

## **Utilização da simulação da moldagem por injeção no desenvolvimento de componentes plásticos**

Maurício de Oliveira Gondak (SOCIESC) [mauricio.gondak@sociesc.com.br](mailto:mauricio.gondak@sociesc.com.br)  
Gilberto Paulo Zluhan (SOCIESC) [zluhan@sociesc.com.br](mailto:zluhan@sociesc.com.br)  
Marcelo Teixeira dos Santos (SOCIESC) [teixeira@sociesc.com.br](mailto:teixeira@sociesc.com.br)

### **Resumo**

*A aplicação da simulação do processo de moldagem por injeção encontra-se dentro do contexto do desenvolvimento de produtos fabricados em plástico. A análise do processo de injeção e do comportamento do material demonstra os pontos fracos e as possibilidades de melhoria no desenvolvimento de produtos. Quanto mais cedo for aplicada a simulação, maior a possibilidade de se evitar erros que inevitavelmente causarão grandes prejuízos e perdas de tempo nos estágios posteriores do desenvolvimento. Este artigo elaborado enfatiza o fato de que a simulação presta uma contribuição positiva para o desenvolvimento eficiente de produtos termoplásticos, constituindo uma ferramenta poderosa que garante a viabilidade do desenvolvimento. Finalmente apresenta estudos de casos desenvolvidos com relato dos principais benefícios alcançados.*

*Palavras-chave: Simulação, Produtos plásticos, Moldagem por injeção.*

### **1.Introdução**

A introdução dos softwares de simulação tem proporcionado um impacto significativo na indústria. A utilização destes programas para a análise da simulação de peças fabricadas por moldagem por injeção tem aumentado significativamente nos últimos anos. Isto é reflexo da necessidade das empresas em reduzir custos e tempo de desenvolvimento de produtos plásticos injetados inserindo novas tecnologias para melhorar o desempenho e satisfazer o mercado e seus clientes garantindo com que seus produtos sejam concebidos dentro dos melhores critérios de qualidade e custo (BOSSAK, 1998), alcançando-se assim uma redução dos custos de ciclo de vida, redução do ciclo do projeto, tempo de desenvolvimento e melhoria no desempenho do produto.

O aumento no número de requisitos a que os produtos são solicitados exige cada vez mais complexidade das peças. De acordo com Schubert et al. (2002) falhas ou defeitos de mau funcionamento dos componentes plásticos injetados desenvolvidos levam a atrasos no projeto e acarretam custos maiores ao seu desenvolvimento, o que conduz a uma demora em seu lançamento no mercado.

Para eliminar os custos desnecessários e reduzir o tempo despendido no desenvolvimento e na manufatura do molde, maximizando sua funcionalidade, reduzindo custos de *start up*, retrabalho, ajustes e retifica do molde de acordo com Rosato & Rosato (1995), tornou-se importante atualmente simular o processo de injeção.

A utilização de simulação, CAE (*Computer-Aided Engineering*), proporciona informações necessárias no projeto de peças, moldes e no processo de moldagem por injeção. Sem essa

ferramenta, existe a necessidade de grande experiência prévia, intuição, criação de protótipos ou tentativas de moldagem para obter informações de praticamente todos os parâmetros de processo observados na prática de injeção, tais como: frentes de fluxo do material, padrões de preenchimento do polímero fundido na cavidade do molde, pressão de injeção necessária, temperatura do processo de injeção, tempo de ciclo, força de fechamento do molde, orientação das fibras e formato da peça final, somente para citar alguns aspectos. Sem a análise CAE outros dados importantes de projeto, como distribuição espacial de temperatura, pressão, taxas de cisalhamento, tensões de cisalhamento e velocidades de injeção são mais difíceis de obter, mesmo com um molde bem instrumentado.

A solidificação do conjunto também é analisada, sendo que nestes casos pode-se localizar na peça regiões críticas, tais como pontos quentes (pontos de aprisionamento de ar), ou regiões que se solidificam muito rápido, rechupes, empenamentos, linhas de solda, assim como as tensões residuais provenientes do processo de injeção pode ser verificado. As simulações de produtos injetados ajudam a definir também os moldes tanto no que tange ao sistema de alimentação e distribuição como na geometria da peça. A análise CAE pode ser utilizada para avaliar projetos alternativos e materiais concorrentes de maneira rápida e com baixos custos, além de auxiliar na escolha da melhor máquina a ser utilizada no processo de injeção baseado na força de fechamento.

