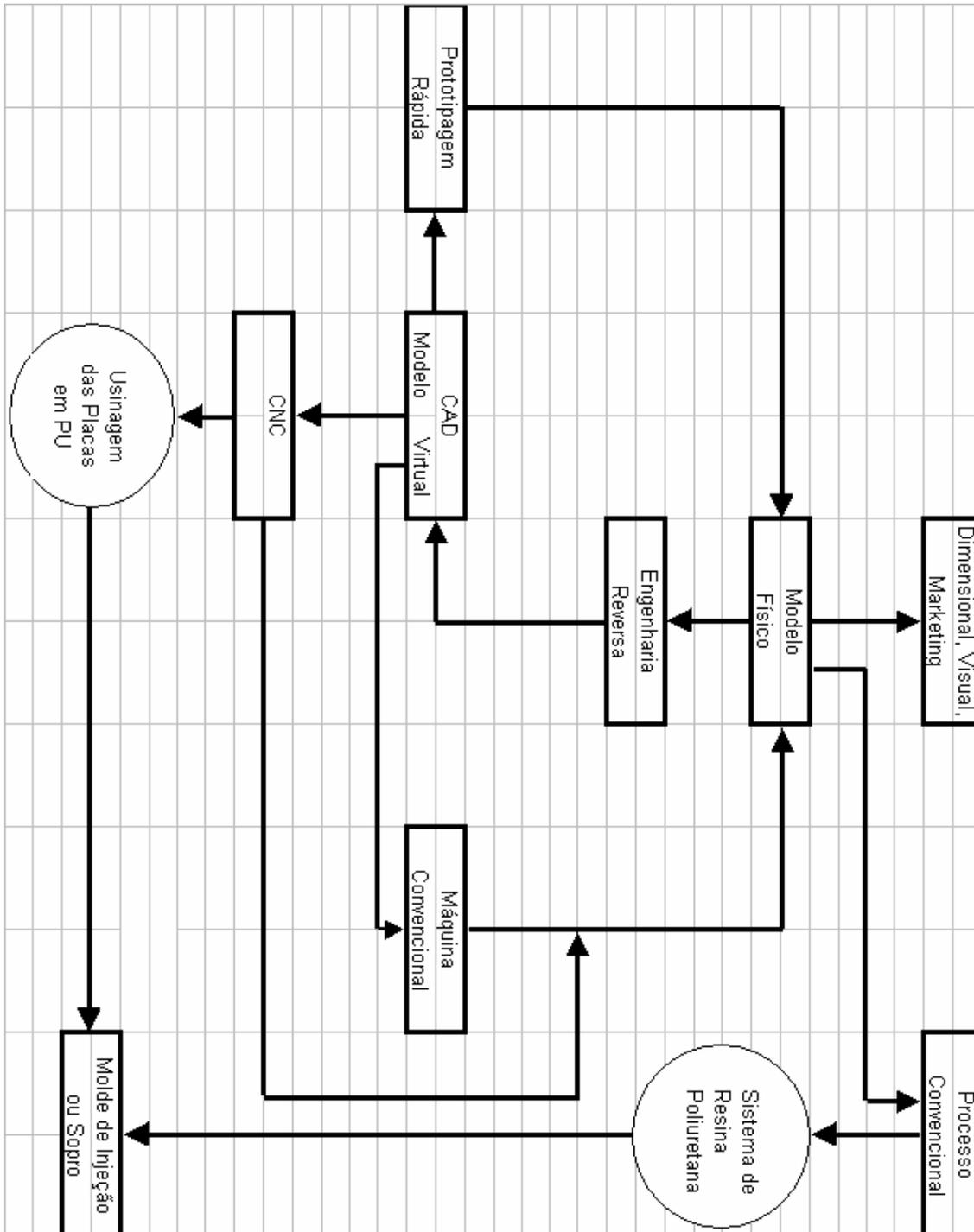


Figura 1 – Ciclos de confecção de Protótipos

## 2. Metodologia utilizada para confecção do molde em resina termofixa

A construção do molde protótipo teve como princípios, a exigências de que o produto( Polia da máquina de lavar roupas), fosse um protótipo, que tivesse resistências mecânicas e químicas definidas no projeto. Obteve-se a Polia original ( Figura 2), em alumínio, que motivou a equipe na mudança de material, devido ao seu elevado custo de produção, tanto se tratando de consumo de energia para promover a fundição do alumínio, como nas etapas de fabricação ( Rebarbação, usinagem do canal de acoplamento da polia). Desta exigências foi desenvolvido um Molde protótipo, para injetar a Polia em material termoplástico .

