



DOSSIÊ TÉCNICO

Simulação Computacional do Processo de Injeção em Ambiente Virtual

Jocelito Torres

SENAI-RS

**Escola de Educação Profissional SENAI Nilo
Bettanin**

**Novembro
2007**

Sumário

1	INTRODUÇÃO	2
2	OBJETIVO	2
3	PROCESSO DE INJEÇÃO	3
3.1	Máquina injetora de termoplásticos	3
3.2	Molde de injeção	4
3.3	Propriedades do termoplástico	4
3.4	Ciclo de injeção	6
3.4.1	Etapa de fechamento	7
3.4.2	Etapa de injeção	7
3.4.3	Etapa de recalque	7
3.4.4	Etapa de resfriamento	8
3.4.5	Etapa de plastificação	8
3.4.6	Etapa de descompressão	8
3.4.7	Etapa de abertura	8
3.4.8	Etapa de extração	8
4	SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE INJEÇÃO	8
4.1	Módulos de simulação do processo injeção	9
4.1.1	Simulação de preenchimento	9
4.1.2	Simulação de recalque e contração	11
4.1.3	Simulação de resfriamento	12
4.1.4	Simulação de empenamento	14
4.1.5	Simulação de orientação de fibras	15
4.2	Simulação de processos especiais de injeção	16
	Referências	17



Título

Simulação computacional do processo de injeção em ambiente virtual

Assunto

Fabricação de artefatos de material plástico para usos industriais

Resumo

Neste dossiê, são descritas as etapas de um processo de moldagem por injeção e a simulação computacional deste processo. Usando simulação computacional, várias combinações de parâmetros de projeto, materiais e processamento podem ser testados rapidamente e de forma econômica. Esta ferramenta é muito utilizada com o objetivo de minimizar problemas de produção, partindo da concepção do produto até o projeto do molde e definindo as condições de processamento.

Palavras-chave

Computador; informática; injeção de plástico; plástico; polímero; programa de computador; software

Conteúdo

1 INTRODUÇÃO

A simulação do processo de injeção em ambiente computacional é uma ferramenta que está sendo utilizada amplamente no sentido de minimizar problemas de produção. Partindo da concepção da peça até o projeto do molde, ela permite identificar o melhor projeto para atender os requisitos de qualidade e produtividade exigidos em peças injetadas em plásticos.

A complexidade das peças plásticas, bem como os requerimentos de qualidade de produtos e moldes tem aumentado progressivamente, mostrando uma tendência para maior integração de funções das peças, mudança dos processos de injeção e redução no tempo de desenvolvimento de novos produtos.

Abordagens intuitivas, pelo método de tentativa e erro, têm-se mostrado cada vez mais ineficientes, quando aplicadas na injeção de peças complexas, de elevado custo ou produzidas em novos materiais. Portanto, ao se utilizar simulação do processo em ambiente virtual, pode-se testar o produto no computador e prever potenciais problemas antes de sua fabricação.

2 OBJETIVO

Este trabalho tem o objetivo de apresentar uma abordagem geral da simulação computacional aplicada ao processo de moldagem por injeção para a melhoria no desenvolvimento de produtos injetados em termoplásticos.

3 PROCESSO DE INJEÇÃO

O processo de moldagem por injeção é uma técnica de moldagem que consiste basicamente em forçar, através de uma rosca-pistão, a entrada do composto fundido para o interior da cavidade de um molde. Após o resfriamento da peça, a mesma é extraída e um novo ciclo de moldagem ocorre. Portanto, a moldagem por injeção é um processo cíclico de transformação de termoplásticos e abrange os seguintes eventos:

- Transporte do material termoplástico;
- Aquecimento e plastificação do material;
- Homogeneização do material plastificado;
- Injeção do material plastificado no interior da cavidade do molde;
- Resfriamento e solidificação do material na cavidade;
- Ejeção da peça moldada.

O processo de moldagem injeção é um dos processos de transformação de plásticos mais versáteis para o processamento de polímeros, sendo aplicado na produção de diversos produtos. Embora esse processo seja aparentemente simples, há uma complexa interação entre:

- Características da máquina injetora;
- Geometria do molde;
- Propriedades do termoplástico;
- Parâmetros de processo.

3.1 Máquina injetora de termoplásticos

Uma máquina injetora de termoplásticos (FIG. 1) é o equipamento utilizado para fabricação descontínua de produtos moldados, pela injeção de material plástico no molde, que contém uma ou mais cavidades, em que o produto é formado. A máquina injetora consiste, essencialmente, da unidade de fechamento, unidade de injeção, sistemas de controle e acionamento.



Figura 1 - Máquina injetora.
Fonte: Banco Técnico Senai Nilo Bettanin, 2007.

3.2 Molde de injeção

O molde é um dispositivo em forma de bloco e constituído por placas, cuja função é conter uma ou mais cavidades que recebe o material plastificado dando forma ao produto injetado. O molde é um item de grande importância no processo de injeção, por isso seu projeto e o material com o qual é construído, podem ser um fator determinante para o bom processamento de um termoplástico. A FIG. 2 apresenta um molde de injeção e detalha os seus principais componentes.

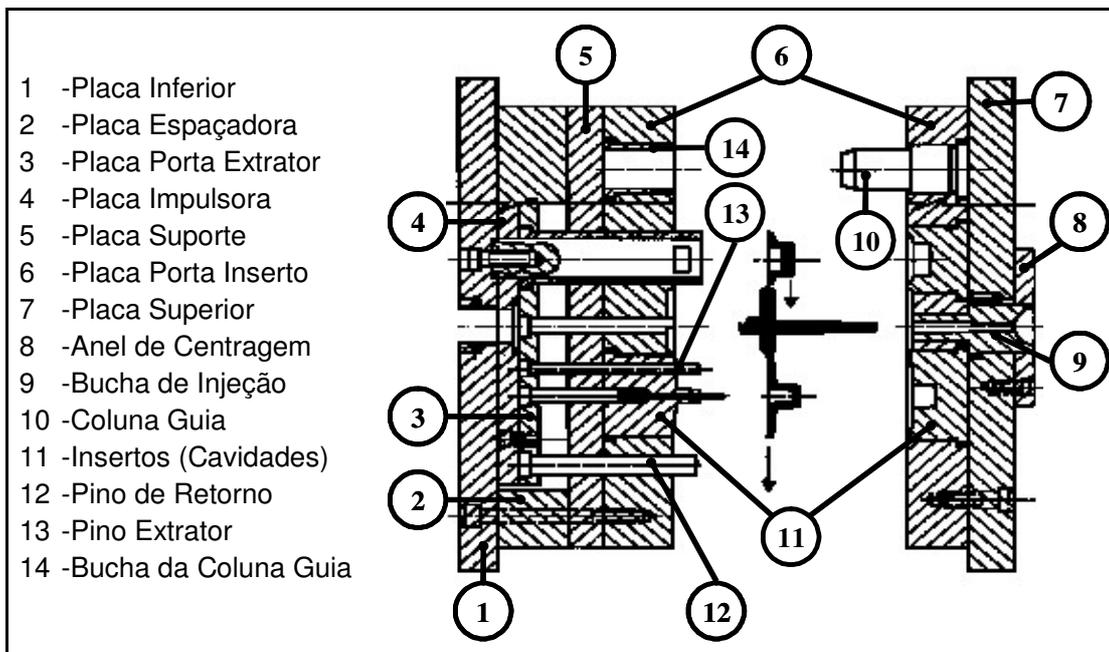


Figura 2 – Molde de injeção.
Fonte: Banco Técnico Senai Nilo Bettanin, 2007.

O desenvolvimento tecnológico na construção de moldes para injeção de plásticos tem sido impellido pela produção de peças complexas, nas quais surge a exigência de alta qualidade. A forte pressão para redução dos custos de produção exige também quedas significativas no custo de fabricação dos moldes, sem comprometimento da qualidade destas. O bom desempenho de uma ferramenta de injeção está diretamente associado ao cuidado com que seu projeto foi desenvolvido, tanto na concepção funcional quanto na definição dos materiais e processos empregados.

