

# USO DA SIMULAÇÃO DE EMPENAMENTO DE PEÇAS PLÁSTICAS NO AUXÍLIO AO PROJETO DE MOLDES DE INJEÇÃO.

<sup>(1)</sup>Mário Sonsino Carneiro

<sup>(2)</sup>Valdir Mendes Cardoso

## 1 RESUMO

A instabilidade econômica mundial e a globalização criaram no país um ambiente competitivo para os fabricantes de moldes. Neste cenário, as ferramentarias nacionais têm verificado a necessidade pela busca da melhoria da qualidade e pela redução dos prazos de fabricação das ferramentas para injeção plástica. Para atender as exigências do mercado, os fabricantes brasileiros de moldes e matrizes tem, gradativamente, adotado a simulação do processo de injeção como opção para otimizar o projeto dos moldes e reduzir o tempo necessário para aprovação e entrega do ferramental.

A metodologia empregada compreende, em uma primeira fase, na simulação do empenamento de um modelo similar a um tanque de radiador e à avaliação dos resultados de deflexão obtidos. Em seguida um novo modelo é criado, semelhante ao primeiro, mas com configuração deformada e inversa ao modelo inicial. A deformação inversa é ampliada em diferentes níveis e aplicada sucessivamente nos modelos. Os resultados de empenamento são avaliados com vistas no entendimento da influência da geometria do produto e da solução de projeto adotada no comportamento dimensional da peça após a extração do molde.

O principal objetivo deste trabalho é apresentar o uso da simulação do processo de injeção como importante ferramenta no auxílio ao projeto de moldes de injeção, permitindo reduzir os prazos de fabricação e entrega dos moldes e aumentar a qualidade e confiabilidade dos produtos injetados.

**Palavras-Chave:** peças plásticas, empenamento, moldflow

1º Encontro de Integrantes da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes – 28, 29 e 30 de outubro de 2003 – São Paulo - SP

Mário S. Carneiro ; Gerente de Produto – Plásticos ; Smarttech Serviços e Sistemas Ltda.

Valdir M. Cardoso ; Gerente de Produto – Mecânica ; Smarttech Serviços e Sistemas Ltda.

## 2 INTRODUÇÃO

Para desenvolver novos produtos, as empresas precisam cada vez mais minimizar os prazos de desenvolvimento e fabricação. O objetivo deste trabalho é mostrar como a simulação de injeção pode auxiliar na eliminação do processo de tentativa e erro existente ainda hoje durante o desenvolvimento de peças plásticas injetadas e moldes de injeção.

Com o uso da simulação do processo de fabricação passa a ser possível antever os problemas que podem ocorrer com a peça plástica antes de sua fabricação ou do molde. Os responsáveis pelo projeto do produto e do molde adquirem a capacidade de avaliar o impacto de diferentes soluções de projeto considerando, espessuras, número e posição dos pontos de injeção, material utilizado e parâmetros de processo em critérios de qualidade definidos como: - Deflexões máximas, - aspecto visual, - quantidade e posição de linhas de emenda entre outros. Com a possibilidade de prever e minimizar problemas de fabricação, a necessidade de alterar um molde depois de pronto e realizar sucessivos "try out's" é eliminada e os tempos de projeto e construção do molde são os únicos a compor o prazo de entrega, tendo a aprovação do produto como consequência natural do processo de desenvolvimento bem elaborado e conduzido.

A indústria automobilística têm se tornado cada vez mais exigente em relação aos critérios de qualidade e solicitado cada vez mais dos seus fornecedores o emprego de tecnologias de ponta. Neste trabalho foi criado um modelo de semelhança geométrica com tanques de radiador utilizados em veículos de passeio e estudado seu comportamento ao empenamento. Modelos com diferentes níveis de contra deformação, criados a partir dos resultados de empenamento do modelo inicial, foram preparados e a comparação dos resultados da simulação de empenamento de cada um deles foi utilizada como subsídio para as conclusões do trabalho.

## 3 DESENVOLVIMENTO

O trabalho segue as seguintes fases :

- 3.1) Os diferentes efeitos que envolvem o empenamento de peças plásticas <sup>(4)</sup>;
- 3.2) Escolha e preparação do modelo para a simulação ;
- 3.3) Simulação do processo de injeção da peça e avaliação dos resultados de empenamento;
- 3.4) Avaliação e discussão dos novos resultados.