Os programas desta classe envolvem conceitos multidisciplinares, sendo necessário um entendimento tanto de propriedades térmicas e reológicas quanto de métodos numéricos para que se possa fazer um uso adequado de tais *softwares*.

## 2. Parâmetros envolvidos no projeto do processo de moldagem por injeção

Na Figura 1 são demonstrados os principais parâmetros a serem considerados na elaboração de um projeto de moldagem por injeção. A análise CAE atua no estudo destes parâmetros, possibilitando verificar a influência de cada um deles no processo. É importante observar que estes parâmetros podem estar inter-relacionados entre si.



















variável	Maior pressão requerida	Menor pressão requerida
Espessura da peça		
Área da peça		
Tamanho do bocal		
Extensão do escoamento		
Tempo de injeção		
Temper. de injeção do Polímero		
Temper. do Molde		
Velocidade de injeção		
Índice de Fluidez		

Figura 1 – Parâmetros de processo (C-Mold).



moldagem por injeção. Os dados provenientes do sistema CAD são lidos de um sistema de pré-processamento de elementos finitos através de uma interface CAD independente do sistema utilizado. Após inspeção e reparo de superfícies modeladas irregularmente pode-se produzir um modelo em elementos finitos (FEM) da peça. O modelo de elementos finitos, então juntamente com dados da máquina, molde e material são combinados para a simulação computacional.

Na sequência simulações realizadas com o software *C-Mold* demonstram benefícios obtidos através de simulação.

Balanceamento de caminhos de fluxo dentro da cavidade do molde, que resulte em escoamento unidirecional, durante todo o enchimento do molde, para obter orientação, também, aproximadamente unidirecional. Um parâmetro importante a ser analisado é a Superposição das Isobáricas e Isocrônicas. Normalmente um problema de enchimento é detectado analisando-se as isobáricas e isocrônicas simultaneamente como no exemplo do projeto de um balde desenvolvido para construção civil (Figura 3). O controle do fluxo do plástico na fase de alimentação em que a frente de fluxo alcança os contornos do molde é importante que seja realizada ao mesmo tempo. Isto é feito pelo ajuste de espessura das várias seções e pode ser muito demorado se for realizado pelo processo de tentativa e erro (SEOM & LAM, 1997).

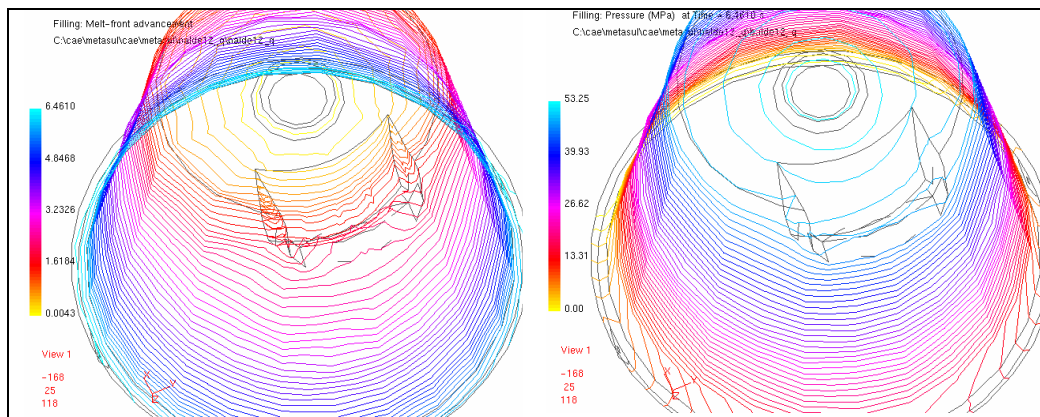


Figura 3 – Representação das linhas isobéricas e isocrônicas.

O posicionamento de entradas ("*gates*") devem ser projetados para minimizar efeitos de linhas de solda, por exemplo, para obter linhas de solda em regiões menos importantes da peça. O dimensionamento dos canais de alimentação e/ou de distribuição devem visar produzir um aquecimento viscoso adequado e, assim, controlar a temperatura do fundido na entrada da cavidade. Um posicionamento inadequado resultará em tensionamento excessivo, linhas de soldas desnecessárias, empenamento, contrações diferenciadas, etc. A Figura 4 ilustra o canal de entrada e de alimentação para o projeto de um molde destinado a fabricação de pentes.