3.3 Propriedades do termoplástico

Os termoplásticos são polímeros, classe de materiais que consistem em muitas moléculas pequenas (monômeros) que podem ser unidas para formar, assim eles são conhecidos como macromoléculas. Um termoplástico típico pode possuir milhares de monômeros e quando submetidos a aquecimento e pressão, amolecem, podendo ser moldados. Quando essas condições são retiradas, o termoplástico solidifica e conserva a forma do molde.

O comportamento reológico dos termoplásticos é a propriedade mais importante para o processamento, em virtude de este comportamento afetar todos os processos onde ocorre o escoamento do material seja dentro do cilindro plastificador ou no molde. O preenchimento do molde é especialmente influenciado pelo comportamento reológico dos termoplásticos, visto que a viscosidade determina certas características tais como, pressão de injeção ou força de fechamento, necessárias para a máquina injetora, estabelecendo também a mínima espessura de parede ou o máximo comprimento de fluxo da peça.

Portanto, a determinação do comportamento durante o fluxo e as propriedades reológicas dos termoplásticos fundidos são fundamentais para um bom entendimento do processo de moldagem por injeção, sendo por isso o objetivo dessa abordagem inicial. O comportamento reológico dos termoplásticos é denominado de viscoelástico, pelo fato deles se comportarem como um líquido viscoso, mas também apresentando características de um sólido elástico, quando no estado fundido. Na maioria dos casos, contudo, as propriedades viscosas são dominantes no estado fundido. Em resposta a uma tensão (força por unidade de área) aplicada, os termoplásticos fundidos exibem um comportamento viscoelástico, que combina as características de um líquido viscoso ideal com as de um sólido elástico ideal.

Em outras palavras, sob certas condições, os termoplásticos fundidos comportam-se como um líquido, e se deformam continuamente, enquanto uma tensão cisalhante for aplicada. Contudo, quando a tensão é removida, o material exibe um comportamento semelhante a um sólido elástico com uma recuperação parcial da deformação. Este comportamento viscoelástico é causado pela configuração das moléculas do termoplástico no estado fundido, a qual permite o movimento e o escorregamento das cadeias poliméricas sob a influência de uma carga aplicada. No entanto, o emaranhamento das cadeias moleculares do polímero também faz com que o sistema se comporte como um sólido elástico sob a aplicação e remoção de uma carga externa. Após a remoção da tensão aplicada, as cadeias tenderão a retornar ao seu estado emaranhado de equilíbrio. O processo de escoamento dos termoplásticos em moldes de injeção envolve principalmente o cisalhamento do fundido. Isto ocorre porque o fundido adere às superfícies adjacentes ocorrendo então o seu cisalhamento.

Para um fluido viscoso ideal, ou Newtoniano, a viscosidade é constante com a taxa de cisalhamento. Contudo o comportamento mais usual para os polímeros fundidos é aquele em que a viscosidade diminui com o aumento da taxa de cisalhamento. Os termoplásticos fundidos de uma forma geral que apresentam este comportamento que é chamado de pseudoplástico (FIG. 3). Uma explicação para este comportamento é que à medida que a taxa de cisalhamento aumenta, as moléculas do termoplástico tornam-se menos emaranhadas, adquirindo uma certa orientação que favorece o fluxo do material. Neste caso então, quando as moléculas são orientadas torna-se, portanto, mais fácil deslocá-las.

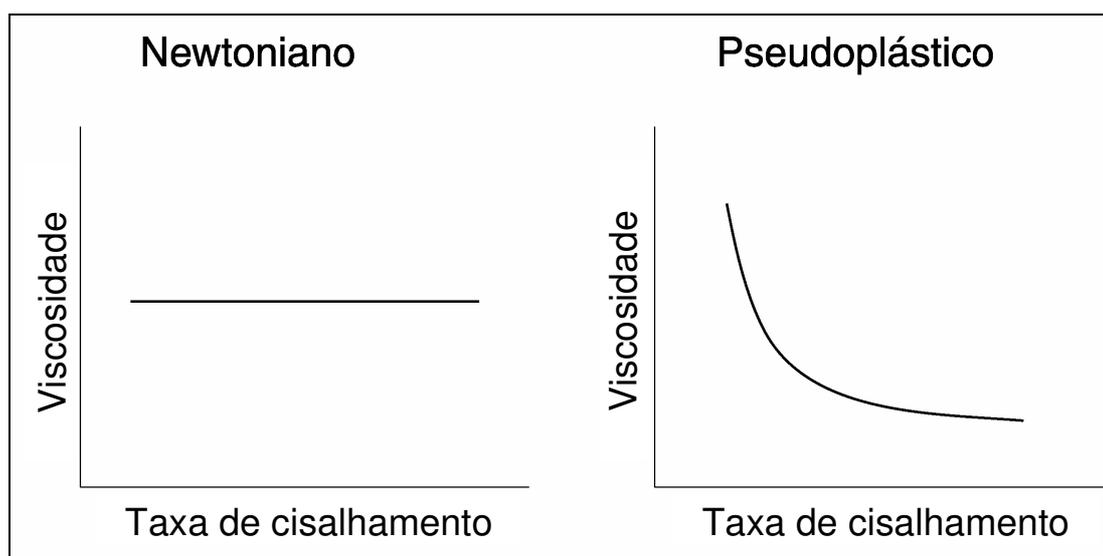


Figura 3 – Comportamento Newtoniano e pseudoplástico.
Fonte: Banco Técnico Senai Nilo Bettanin, 2007.

Além da taxa de cisalhamento, existem outros fatores que produzem uma variação na viscosidade do termoplástico, representados na FIG. 4. Por exemplo, o aumento da temperatura produz uma redução da viscosidade, sendo dependente, contudo, do tipo de

material a ser utilizado. Além disso, facilitadores de fluxo tais como lubrificantes internos misturados à resina básica melhoram as propriedades de processamento reduzindo também a viscosidade.

O peso molecular do polímero também exerce uma influência considerável na viscosidade do polímero. Desta forma, um polímero que possui um peso molecular elevado (com macromoléculas maiores) possui uma maior resistência ao fluxo que polímeros com moléculas menores. Quanto maiores as cadeias poliméricas, mais elas se tornam emaranhadas dificultando o seu escoamento. Assim, de forma a melhorar a facilidade de processamento do polímero, os termoplásticos têm seu peso molecular restringido a um determinado limite.

Outro fator que afeta a viscosidade é a pressão aplicada sobre o polímero. À medida que a pressão aumenta, a viscosidade também aumenta, porém este efeito é considerado secundário quando comparado aos efeitos da temperatura e peso molecular do polímero sobre a viscosidade.

Finalmente, as cargas e materiais de reforço, tais como fibras de vidro, também provocam um aumento da viscosidade. Desta forma, a adição destes materiais leva a um aumento da pressão necessária para que estes polímeros sejam injetados, quando comparados a polímeros sem a presença dos mesmos.

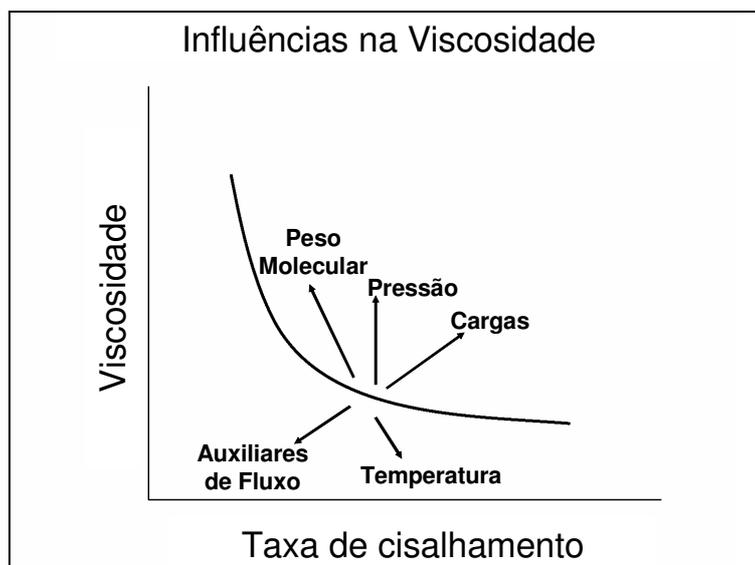


Figura 4 – Fatores de influência na viscosidade do termoplástico.
Fonte: Banco Técnico Senai Nilo Bettanin, 2007.