O material termoplástico definido no projeto para substituir o Alumínio foi a Poliamida 6.6 com 30% de fibra de vidro, que apresenta contração mas que não vai comprometer a relação das polias. Isto é, a contração do material após a injeção não irá promover a diminuição do diâmetro da polia a ponto de interferir na relação entre a polia motora e a motriz. A polia de Alumínio foi utilizada como MODELO FÍSICO para a construção do MOLDE PROTÓTIPO, e também as PEÇAS PROTÓTIPOS. No estudo do projeto, foram definidas modificações na peça, promovendo aumentos de raios para ganho de resistência( Figura 3).



Figura 2- Polia original em Al



Figura 3- Protótipo em Al

Após o protótipo em Alumínio, iniciou-se a preparação do suporte ( Berço ), levando em consideração a necessidade de gavetas em decorrência do canal da polia. Foi aplicado o sistema de resina termofixa ( 4026 + endurecedor RP 1500) na camada de superfície, após o gel time foi aplicado a resina de enchimento ( 4036 + endurecedor RP 1500, acrescentando alumínio granulado ( Figura 4) ).



Figura 4 - Montagem da caixa e enchimento com resina termofixa

Após a moldagem das gavetas (postigos) e também da matriz, foi preparado o conjunto para começar a aplicação da resina no punção. Onde foram utilizadas barras de aço SAE 1020, para proporcionar maior resistência para a cavidade (Figura 5).



Figura 5 – Colocação de barras SAE 1020 para reforço

Após o tempo de cura da resina termofixa, foi desmontado o suporte e iniciou-se o processo de pós cura, que tem como objetivo aumentar a reticulação molecular, que promovendo maior resistência térmica, mecânica ao sistema de resina empregada (Figura 6 e 7). Sendo a resistência à compressão da resina utilizada da ordem de  $19 \text{ Kgf/mm}^2$ , sabendo que área em resina da ferramenta está da ordem de  $160.000 \text{ mm}^2$  e a força de fechamento utilizada foi de  $250.000 \text{ Kgf}$  ( $250 \text{ Tonf.}$ ), teremos uma resistência à compressão no molde de  $1,56 \text{ Kgf/mm}^2$ . Os indicadores do fabricante da resina, indicam picos de temperaturas da ordem de  $170^\circ\text{C}$  a  $180^\circ\text{C}$ , sendo que em experiências anteriores e atuais, a mesma resistiu a temperaturas entre  $200^\circ\text{C}$  a  $260^\circ\text{C}$ , pois sendo a PA6:6 com 30% FV uma apresenta um elevado coeficiente de troca térmica para materiais plásticos. Portanto não houve transferência de calor da massa para o molde.



Figura 6- Cavidade Fêmea



Figura 7 – Cavidade Macho

Depois do resfriamento lento da temperatura de pós cura ( $160^\circ\text{C}$ ), iniciou-se a fixação das cavidades no porta molde, a inserção da bucha de injeção e o anel de centragem.

O try-out para obtenção da polia em PA 6.6 30% de fibra de vidro, utilizou-se uma injetora PIC modelo SKM 250, ano de fabricação 1970, com força de fechamento de  $250 \text{ Ton.}$ , com a capacidade de injeção de  $510 \text{ cm}^3$ , relação L/D de 21,8, diâmetro

da rosca 55 mm, distância entre colunas 400X400 mm e pressão específica de 972 bar.

Iniciamos então a injeção da primeira peça ( Figura 8 ), a qual apresentou falhas de material, como já era esperado, pois quando iniciamos o try-out de qualquer molde, devemos verificar alguns cuidados que se fazem necessários para não danificarmos o molde. Entre eles devemos destacar inicialmente a utilização de baixa pressão de injeção aumentando gradativamente. Por isso nossa primeira peça saiu com falhas, e com o aumento gradativo da pressão de injeção, pode-se verificar o comportamento do preenchimento da cavidade do molde, conforme as Figuras 9 e 10 .Levando em consideração que o molde foi concebido para produzir peças protótipos, e sendo assim, não há necessidade de ter grande produção, ciclos reduzidos e não há necessidade de produzir sistema de resfriamento para estes casos.