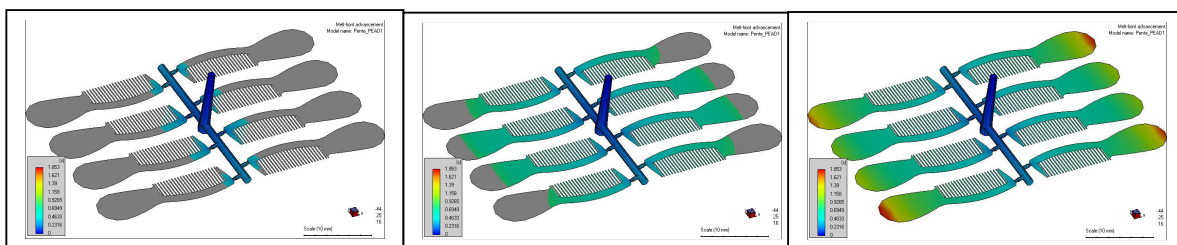


Figura 4 – Utilização da simulação para projeção do canal de alimentação e distribuição.

Balanceamento de todos os caminhos possíveis do material no molde (usando, se necessário, direcionadores de fluxo), obtendo um enchimento simultâneo de todas as regiões da cavidade. A Figura 5 apresenta o estudo do caminho do material polimérico no desenvolvimento de uma bandeja.

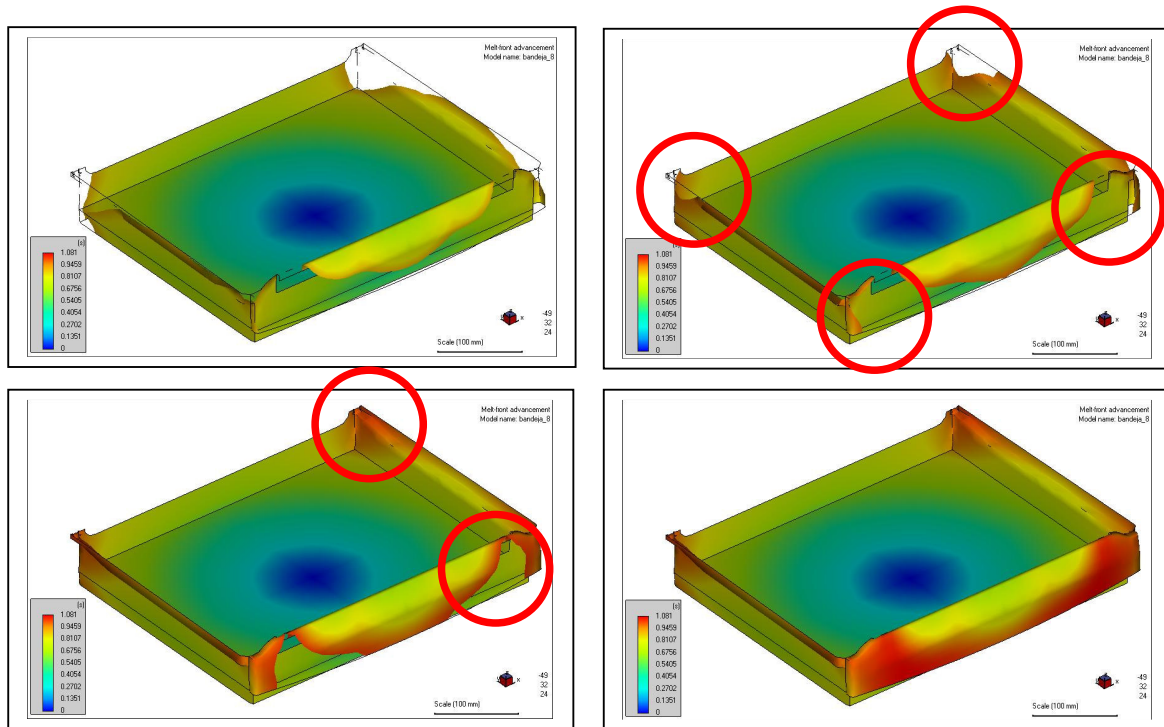


Figura 5 – Simulação do preenchimento do material plástico na cavidade do molde.