3.4 Ciclo de injeção

O processo de moldagem por injeção é cíclico e composto por diversas etapas, apresentadas na FIG. 5. Para realizar um ciclo de injeção é necessário programar os diversos parâmetros em cada uma das etapas.

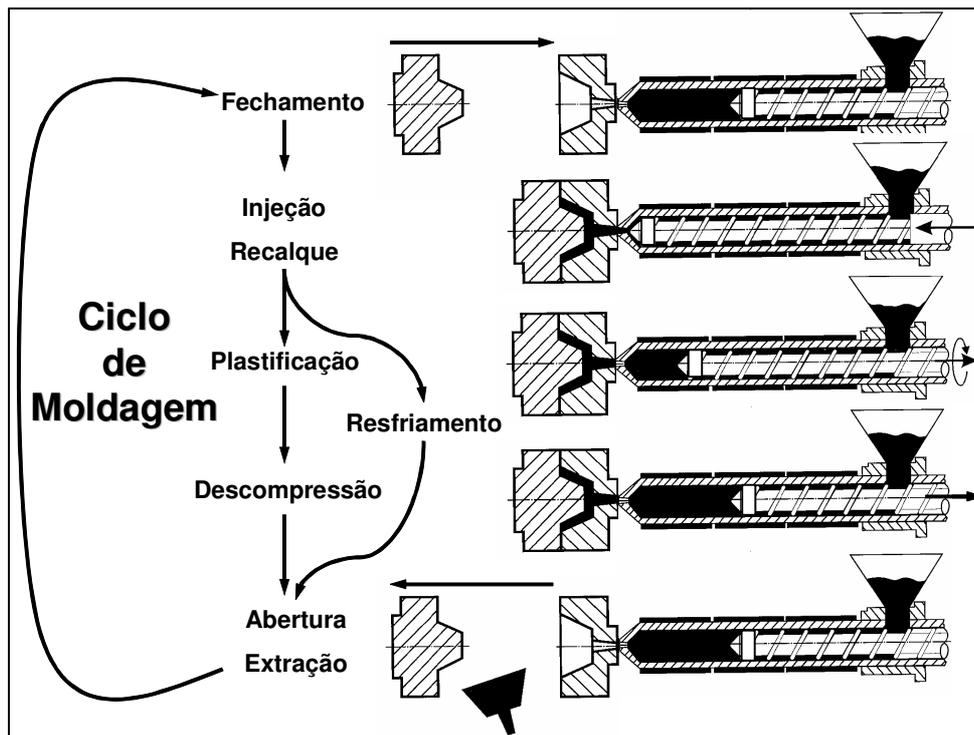


Figura 5 – Etapas do ciclo de injeção.
Fonte: Banco Técnico Senai Nilo Bettanin, 2007.

3.4.1 Etapa de fechamento

O ciclo de moldagem é iniciado pelo fechamento, que é o movimento de avanço da placa móvel, promovendo o travamento do molde, necessário para suportar a altíssima pressão no interior da cavidade no momento da injeção.

3.4.2 Etapa de injeção

Como o próprio nome indica, trata-se da injeção do termoplástico fundido para o interior da cavidade (ou cavidades) do molde por meio do movimento linear de avanço da rosca recíproca e bloqueio do contra-fluxo pela ação do anel de bloqueio. Parâmetros importantes nessa etapa são a pressão e a velocidade de injeção, sendo que ambas podem ser escalonadas para promover o preenchimento uniforme das cavidades. Outro aspecto importante diretamente relacionado à etapa de injeção refere-se aos canais de injeção e aos pontos de injeção das cavidades do molde. É através dos canais de injeção que o termoplástico fundido chega às cavidades do molde, sendo que o ponto de entrada do composto é conhecido como ponto de injeção. Os canais de injeção devem ser dimensionados de forma a permitir o fluxo do termoplástico fundido com a mínima perda de pressão. Os pontos de injeção, por sua vez, devem ser dimensionados e posicionados de modo a permitir o preenchimento uniforme da cavidade, com a menor incidência possível de defeitos superficiais.

3.4.3 Etapa de recalque

Finalizado o preenchimento das cavidades, a pressão nas mesmas é mantida até a solidificação completa dos pontos de injeção. Essa manutenção da pressão nas cavidades é conhecida como recalque, e se destina a compensar a contração da peça moldada durante seu resfriamento, evitando a ocorrência de defeitos de moldagem como os rechupes e outras imperfeições, bem como perda de parâmetros dimensionais.

3.4.4 Etapa de resfriamento

Finalizada a etapa de recalque, a peça é mantida no molde fechado para complementação de sua solidificação. Paralelamente à etapa de resfriamento sem aplicação de pressão na cavidade, o processo inicia um novo ciclo de dosagem de composto para a próxima injeção. O resfriamento prossegue até que a peça moldada apresente resistência mecânica suficiente para poder ser retirada do molde sem sofrer deformações ou perda de parâmetros dimensionais.

3.4.5 Etapa de plastificação

A plastificação e homogeneização do composto no cilindro de injeção são conseguidas por meio do movimento de rotação da rosca recíproca e de aquecimento do cilindro por resistências elétricas. Parâmetros importantes na etapa de dosagem são: a temperatura do cilindro, a velocidade de rotação da rosca e a contrapressão da rosca. Maiores velocidades de rotação da rosca promovem maior cisalhamento e homogeneização do termoplástico, porém com maior solitação térmica, o que pode comprometer a estabilidade do mesmo. O mesmo vale para a contrapressão da rosca, que nada mais é do que a pressão exercida na traseira da rosca de modo a dificultar seu recuo no momento da dosagem. Quanto maior a contrapressão, maior o cisalhamento e a homogeneização do termoplástico, bem como maior a solitação térmica do mesmo.

3.4.6 Etapa de descompressão

A descompressão é o alívio da pressão existente no material dosado, que se encontra à frente do parafuso, produzida pelo seu recuo, o que ocorre mediante um valor programado. Sua função é evitar que o material escorra pelo bico da injetora, seja para dentro do molde no caso do bico permanecer encostado na bucha, ou mesmo para fora, quando a unidade injetora for recuada durante o ciclo de injeção.

3.4.7 Etapa de abertura

No final do tempo de resfriamento é acionada a unidade de fechamento, para recuar a placa móvel e, assim, abrir o molde. Assim como no fechamento, a velocidade de abertura e a pressão hidráulica no cilindro podem ser controladas. Programa-se uma velocidade de abertura lenta para o início do movimento, com pressão suficiente para um destravamento suave. No entanto, a maior parte do curso deve ser feita o mais rápido possível, reduzindo o tempo de ciclo. O comprimento do curso de abertura deve ser o menor possível, sempre no sentido de reduzir o tempo de ciclo. O curso total de abertura do molde deve ser suficiente para permitir a adequada extração e remoção do produto moldado.

3.4.8 Etapa de extração

Após a etapa de resfriamento o molde é aberto e a peça extraída por ação de extratores mecânicos ou, mais comumente, hidráulicos ou elétricos. Alguns produtos podem ser extraídos com o auxílio de ar comprimido ou pela simples interferência do operador da máquina injetora.

4 SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE INJEÇÃO

As condições sobre as quais uma peça é moldada têm um efeito significativo na qualidade da peça, incluindo acabamento superficial, estabilidade dimensional e propriedades mecânicas adequadas.