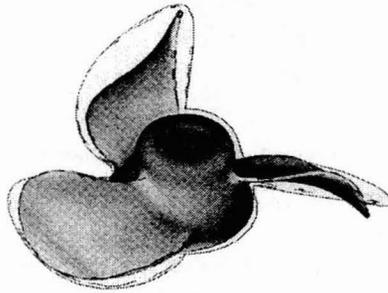
### 3.1 Os diferentes efeitos que envolvem o empenamento de peças plásticas.

As peças plásticas injetadas possuem como característica inerente ao processo de fabricação a mudança da forma original após a extração do produto. A esta mudança denominamos empenamento.

O processo de injeção compreende fenômenos físicos acoplados que envolvem o escoamento de fluidos, condução de calor e mudança de fase dos materiais termoplásticos. Durante este processo, o termoplástico fundido a uma alta temperatura escoava entre as paredes

do molde, perdendo calor para o mesmo e mudando dinamicamente, sua temperatura e seu estado, de líquido para sólido.

Durante a solidificação, o material termoplástico diminui seu volume e sofre encolhimento. O encolhimento não uniforme sofrido pelo material termoplástico, somado às pressões que envolvem o preenchimento do molde e a as altas viscosidades do termoplástico fundido geram o que chamamos de tensões residuais. Estas tensões, aplicadas ao produto em contraposição à rigidez natural oferecida pela geometria da peça, causam deflexões após a extração.



**Figura 1 – Resultado de empenamento e configuração deformada sobreposto com modelo original.**

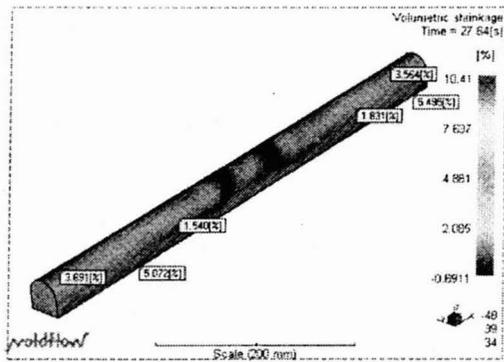
O empenamento das peças plásticas induzido pelo processo se dividem em três causas raiz. Quando as deflexões provocadas pelos três diferentes efeitos são somadas, obtém-se a configuração deformada final da peça após a extração do molde. Estes efeitos seguem melhor detalhados abaixo :

### *3.1.1 – Efeito de contração Diferenciada*

Na injeção das peças plásticas, após o completo preenchimento da cavidade do molde, uma segunda fase de injeção é iniciada. Essa fase é conhecida como recalque.

O recalque corresponde ao momento no processo onde é realizada uma compensação de massa dentro da cavidade, necessária para evitar o encolhimento excessivo e completa deformação da peça.

Durante o preenchimento, recalque e resfriamento da peça, as histórias de pressão e temperatura, somadas ao comportamento específico do material sendo utilizado, determinam o quanto cada ponto da peça irá contrair no momento da extração. Quando as contrações são uniformes e iguais ponto a ponto ao longo da peça, o produto sofre também um encolhimento uniforme e apenas uma redução do seu tamanho. Quando estas contrações variam ao longo da peça, são induzidas tensões residuais e o conseqüente empenamento do produto.

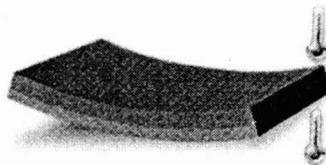


**Figura 2 – Resultado de contração volumétrica ao longo da peça.**

### 3.1.2 – Efeito de Refrigeração diferenciada

Uma condição de processo que influencia a troca de calor e a dinâmica de solidificação do material durante a injeção é a temperatura do molde e sua homogeneidade ao longo das paredes do mesmo.

Diferenças de temperatura entre os lados do molde geram diferentes taxas de resfriamento ao longo da espessura do produto<sup>(3)</sup>. Sabendo da dependência que o encolhimento da peça possui em relação a história de temperatura e pressão, diferentes taxas de resfriamento ao longo da espessura causam também diferentes níveis de contração. Por sua vez, estas diferentes contrações provocam tensões residuais internas e empenamento do produto.