Manutenção de gradientes de pressão (queda de pressão por unidade de comprimento) uniformes, ao longo de todos os caminhos de escoamento do material, na cavidade do molde. A pressão de injeção é a mínima pressão necessária para vencer a resistência que o polímero fundido enfrenta, e faz com que a cavidade seja completamente preenchida. Esta pressão depende da viscosidade do material, da geometria da peça e determina o tempo adequado de injeção, Figura 6.

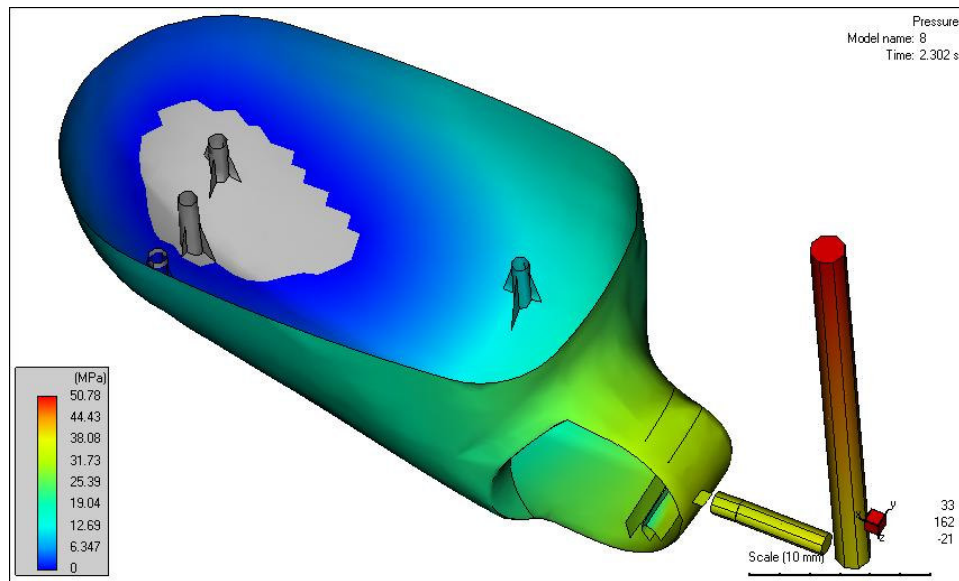


Figura 6 – Simulação da pressão de injeção de um retrovisor.

Manutenção das tensões e taxas de cisalhamento, durante todo o enchimento da cavidade, em valores sempre menores do que eventuais valores críticos, que danificam o material. A Figura 7 e Figura 8 representam respectivamente a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento respectivamente na injeção de um contentor.

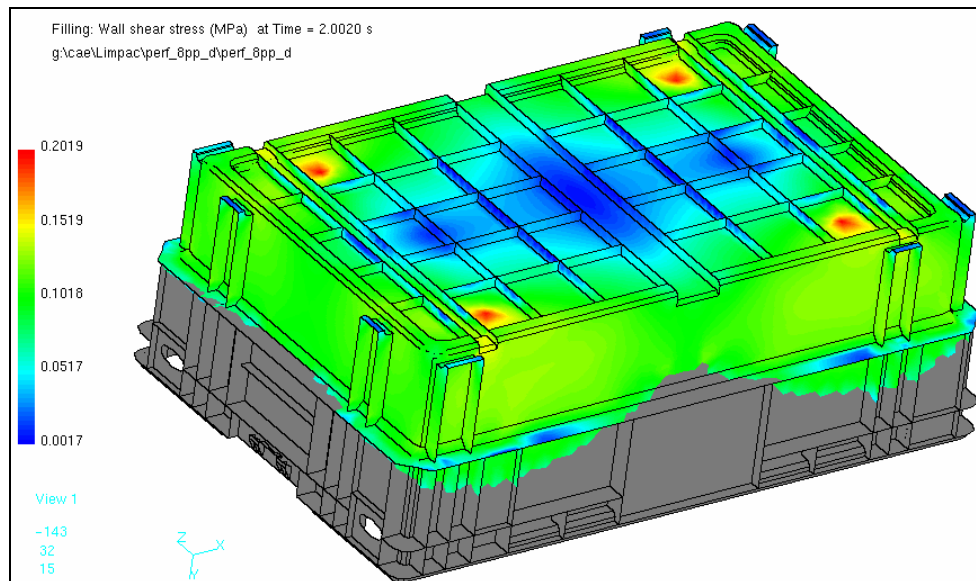


Figura 7 – Instante no qual a tensão de cisalhamento é máxima durante o enchimento.