Novos polímeros e a demanda por peças de melhor qualidade têm forçado técnicos a melhorar a eficiência do processo de injeção. Atualmente existem diversas ferramentas comerciais para

simulação do processo de injeção, como o Moldflow, o CadMould, o Moldex3D, o MAPS-3D, entre outros. Estas ferramentas são também conhecidas genericamente como sistemas CAE (*Computer Aided Engineering*) que significa engenharia auxiliada por computador.

Usando simulação computacional, várias combinações de parâmetros, *design*, materiais e processamento podem ser testadas rapidamente e de forma econômica. Este processo pode eliminar erros de projeto, prever falhas por condições de processamento inadequadas e fornecer informações sobre a forma de transformação e variáveis que afetam a qualidade, o custo e o desempenho do produto.

Avaliar se a cavidade irá preencher, posicionamento de linhas de solda e aprisionamento de gás na cavidade do molde são alguns recursos da simulação de injeção. É possível dimensionar o porte de máquina a ser utilizada para produção da peça, bem como decidir a quantidade de cavidades no molde. Pode-se avaliar a eficiência do sistema de refrigeração projetado e indicar melhorias antes mesmo de que qualquer bloco seja usinado. A simulação do processo de injeção também permite prever o nível de empenamento de uma peça após ser processada. Em casos críticos, pode-se até alterar regiões da peça para que a contração resulte em uma melhor condição para a vida útil da mesma. Também é possível simular condições especiais com a inclusão de fibras de reforço e injeção auxiliada por gás, entre outras.

4.1 Módulos de simulação do processo injeção

Geralmente os softwares comerciais de simulação computacional do processo de injeção estão disponíveis em módulos, podendo-se adquirir somente aqueles que melhor atenderem às necessidades de informações para cada projeto. Apesar de haver diferenciação de estrutura entre diversos softwares oferecidos no mercado, pode-se considerar que estão contidos na maioria dos simuladores, módulos com os seguintes objetivos:

- Simulação de preenchimento;
- Simulação de recalque/contração;
- Simulação de resfriamento;
- Simulação de empenamento;
- Simulação de orientação de fibras.

Também é possível dimensionar o porte de máquina injetora a ser utilizada para produção da peça, bem como decidir a quantidade de cavidades no molde. Com a simulação do processo injeção, é possível ter uma visão do comportamento que não é visível ao moldador, ou seja, no interior das cavidades do molde e sistema de alimentação. Pode-se avaliar a eficiência do sistema de refrigeração projetado, identificar possíveis problemas e indicar melhorias antes de se realizar investimentos na construção de moldes e produção de amostras.

4.1.1 Simulação de preenchimento

Simula o comportamento do polímero fundido durante a fase de injeção, ou seja, o preenchimento do molde no processo de injeção. Prevê as linhas de solda, as bolhas de ar, saídas de gases, pressão de injeção, taxa de cisalhamento, tensão de cisalhamento, força de fechamento, temperatura da frente de fluxo, camada congelada, tempo de injeção e o tempo de resfriamento.

Através desse tipo de análise é possível otimizar a posição do ponto de injeção, as condições de processo e avaliar possíveis defeitos de mal-preenchimento da peça e degradação de matéria-prima. É possível criar sistemas de alimentação para moldes de uma ou várias cavidades e balancear estes canais de forma a garantir a entrada uniforme do material no molde.

A FIG. 6 apresenta um resultado gráfico de uma simulação de preenchimento, onde o gradiente de cores identifica o tempo gasto para a frente de fluxo do material chegar a cada posição da peça. Nessa avaliação tem-se o tempo de injeção e a análise da viabilidade de preenchimento da cavidade.

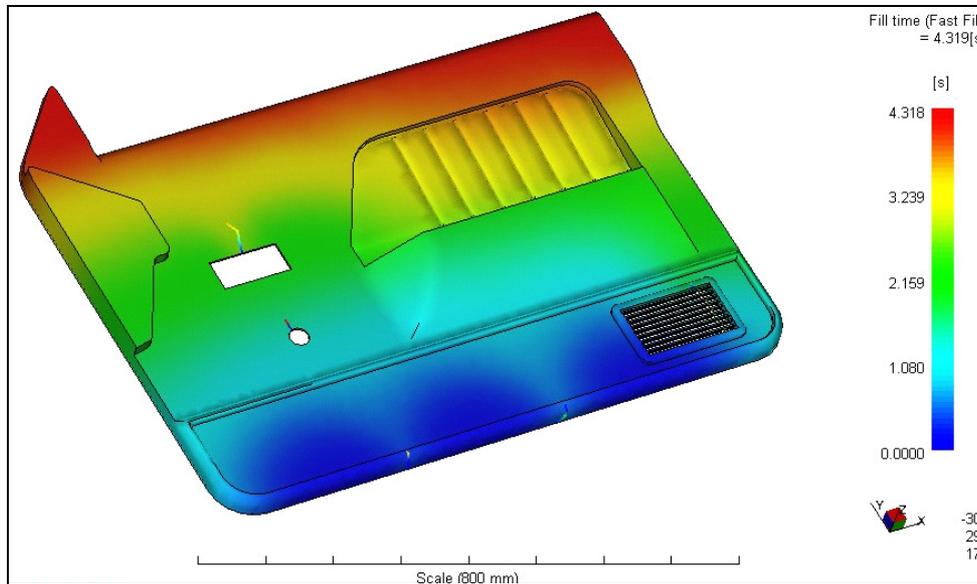


Figura 6 – Exemplo de simulação do tempo preenchimento.
 Fonte: MOLDFLOW, 2007.

No exemplo demonstrado pela FIG. 7, temos os resultados da perda de pressão ao longo do preenchimento, podendo este valor ser utilizado para dimensionamento da pressão de injeção necessária para que a máquina injetora possa preencher a cavidade do molde. Como na análise do preenchimento, esse relatório também se apresenta na forma de gradiente de cores, diferenciando a pressão em cada região do produto avaliado.

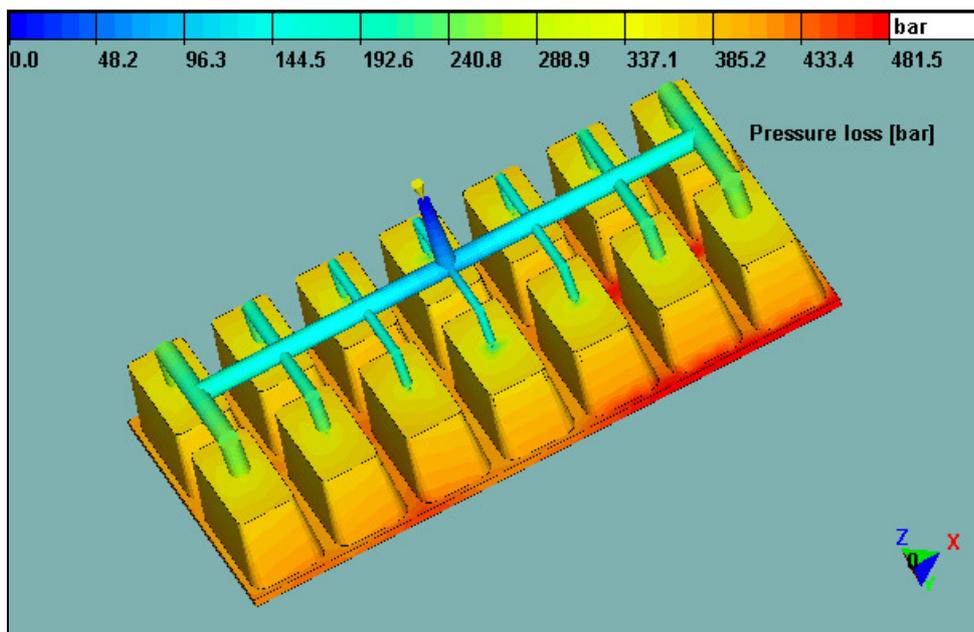


Figura 7 – Exemplo de simulação de perda de pressão.
 Fonte: Banco Técnico Senai Nilo Bettanin, 2007.

