



## ESTUDO DOS ESFORÇOS EM MOLDE PARA PESQUISA COM INJEÇÃO ASSISTIDA POR GÁS<sup>1</sup>

José Stockler Canabrava Filho<sup>2</sup>

Renato Caldas Vasconcellos de Almeida<sup>3</sup>

### Resumo

A injeção assistida por gás vem sendo intensamente utilizada na moldagem de peças no setor automobilístico, mobiliário, eletro-eletrônico e outros, onde o alto desempenho e o custo são aspectos primordiais. O processo consiste na moldagem de peças com resina plástica e injeção de gás de forma que o produto seja formado de uma casca polimérica e tenha o seu interior oco. Isto faz com que o produto consuma pouca resina e tenha um curto tempo de processamento devido a pequena quantidade de material para ser plastificado ou resfriado. Apesar de pouco material, como a peça é oca ela apresenta uma inércia elevada comparada com uma peça maciça com a mesma quantidade de material. Portanto, este processo apresenta grandes vantagens em relação a injeção convencional. Durante a injeção, surgem pressões altas nos canais e cavidades do molde e isso gera esforços nas paredes e insertos no molde. Estes esforços precisam ser determinados para que estes componentes possam ser dimensionados corretamente. Neste trabalho serão apresentados os resultados dos estudos de esforços realizados durante o projeto de um molde para pesquisas sobre injeção à gás.

**Palavras-chave:** Ferramentas para injeção; Injeção assistida por gás.

### FORCES ON MOLDE FOR RESEARCH OF A GAS-ASSISTED INJECTION

#### Abstract

The gas-assisted injection has been used extensively in the molding of parts where high performance and cost are key aspects, such as in: automotive, furniture, electronics and others. The process consists in molding parts with plastic resin and gas injection so that the product formed is a polymeric shell with hollow interior. Low cost products can be molded by this technique because the little consume of resin and therefore, having a short processing time due to the small amount of material to be plasticized and cooled. Although the piece is a shell, it has a high inertia compared to a solid object with the same amount of material, what makes this process more efficient than conventional injection. During the injection process, there are high pressures in the channels and cavities of the mold and this leads to stresses on the walls and the mold inserts. The distribution of these stresses must be known so that these components of the mold can be sized correctly. In this paper will be presented the results of the tension analysis made during the design of an injection mold for research on the gas assist injection molding process.

**Key words:** Injection molding tools; Gas assist injection molding.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 10º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 8 a 10 de agosto de 2012, São Paulo, SP.

<sup>2</sup> Engenharia Mecânica BsC, Professor Adjunto. Universidade Federal do Rio de Janeiro – DEM/POLI.

<sup>3</sup> Engenharia Mecânica Ph.D., Aluno de Graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro – DEM/POLI.



## 1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de projeto preliminar e subsequente análise de um sistema de injeção de plástico assistido por gás de fins experimentais. Esta tecnologia é uma importante alternativa na injeção de componentes termoplásticos com geometrias ocas difíceis ou impossíveis de serem produzidas com o emprego de um macho no molde na injeção convencional. Ele é parte de um projeto de fim de curso desenvolvido por Almeida.<sup>(1)</sup>

Neste trabalho será apresentado uma breve explanação sobre a tecnologia da Injeção Assistida por Gás (GAIM) e será mostrado os principais aspectos que tornam esta tecnologia uma alternativa à injeção de plástico tradicional. Em seguida, será apresentada a modelagem simplificada dos esforços nos componentes do molde e do sistema de injeção de gás, tendo como restrição de projeto o limite de escoamento do material do molde. Por se tratar de um molde para pesquisa, serão desconsiderados os aspectos referentes ao projeto para vida infinita ou tolerância ao dano.

O modelo computacional do molde foi gerado em SolidWorks® e será apresentado mostrando os seus elementos e as interações existentes entre eles. As análises foram efetuadas com o pacote de elementos finitos básico Simulation®. O modelo computacional do molde foi concebido com base nos cálculos tradicionalmente usados para os dimensionamentos dos canais de injeção e refrigeração. Eles surgiram a partir de uma proposta de adaptação da teoria fundamental aplicada à moldes de injeção tradicional.

Finalmente, são apresentados os resultados das análises e as conclusões surgidas deste trabalho.