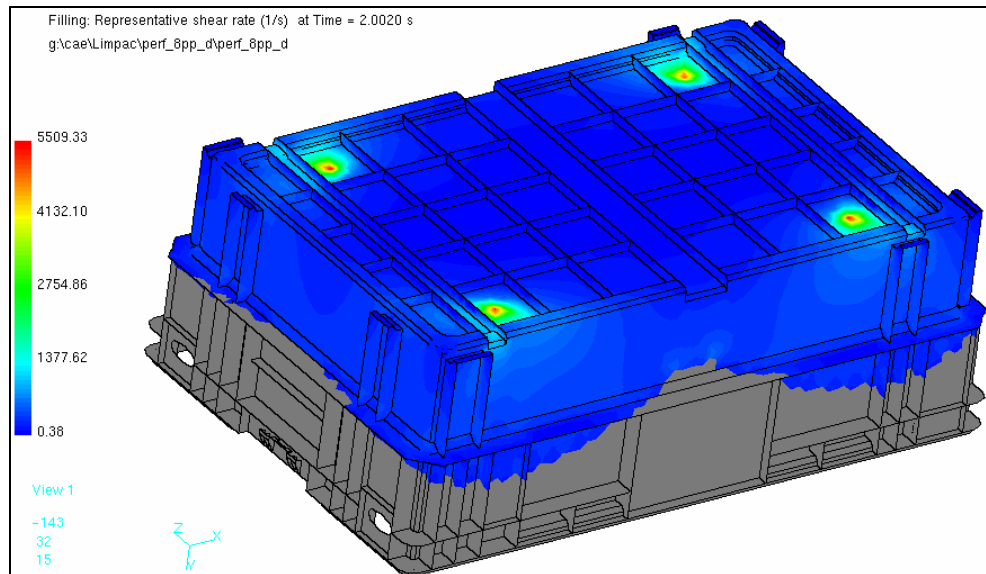


Figura 8 – Instante no qual a taxa de cisalhamento é máxima durante o enchimento.

Dimensionamento do resfriamento do molde para que o tempo de resfriamento, e, conseqüentemente, a solidificação do material seja uniforme em toda a peça moldada. A temperatura do polímero fundido muda não somente com o tempo e o local, mas também com a espessura ao longo de todo o ciclo de injeção. A temperatura indicada pelo software *C-Mold* é a temperatura com que a resina entra na cavidade, esta pode ser diferente da temperatura das zonas de aquecimento e do bico injetor. Após a injeção a temperatura da resina cresce em função do calor gerado pelo cisalhamento (tal acréscimo pode chegar a 30°C). Assim um polímero injetado a 250°C pode na realidade entrar no molde a 280°C. A eficiência do canal de refrigeração é uma medida que indica a quantidade de calor retirada pelo fluído refrigerante durante o ciclo de injeção. Ela é um valor adimensional baseado na performance média do todo o sistema de refrigeração. A Figura 9 representa o projeto para refrigeração do molde de uma tampa de máquina lava-roupa.