Uma avaliação de tensão de cisalhamento em uma peça injetada é apresentada na FIG. 8,

onde se percebe que os valores mais elevados estão situados no sistema de alimentação, através do gradiente de cores.

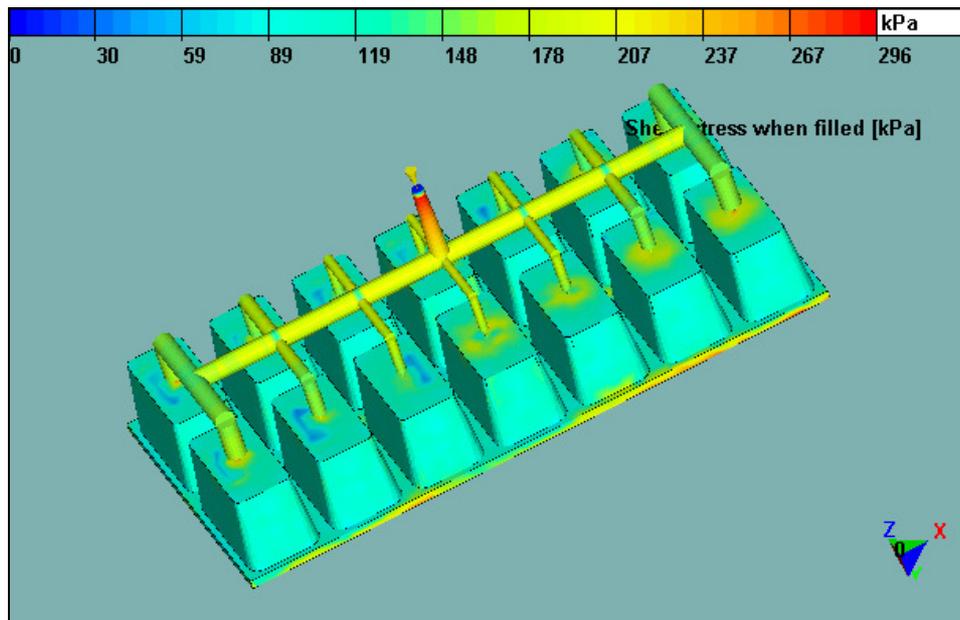


Figura 8 – Exemplo de simulação da tensão de cisalhamento.
Fonte: Banco Técnico Senai Nilo Bettanin, 2007.

Na FIG. 9 são mostrados os pontos de saídas de gases necessários para a retirada do ar e voláteis da cavidade do molde, facilitando assim o preenchimento e evitando o surgimento de bolhas e pontos de queima no produto final.

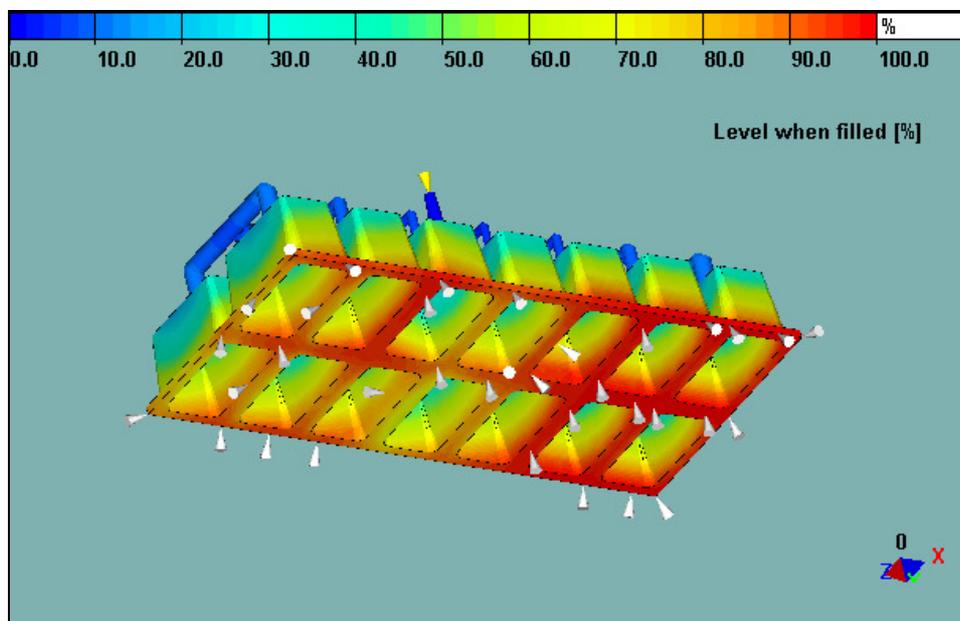


Figura 9 – Exemplo de simulação dos pontos de saídas de gases.
Fonte: Banco Técnico Senai Nilo Bettanin, 2007.

4.1.2 Simulação de recalque e contração

Simula o comportamento do polímero fundido e a transferência de calor durante a fase de preenchimento e compactação do processo de injeção. Prevê a pressão, a temperatura, a densidade, a contração volumétrica, a distribuição da taxa de solidificação e a força de

fechamento, avaliando a qualidade do produto final e o nível de tensões residuais. Uma análise de contração dimensional é exposta na FIG. 10, onde se tem a variação da contração identificada pelo gradiente de cores.

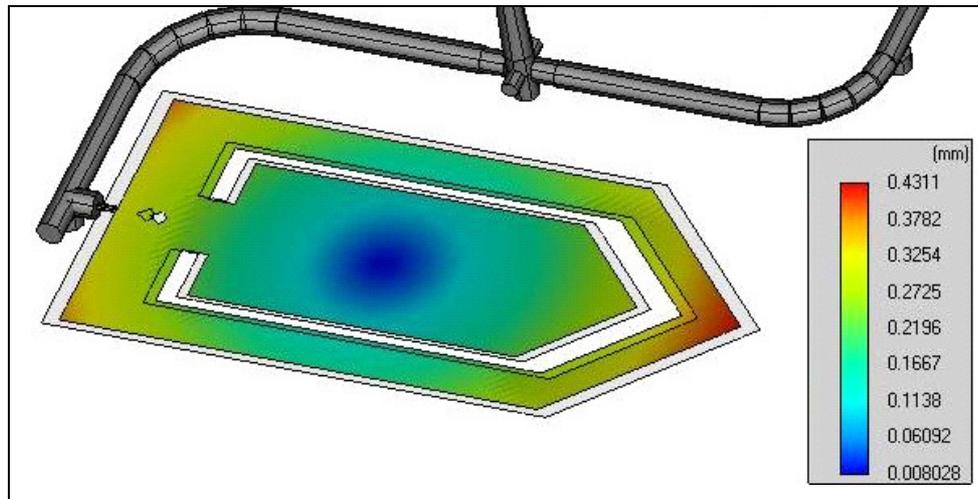


Figura 10 – Exemplo de simulação de contração dimensional.
Fonte: Banco Técnico Senai Nilo Bettanin, 2007.

A FIG. 11 mostra os níveis de tensão residual nas diversas regiões do produto. Nessa avaliação, a tensão residual é classificada em 3 níveis, que são: bom (*good*), ruim (*bad*), pior (*pior*).