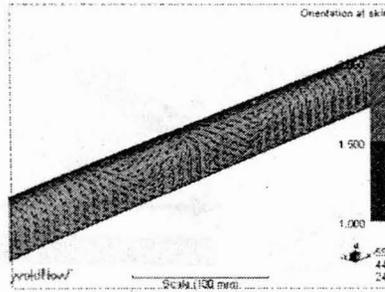


**Figura 3 – Efeito de diferentes temperaturas do molde no empenamento de um produto plástico injetado.**

### 3.1.3 – Efeitos de Orientação

Os materiais termoplásticos são formados por moléculas longas conhecidas como polímeros e podem possuir cargas como talco ou mesmo fibras de vidro. Durante o processamento dos termoplásticos essas moléculas ou fibras se orientam no sentido em que acontece o preenchimento da cavidade.

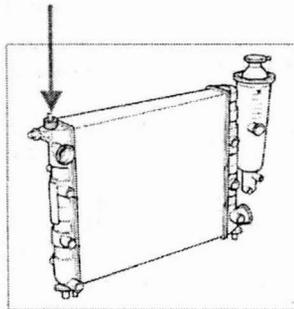
Uma das características dos materiais termoplásticos, carregados ou não, corresponde à diferenças de contração que existem entre o sentido do fluxo e o sentido transversal ao mesmo. Estas diferenças provocam tensões internas que, por sua vez, resultam em empenamento.



**Figura 4 - Resultado apresentando orientação molecular junto à parede do molde.**

### 3.2 Escolha e preparação dos modelos para a simulação

Os modelos selecionados e preparados para a simulação possuem similaridade com tanques de radiador utilizados em veículos de passeio. Este modelo foi escolhido pois, atualmente, utiliza-se na construção de moldes para este tipo de produto o recurso de usinar cavidades com contra deformação aplicada, buscando obter peças mais planas, dentro das tolerâncias especificadas.



**Figura 5 – Tanque de Radiador, produto com o qual o modelo utilizado possui similaridade.**

O modelo possui características que torna o processo e o comportamento do produto ao empenamento peculiar.

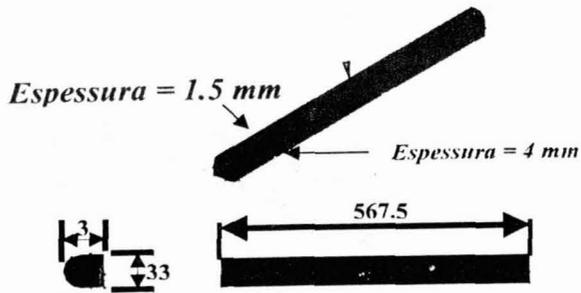


Figura 6 – Modelo utilizado na simulação , sem contra deformação.

### 3.2.1 – Criação dos modelos com contra deformação

Após preparado o modelo plano e obtido os resultados de empenamento, foram criados outros seis modelos com contra deformação aplicada em diferentes níveis.

Os níveis de contradeformação foram determinados por fatores variando de (-1) até (-2), multiplicados aos deslocamentos obtidos dos resultados de deflexão do modelo original, conforme ilustração abaixo;

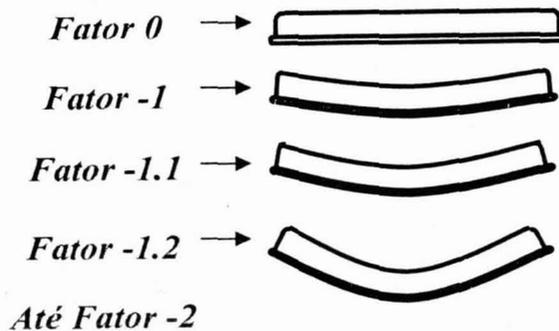


Figura 7 – Níveis de contra deformação aplicados ao modelo original

### 3.3 Simulação do processo de injeção da peça e avaliação dos resultados de empenamento ;

Ao realizar as simulações, as seguintes aproximações foram realizadas para simplificar o problema :

- O sistema de refrigeração e seus efeitos sobre o empenamento não foram considerados;
- Foram rodadas análises de flambagem em todos os modelos e não foi verificada flambagem em nenhum deles;

- A simulação de empenamento fez uso de algoritmo linear, validando o problema para pequenos deslocamentos e deformações;
- Durante o estudo foram aplicadas contra deformações em todos os sentidos (X, Y e Z) mas somente os deslocamentos em Z foram avaliados.