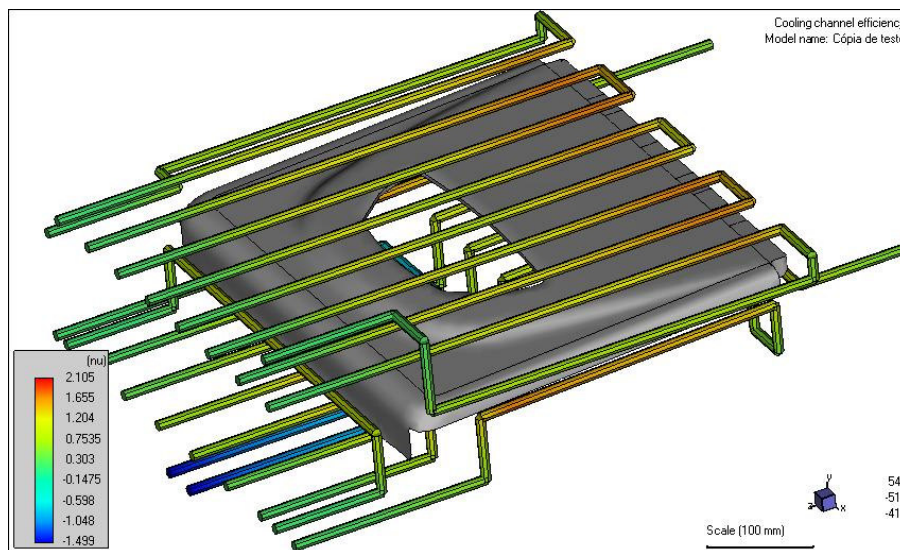


Figura 9 – Eficiência dos canais de refrigeração da cavidade.

O molde e o projeto de uma peça plástica para a moldagem por injeção é um processo complicado, considerações para a produção de uma peça exploram custo e velocidade de produção para alcançar requisitos estruturais, ergonômicos e de aparência (SEOM & LAM, 1997).

A dificuldade de determinadas empresas na utilização da simulação de injeção (CAE) ou no projeto do molde de acordo com a pesquisa realizada Radiografia Nacional das Indústria de Moldes e Ferramentas para Transformação de Plástico, desenvolvida pela Maxiقيم Acessoria de Mercado relatada na Revista Plástico Moderno (2001) são determinadas pelos altos custos dos sistemas e escassez de mão-de-obra especializada e dificuldade em utilizar a base de dados dos programas importados, responsável por alimentar o software no momento de realizar a simulação, já que existe a necessidade de trabalhar com contratipos quando ocorrer a ausência de dados das resinas nacionais utilizada no projeto.

### **Conclusão**

Apesar da tecnologia de análise CAE ajudar a economizar tempo, dinheiro e material desperdiçado, evitar altas taxas de rejeição, aumentar a velocidade de introdução de novos produtos no mercado, aumentar a qualidade dos produtos ela não pode ser considerada uma milagrosa ferramenta na solução de todos os problemas. É necessário reforçar que a análise CAE é essencialmente uma ferramenta, projetada para auxiliar a equipe de desenvolvimento de produto e manufatura, ao invés de tomar-lhes as responsabilidades ou substituí-las. Como acontece com outras ferramentas a utilidade da tecnologia CAE, para ser mais específico a precisão dos resultados obtidos na análise CAE depende muito dos dados fornecidos pela equipe de projeto. Além disso, os dados gerados na análise CAE devem ser corretamente interpretados pelo usuário antes de que julgamentos sejam feitos ou que decisões sejam tomadas. De outra forma os usuários simplesmente se encontrarão perdidos entre um grande número de dados, sem obter nenhuma informação útil.

Com a utilização da simulação desde a concepção do produto até a validação final é possível projetar modelos de forma otimizada e evitar diversos problemas no processo de injeção do plástico. Investir constantemente em tecnologia para melhorar a qualidade dos serviços e produtos que se desenvolve é uma tendência que leva as empresas a apostar nas tecnologias de simulação de injeção de plástico.

### **Referências**

- BOSSAK, M. A. (1998). Simulation based design. *Journal of Materials Processing Technology*, p.8-11.
- C-Mold; *C-Mold Design Guide*; Documentação de ajuda do software C-Mold 98/97.
- MALLOY, R. A. (1994). *Plastic Part Design for Injection Molding: An Introduction*. New York: Hanser Publishers.
- FERRO, S.(2001). Setor tem tecnologia de ponta e preço coreano. *Revista Plástico Moderno*, junho, p. 6-20.
- ROSATO, D. V. ; ROSATO, D. V. (1995). *Injection Molding Handbook*. London: Chapman & Hall, 2nd ed.
- SCHUBERT, A.; SCHIEDEK, B. HANS, C. (2002). Como uma boa simulação facilita o desenvolvimento de peças plásticas. *Revista Plástico Industrial*, AnoV, nº 52, dez. 2002.
- SEOM, L. W.; LAM, Y. C. (1997). Optimizing flow in plastic molding. *Journal of Materials Processing Technology*, p. 333-341.