## 2 A INJEÇÃO DE PLÁSTICO ASSISTIDA POR GÁS (GAIM)

O processo de injeção de plástico assistida por gás consiste em uma variante do processo de injeção tradicional que faz uso do caráter altamente flexível deste último para permitir a produção de peças ocas, e seus diversos aspectos são abordados em Avery.<sup>(2)</sup>

A Figura 1 apresenta um esquema da etapa de injeção do gás no molde. É possível observar a frente de plástico, que deve apresentar fluidez suficiente para preencher o molde, sendo forçada pela pressão interna à peça, produzida pela injeção de gás (normalmente N<sub>2</sub>)

O ciclo de injeção no processo GAIM é mostrado no diagrama da Figura 2. Este ciclo difere da injeção tradicional por apresentar três etapas adicionais. Estas etapas são: a injeção de gás, o recalque com o gás e a drenagem do gás injetado. Um projeto adequado deve observar a drenagem completa do gás, pois a presença de gás pressurizado no interior da peça pode levar à sua destruição por explosão.

Algumas das vantagens do GAIM em relação à injeção convencional, do ponto de vista do produto final, são: possibilitar diferentes espessuras médias de parede, alta economia de resina, significativas reduções de peso, melhoria de suas características estéticas e aumento de sua estabilidade estrutural (i.e: redução de empenamento, encolhimento e marcas de rechupe).

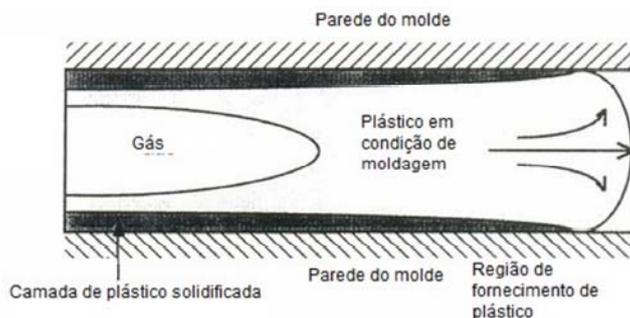


Figura 1: Evolução da expansão do plástico sob a ação do gás.<sup>(2)</sup>

Algumas das vantagens do GAIM, do ponto de vista do produto final em relação a injeção convencional são: possibilitar diferentes espessuras médias de parede, alta economia de resina, significativas reduções de peso, melhoria de suas características estéticas e aumento de sua estabilidade estrutural (redução de empenamento, marcas de rechupe).

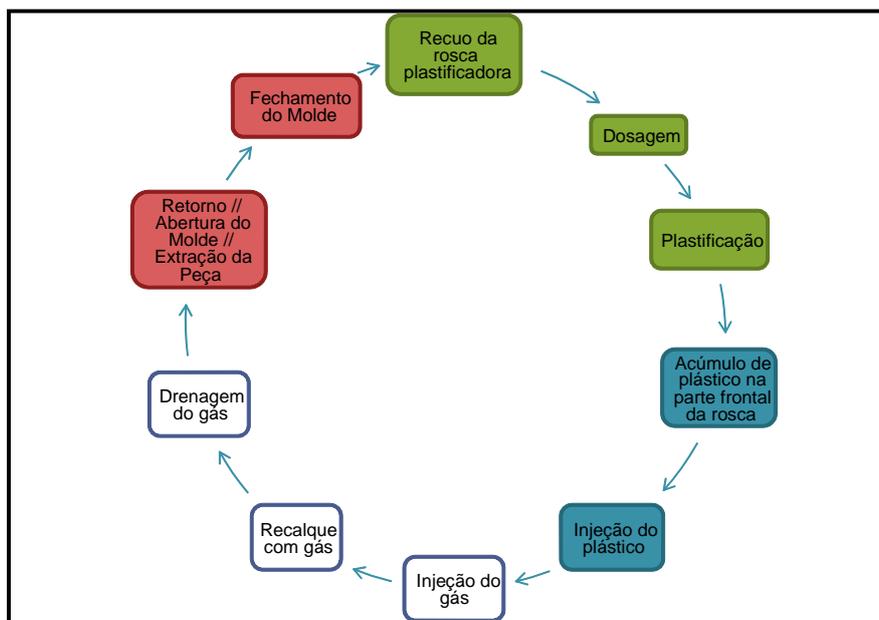


Figura 2: Ciclo do processo GAIM.<sup>(1)</sup>

Do ponto de vista do processo, o GAIM apresenta diversas vantagens em relação à injeção tradicional. O resfriamento do produto injetado é efetuado pelo sistema de refrigeração do molde e pelo gás. Com o gás participando da remoção do calor, a etapa de refrigeração se torna mais curta do que na injeção pelo processo tradicional. Como esta etapa é a mais longa do ciclo de injeção, o GAIM possibilita uma maior produtividade do que o processo convencional.