**Os parâmetros de processo e material utilizados nas simulações foram :**

**Material :** Poliestireno (Styron 693)

**Temperatura do Fundido :** 225°C

**Temperatura do Molde :** 42,5°C

**Tempo de Injeção :** 3 segundos

**Pressão Máxima de Recalque :** 75 Mpa

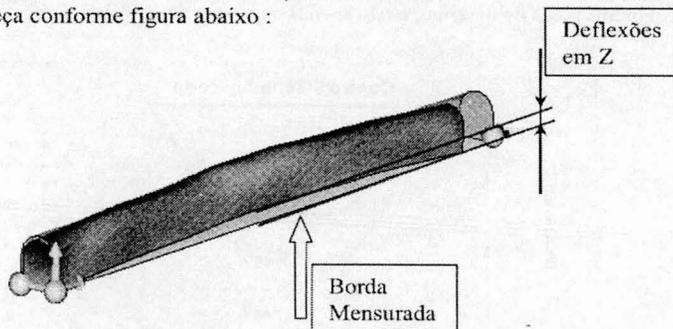
**Tempo de Recalque :** 4 segundos

**Tempo de Resfriamento :** 20 segundos

**Máx. Força de Fechamento :** 57 toneladas

**Sequencia de Análise :** Preenchimento + Recalque + Empenamento

Foram realizadas simulações em todos os modelos, mantendo inalterados os parâmetros de processo. Com os resultados em mãos, foram medidas as deflexões em uma aresta de interesse da peça conforme figura abaixo :



**Figura 8 – Indicação da borda mensurada para análise das deflexões.**

### 3.3.1 - Causas do Empenamento

No caso específico do modelo simulado, as causas de empenamento se restringiram à influência dos efeitos de contração diferenciada e orientação. A soma das deflexões calculadas para ambos os efeitos resultaram na forma final do produto após a extração.

O resultado de contração volumétrica (Ver figura 2) sobre a superfície do produto apresenta as diferenças de contração causadas pela distribuição não uniforme de espessuras. Isto provoca no modelo tensões internas causando deflexões e empenando o produto na forma de um arco.

Os efeitos de orientação por sua vez se contrapõe aos observados por contração diferenciada, provocando uma pequena redução na amplitude das deflexões finais.

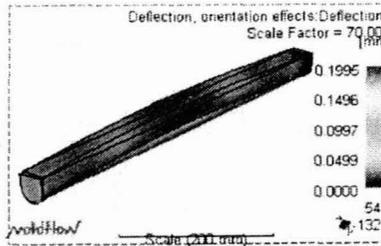


Figura 9 – Deflexões causadas por efeitos de orientação

### 3.4 Discussão e Avaliação dos Resultados

Após rodadas as análises de empenamento nos vários modelos, os deslocamentos da borda mensurada foram colecionados em um gráfico para cada fator aplicado como contra deformação.

Observou-se uma mudança da forma deformada na borda em estudo, com o aumento da contra flecha aplicada. A partir do fator igual a (-1,2) a curva de deflexão passou a apresentar dois picos de máximo, e não apenas um como no modelo inicial.

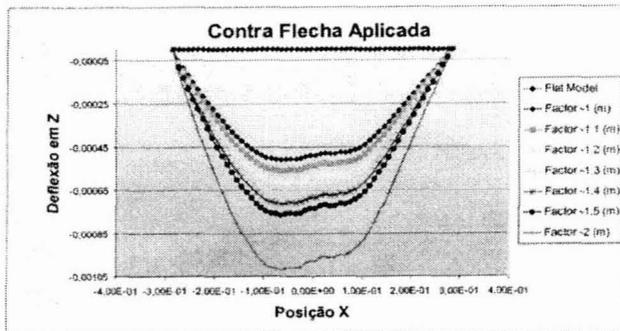


Figura 10 – Contra flechas aplicadas em cada modelo, conforme fator

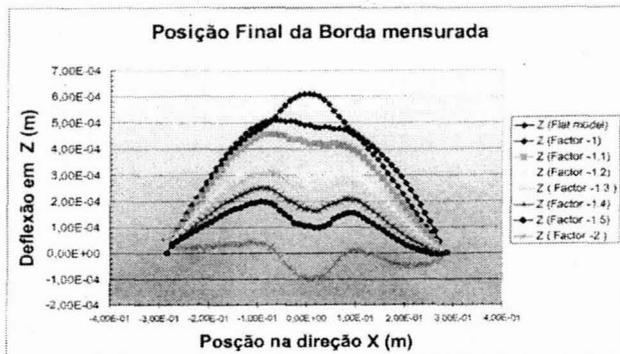


Figura 11 – Perfil de deformação da borda mensurada para cada modelo simulado.