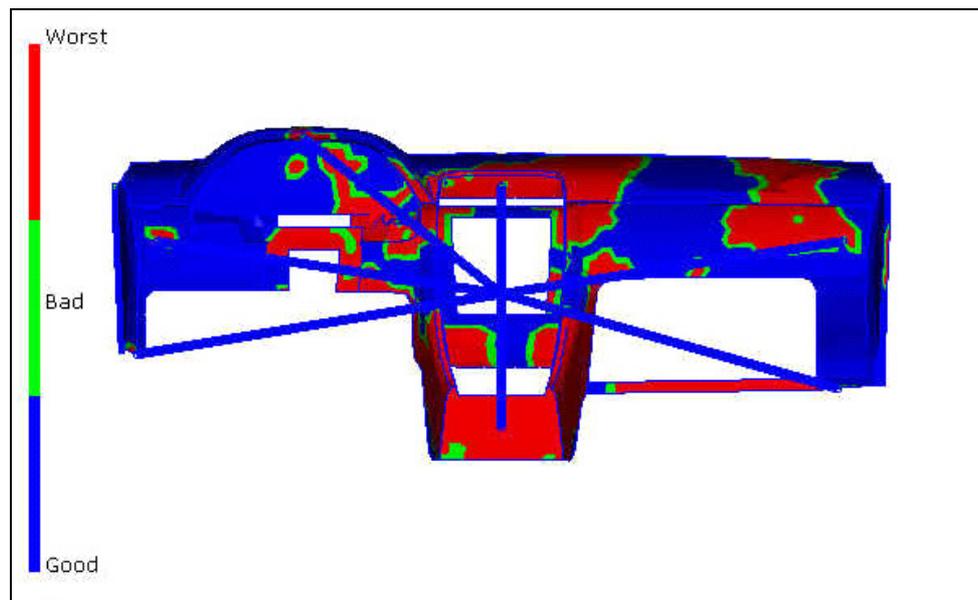


Figura 11 – Exemplo de simulação de preenchimento.
Fonte: VMTECH, 2007.

4.1.3 Simulação de resfriamento

Simula a transferência de calor do molde durante a fase de resfriamento do processo de injeção. Prevê o melhor tempo de resfriamento, assim como a disposição e tamanho dos canais de resfriamento, para que a refrigeração seja rápida e uniforme. A análise do resfriamento leva em consideração a distribuição dos canais, as suas dimensões e o fluido refrigerante usado, bem como a sua vazão e temperatura de entrada. Nesse tipo de análise podem-se obter informações tais como: a distribuição de temperatura na peça e no molde, o aumento de temperatura do fluido refrigerante, a pressão necessária para circulação do fluido refrigerante, a vazão ao longo dos canais de refrigeração, o número de *Reynolds* e o tempo de

congelamento da peça.

Na FIG. 12 tem-se a apresentação de um sistema complexo de canais de resfriamento para obter maior uniformidade de temperatura do produto, assim reduzindo o tempo de ciclo e evitando distorções dimensionais no produto final.

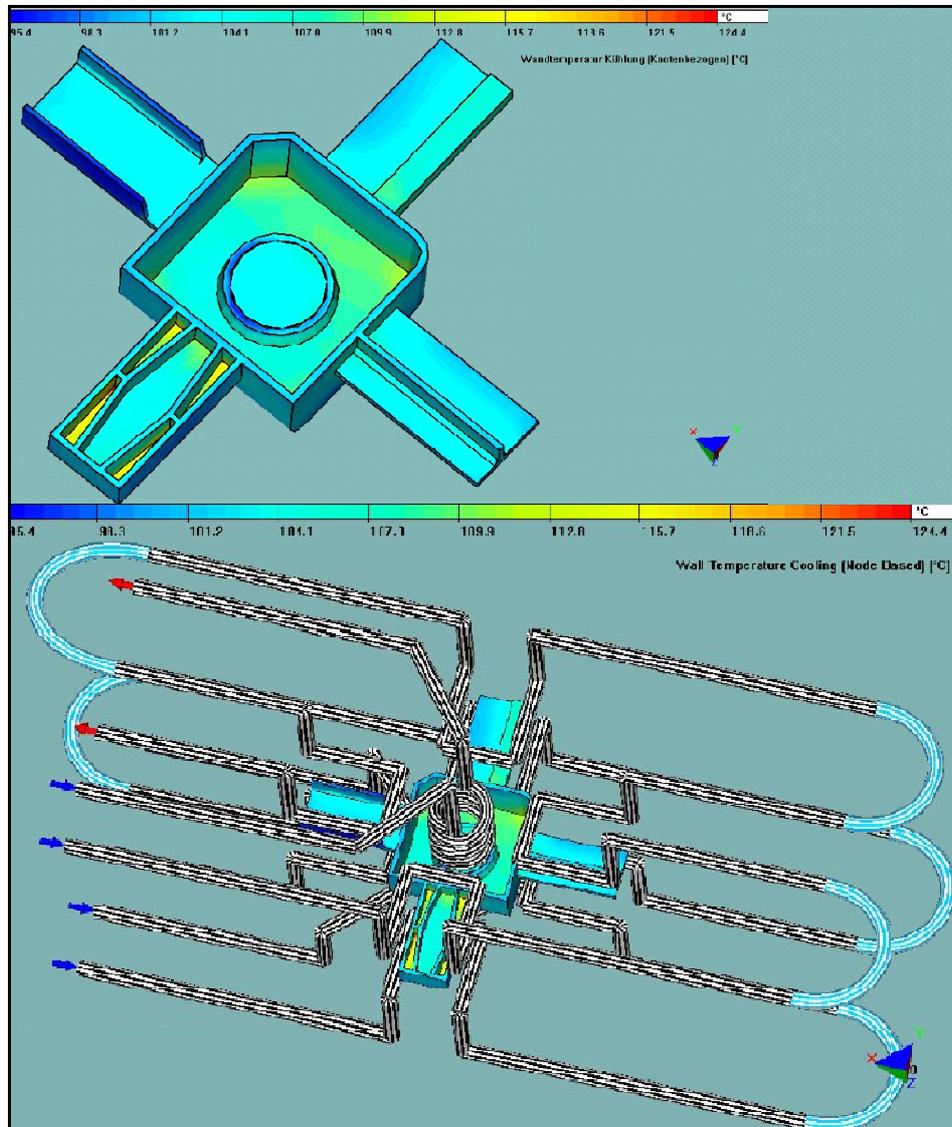


Figura 12 – Exemplo de simulação do sistema de resfriamento.

Fonte: SIMCON, 2007.

A seguir, são apresentados dois sistemas de resfriamento para um mesmo produto (FIG. 13). Ambos os sistemas são simulados e verifica-se que o sistema B apresenta uma distribuição mais uniforme da temperatura no produto final, quando comparado ao sistema A. Dessa forma, a adoção do sistema A, no projeto do molde, oferece ganho na produtividade e qualidade do moldado.