Figura 8 - Try – out molde protótipo



Figura 9- Primeira peça do Try-out



Figura 10 – Peça com falha de material

Após algumas tentativas , obtivemos a peça protótipo com o mínimo de rebarba e um excelente acabamento superficial, um dos pré-requisitos pelo fabricante da Polia ( Figura 11 ).



Figura 11 – Peça protótipo em PA 6:6 30% FV

### 3- Conclusão

Com a necessidade de se obter uma peça com propriedades mecânicas conforme proposta em projeto, obtivemos um molde protótipo com custo de aproximadamente 5% ( R\$ 5.000,00 ) em relação a um molde convencional em aço ( R\$ 100.000,00), onde há a possibilidade de produção de um lote protótipo de 300 unidades, que atende a necessidade de testes funcionais. Para se obter aprovação ou não para continuidade do projeto, ou necessidade de alguma alteração na geometria estrutural da peça.

### 4 - Agradecimentos

Agradecemos a todos o funcionários da Escola SENAI Mario Amato, em especial as pessoas abaixo :

Michel Simão de Carvalho – Instrutor de Ferramentaria  
Rogério Tadeu de Oliveira – Instrutor de Oficina  
Valdir Barbosa - Instrutor de Oficina  
Afonso Henriques Neto – Técnico de Ensino  
Ana Clélia Babetto – Técnica de Ensino  
Fausto Carlos Machini – Coordenador Técnico Núcleo do Plástico  
Milton Gava – Diretor

### 5 - Referências Bibliográficas

Livros:

- [1] Weingaertner, W. L. *“Tecnologia de Usinagem do Alumínio e suas Ligas”*, 1ª edição, São Paulo: Alcan Alumínio do Brasil, 1990, pp. 9-32.
- [2] Hegmann, W. *“Trabalho Artesanal do Alumínio”*, Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico S/A, 1981, pp. 1-25.
- [3] CALLISTER Jr, W.D Ciências e Engenharia de Materiais – Uma Introdução. LTC Editora, 5ª Edição, 2002.
- [4] GARCIA, A ; SPIN, J.A ; SANTOS, C dos. *Ensaio dos Materiais*. Rio de Janeiro, LTC Editora, 2000.

Home page:

- [ 5] < <http://www.alcoa.com.br> > acesso dia 07/10/03
- [ 6] < <http://www.eletrica.ufpr.br> > acesso dia 07/10/03
- [ 7] < <http://www.simplast.com.br> > acesso dia 24/10/03
- [ 8] < <http://br.share.geocities.com> > acesso dia 24/10/03
- [ 9] < <http://novas.locaweb.com.br> > acesso dia 03/11/03
- [ 10] < <http://gorni.hpg.com.br> > acesso dia 03/11/03
- [ 11] < <http://www.huntsman.com> > acesso dia 04/11/03

**MANUFACTURING THE PROTOTYPING MOLD OF  
THERMOPLASTICS RESIN IN A THEMOMOSSET RESIN**

## Prototyping mold in a thermoset resin

*César Augusto Guerrero<sup>2</sup>  
Gilberto Lodi<sup>3</sup>*

### Abstract

This project presents a methodology and information of fabrication the prototyping mold, in a thermoset resin ( surface resin # 4026 + hardner RP 1500 and a filling resin # 4036 with the same hardner ) for the part injection in a thermoplastics resin, actually manufactured in aluminum, showing the step by step construction of the mold, its characteristics till the thermoplastics prototipe construction ( PA6:6 30% FG ). We also search one resumed way to show the properties & advantages on manufacion the prototyping mold, reaching a better chemical & phisical properties choosen on product project turning better the cost benefits, in comparison to the metal mold prototipe, through tables, grafics, equations & pictiture, are explained the improvement of a proposed material & the thermoset resin based mold, in the produsion of parts & components to the most several kinds of industries.

Keywords: Prototyping mold, inathermoset resin, Prototipe product.

1 – II Meeting of Tools manufacturers, Mold and Die - september 21 to 23, 2004 –ABM –São Paulo – SP

2 – Teaching technician, SENAI Mario Amato School ( [docplastico116@sp.senai.br](mailto:docplastico116@sp.senai.br) )

3 – Teaching technician, SENAI Mario Amato School ( [docplastico116@sp.senai.br](mailto:docplastico116@sp.senai.br) )