## 4 CONCLUSÕES

- Foi possível com o trabalho iniciar a criação de uma metodologia que permita fazer uso da simulação para definir forma e magnitude de contra flechas a serem aplicadas na cavidade de um molde com o objetivo de obter uma peça com empenamento reduzido e dimensões dentro de tolerâncias especificadas;
- A melhor forma de garantir uma solução de projeto que leve os produtos plásticos a atenderem as especificações dimensionais é utilizar a simulação para estudar e medir a influência das diferentes variáveis que envolvem o empenamento da peça como por exemplo : - Posição e número de pontos de injeção; -Sistema de refrigeração; - Matéria Prima utilizada; - Parâmetros de Processo. De posse de diferentes condições simuladas, decidir pela solução de projeto mais adequada aos critérios de qualidade previamente definidos.
- Somente a aplicação de contra flechas simetricamente opostas em magnitude igual ao empenamento inicial calculado não mostrou eficácia para permitir uma peça plana, como originalmente desejado. No caso específico do produto aqui tratado, o melhor resultado foi obtido com a aplicação de uma deformação negativa de duas vezes o empenamento inicial calculado.
- Para estudos posteriores, seria adequado reaplicar os resultados de empenamento dos modelos como contra flecha a cada etapa e não a partir da forma deformada inicial. Desta maneira acredita-se ser possível absorver como entrada, a cada modelo criado com contra flecha, a mudança na forma deformada, até se obter o produto com a planicidade desejada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **Moldflow Plastics Insight 4.0 - On Line Help.** Wayland, MA: 2003;
- [2] **Ansys 7.0 documentation.** Canonsburg, PA: 2002;
- [3] **Advanced Flow Simulation Training Manual.** Wayland, MA: 2003. 258 p.
- [4] **Advanced Warp Simulation Training Manual.** Wayland, MA: 2003. 117 p.
- [5] NIGGEMEIER, Peter; MICHAELI, Peter; Improvement of the simulation of Shrinkage and Warpage by Characterizing the Material Behaviour More Exactly. In : ANTEC 2000, 2000, Orlando:
- [6] WANG, T. James; YOON, C. K., Effects of Process Conditions on Shrinkage and Warpage in the Injection Molding Process. In : ANTEC 2000, 2000, Orlando:
- [7] SRIDHAR, L.; NARH, K. A.; Effect of Temperature Dependent Thermal Properties on the Accuracy of Simulation of Injection Molding Process . In : ANTEC 2000, 1000, Orlando :

# INJECTION MOLDING SIMULATION AS A TOOL IN MOLD DESIGN PROCESS

<sup>(1)</sup>Mário Sonsino Carneiro

<sup>(2)</sup>Valdir Mendes Cardoso

## ABSTRACT

The world economy situation and globalization process have created a competitive environment for Brazilian mold builders companies. Because of that, mold builders have looked for different ways to obtain injection mold quality improvements and achieve short lead times to attend market expectations. In this way, Injection Molding Simulation comes as a tool to optimize mold and product design and get the approved plastic part in first mold trial.

The method adopted in this paper was :

1<sup>st</sup> - Run a warpage simulation in a model with radiators tank similarity and analyse deflections results;

2<sup>nd</sup> - Create a new deformed model from the original flat model, applying warpage displacements in the negative direction. The negative displacements are increased in different levels to create new different models (windage process).

3<sup>rd</sup> - New warpage analysis were ran with each model and deflections results were evaluated regarding part geometry and design solution adopted.

4<sup>th</sup> - Conclusions were formulated.

The main purpose of this paper is to present how usefull is Injection Molding Process simulation regarding mold design support, short lead times and high quality plastic parts.

**Keywords:** plastic parts, warpage, moldflow

1º Encontro de Integrantes da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes – 28, 29 e 30 de outubro de 2003 – São Paulo - SP

Mário S. Carneiro ; Gerente de Produto – Plásticos ; Smarttech Serviços e Sistemas Ltda.

Valdir M. Cardoso ; Gerente de Produto – Mecânica ; Smarttech Serviços e Sistemas Ltda.