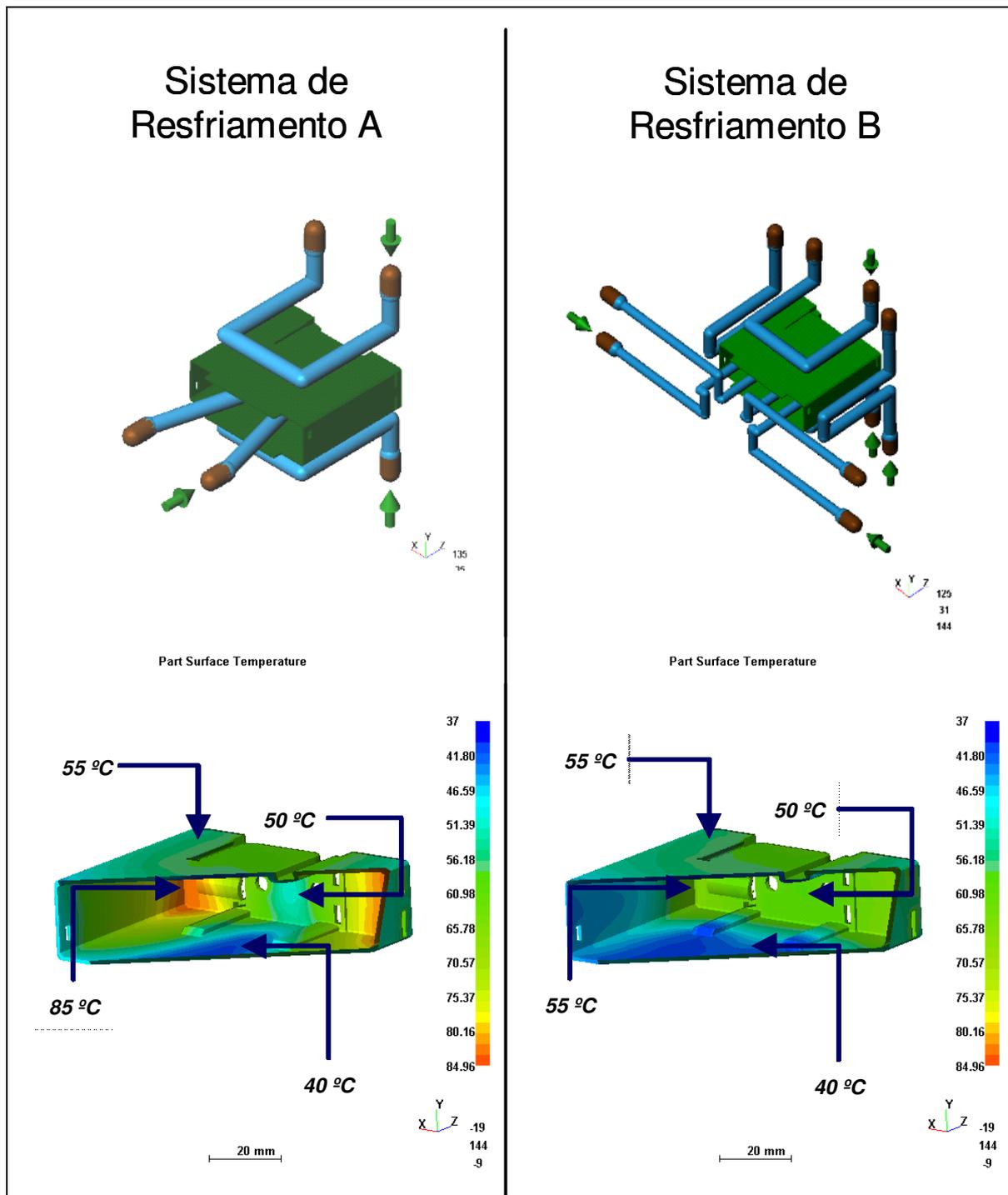


Figura 13 – Simulação de dois sistemas de resfriamento.
 Fonte: Moldflow, 2007.

4.1.4 Simulação de empenamento

Simula o empenamento e a estabilidade dimensional da peça injetada, após a extração. Prevê o empenamento das peças injetadas de forma a determinar, antecipadamente, a causa dos defeitos e fornecer dados importantes para o projeto da peça, do molde, sobre a seleção do material e as melhores condições de moldagem. Esta análise permite o projeto de moldes com contrações adequadas do produto nas diferentes direções, evitando a necessidade de ajustes nas medidas.

Na FIG. 14 é demonstrado um exemplo de análise de empenamento, considerando os três eixos cartesianos. O gradiente de cores identifica o grau de deflexão, podendo-se verificar o empenamento em qualquer ponto do produto.

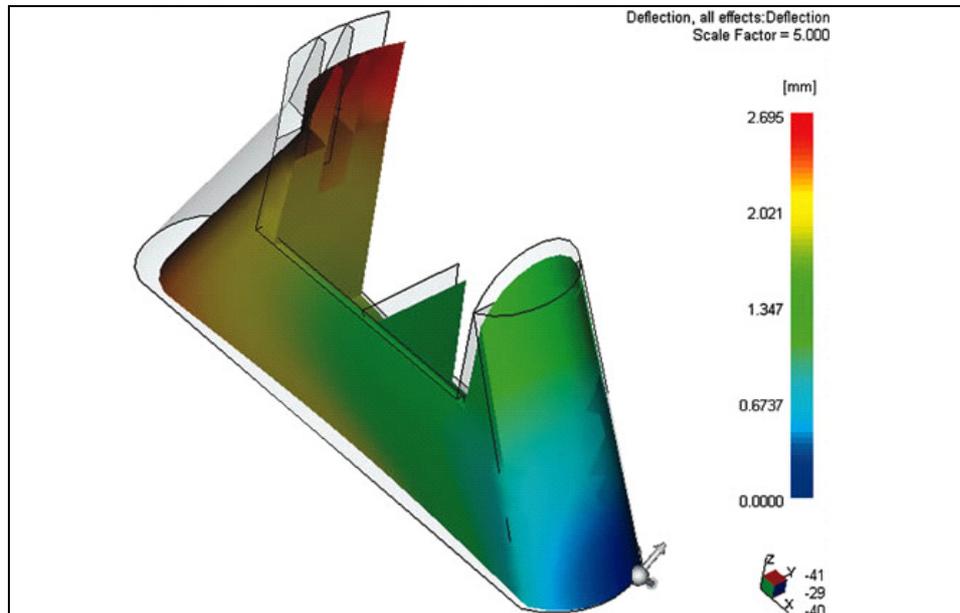


Figura 14 – Exemplo de simulação de empenamento em três eixos.
Fonte: Moldflow, 2007.

A FIG. 15 apresenta a análise de empenamento somente em um eixo cartesiano.

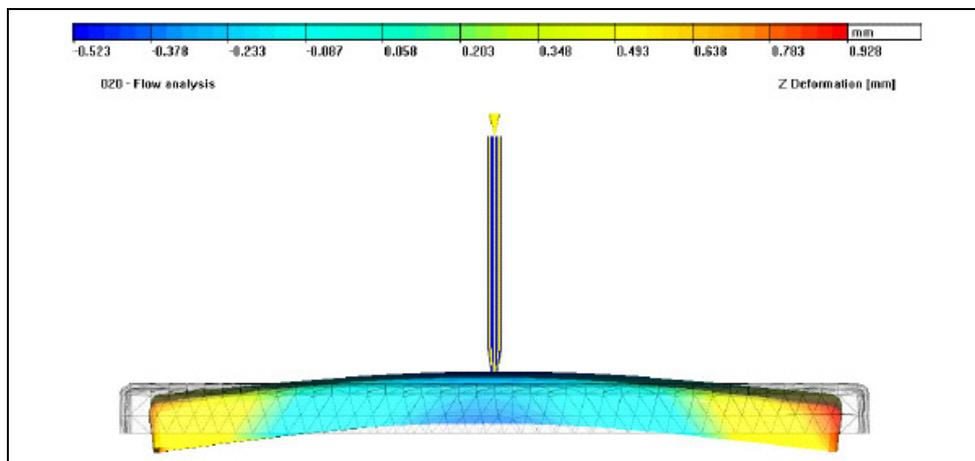


Figura 15 – Exemplo de simulação de empenamento em um eixo.
Fonte: SIMCON, 2007.

4.1.5 Simulação de orientação de fibras

Simula a orientação das fibras, que tem um impacto significativo nas propriedades mecânicas e estruturais das peças plásticas injetadas. Essa simulação permite visualizar a variação no alinhamento das fibras ao longo da espessura da peça, apontando previamente os efeitos da orientação, sobre a resistência mecânica e térmica.

Um exemplo de avaliação é mostrado na FIG. 16, onde as setas identificam a orientação preferencial das fibras ao longo da peça.

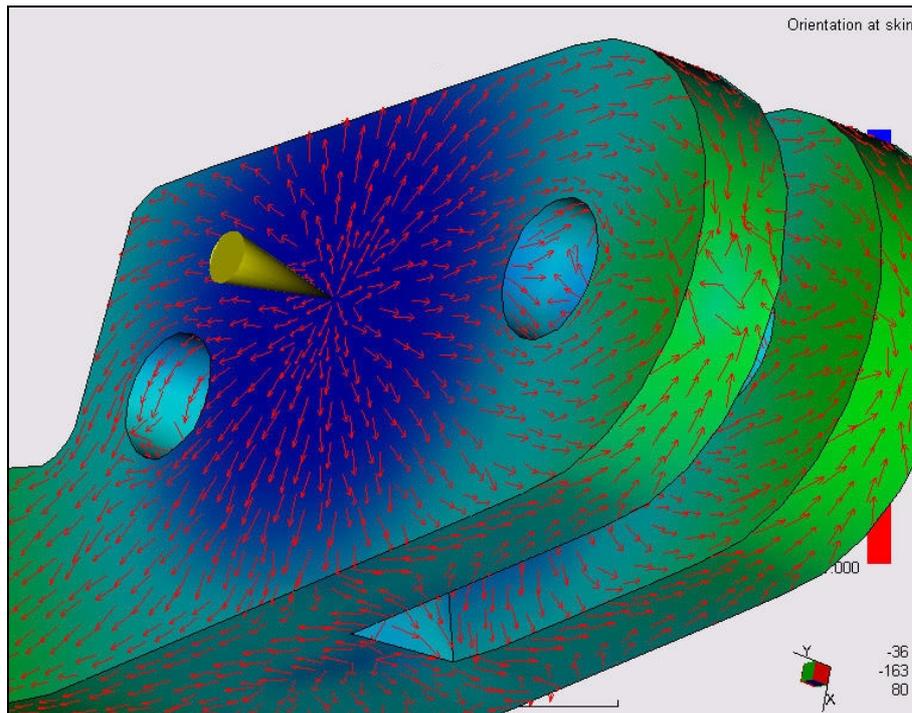


Figura 16 – Exemplo de simulação de orientação de fibras.
Fonte: Mareco, 2007.

4.2 Simulação de processos especiais de injeção

Além dos módulos citados anteriormente, alguns softwares dispõem de módulos adicionais para simulações especiais, tais como:

- Módulo de injeção auxiliada com gás;
- Módulo de co-injeção;
- Módulo de injeção compressão.

Esses módulos visam atender os processos especiais de moldagem por injeção, processos especiais de injeção, que estão em expansão com o desenvolvimento de produtos de maior valor agregado.

A FIG. 17 apresenta um exemplo de simulação do processo especial de injeção, que é a injeção auxiliada por gás. Nessa análise é verificada a formação do núcleo oco no produto. Este processo de injeção destina-se principalmente às peças com paredes grossas, planas com áreas espessas, com reforços parciais e estruturas nervuradas ou em itens cujos núcleos devem ser substituídos por espaços ocios. Dessa forma, é possível determinar qual o tempo para atuação da válvula de gás e definir o posicionamento dos canais de gás para um bom enchimento e penetração do mesmo.

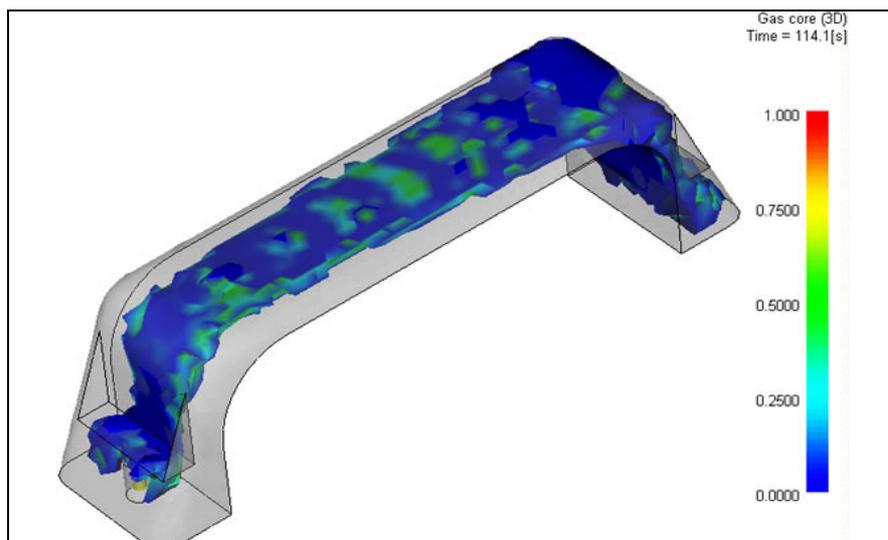


Figura 17 – Exemplo de simulação de injeção auxiliada por gás.
Fonte: Moldflow, 2007.

Conclusões e Recomendações

Embora o processo de moldagem por injeção seja aparentemente simples, há uma complexa interação entre as condições de processo, a geometria do molde e as propriedades do polímero. Sendo que muitos fatores afetam o processo, tais como: temperatura do material, pressões (injeção, recalque e contra pressão), velocidade do material no molde, temperatura do molde, entre outros. Uma equação que reúna de forma simples essas variáveis não é possível. Por outro lado, o aumento da complexidade dos produtos moldados em termoplásticos, bem como a crescente necessidade de redução dos custos de produção e a exigência de prazos cada vez menores para o desenvolvimento dos mesmos.

Com a simulação da computacional é possível definir os pontos de injeção ou mudar a espessura da parede antes do processo real da injeção do molde, a fim de deslocar a posição das linhas de solda em áreas não críticas e também pode evitar o aprisionamento do ar. A simulação permite a identificar os melhores parâmetros de processamento, fornecendo resultados para a redução do custo de seus produtos.

Dessa forma, a simulação computacional é a alternativa para prever o comportamento do processo de injeção, otimizando a desenvolvimento de peças em termoplásticos. Com a interpretação correta dos dados é possível definir o projeto de novos produtos, evitando problemas de qualidade na peça acabada e gastos desnecessários com retrabalho no ferramental.

Referências

ALBUQUERQUE, Jorge Artur Calvalcanti. **Planeta Plástico**. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13536**: Máquinas injetoras para plástico e elastômeros: requisitos técnicos de segurança para o projeto, construção e utilização. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13757**: Máquinas injetoras para plástico e elastômeros: terminologia. Rio de Janeiro, 1996.

HARADA, Júlio; WIEBECK, Hélio. **Plásticos de Engenharia Tecnologia e Aplicações**. São

Paulo: Artliber, 2005.

HARADA, Júlio. **Moldes para injeção de termoplástico: projetos e princípios básicos.** São Paulo. Artliber, 2004.

JORPLAST. Disponível em: <<http://www.jorplast.com.br>>. Acesso: em: 25 out. 2007.

MANRICH, Silvio. **Processamento de termoplástico: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes.** São Paulo: Artliber, 2005.

MARECO. Disponível em: <<http://www.mareco.nl>>. Acesso em: 29 out. 2007.

MOLDEX 3d. Disponível em: <<http://www.moldex3d.com>>. Acesso em: 26 out. 2007.

MOLDFLOW. Disponível em: <<http://www.moldflow.com>>. Acesso em: 26 out. 2007.

NUNES, Luciano Rodrigues. **Tecnologia do PVC.** São Paulo: ProEditores, 2002.

PLASTICO. Disponível em: <<http://www.plastico.com.br>>. Acesso em: 25 out. 2007.

ROCHA, Edmundo Cidade da; LOVISON, Viviane M. H.; Pierozan, Nilso José. **Tecnologia de Transformação dos Elastômeros.** 2.ed. São Leopoldo: Centro Tecnológico de Polímeros SENAI, 2003.

SAECHTLING, Hansjürgen. **International Plastics Handbook: for the Technologist, Engineer and User.** Munich: Hanser Publishers, 1987.

SCHARAMM, Gebhard. **Reologia e Reometria: Fundamentos Teóricos e Práticos.** São Paulo: Artliber, 2006.

SIMCON. Disponível em: <<http://www.simcon-worldwide.com>>. Acesso em: 26 out. 2007.

SMARTTECH PLASTICO. Disponível em: <<http://www.smarttechplastico.com.br>>. Acesso em: 25 out. 2007.

SORS, László; BARDÓCZ, László; RADNÓTI, István. **Plásticos Moldes e Matrizes.** São Paulo: Helmus, 2002.

VMTECH. Disponível em: <<http://www.vmtech.co.kr>>. Acesso em: 26 out. 2007.

Nome do técnico responsável

Jocelito Silveira Torres – Tecnólogo em Polímeros

Nome da Instituição do SBRT responsável

SENAI-RS / Escola de Educação Profissional Nilo Bettanin

Data de finalização

23 nov. 2007