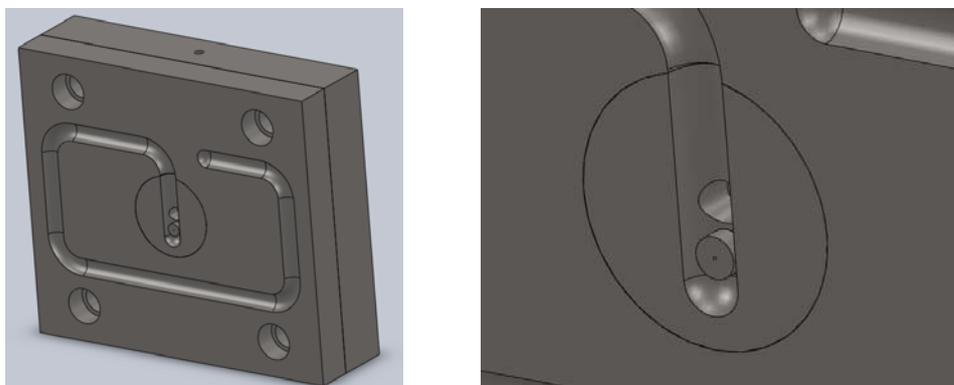


Outra vantagem do processo GAIM é a necessidade de uma injetora com pressão de injeção menor do que na injeção convencional. Isso é possível porque o fluxo de plástico se deve à ação da pressão de gás, que é responsável por sua compressão, além da quantidade de plástico que flui no interior no molde ser menor do que na injeção convencional para a mesma área de seção. Outro fator importante é que a quantidade de plástico à frente do gás ser cada vez menor à medida que o fluxo avança. A combinação destes fatores permite que sejam produzidas peças com menores pressões de injeção e, conseqüentemente, com menores forças de fechamento do molde.

Desta forma, o processo de injeção de plástico assistida por gás apresenta diversas características positivas, que justificam os esforços para se compreender cada vez mais sobre esta tecnologia.

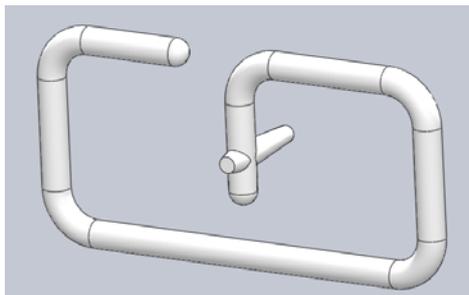
### 3 ESTUDO DOS ESFORÇOS NO MOLDE

O estudo consistiu na análise do modelo da placa com o sistema de injeção representado na Figura 3, onde se pode ver uma perspectiva uma das placas e o detalhe do sistema de injeção de gás. O molde foi modelado em sólidos com o programa SolidWorks® de maneira que pudesse ser fabricados apenas por usinagem. A figura 04 apresenta um desenho da peça moldada por injeção GAIM. Esta peça possui uma geometria aproximadamente simétrica e com seção transversal anular, similar a geometria do molde reportado em Shih-Jung e Chang.<sup>(3,4)</sup>



**Figura 3:** Uma visão geral do molde de injeção do lado do fechamento (1) e o subsistema do bico injetor de gás (1).<sup>(1)</sup>

As premissas consideradas para o projeto do molde proposto foram: (1) o bico injetor de gás deve ser capaz de suportar os esforços de injeção de plástico a medida que o molde é preenchido com a resina; (2) o molde deve suportar os esforços internos e os esforços de fechamento aplicados pela máquina injetora; (3) a máquina injetora deve ser capaz de aplicar os esforços necessários ao fechamento do molde.



**Figura 4:** Peça fictícia a ser moldada por injeção assistida por gás.<sup>(1)</sup>

É importante ressaltar que as análises computacionais levaram em consideração apenas a resistência estrutural. Foi utilizado um modelo de elementos finitos baseado em elementos sólidos, uma vez que o interesse do estudo não está no comportamento global do molde, mas sim nos esforços em regiões bastante restritas, como bico injetor, canal, cantos vivos etc.

O modelo em elementos finitos foi construído utilizando como lugar geométrico da malha a geometria sólida sem qualquer *defeature*. Foi definido um material aleatório, porém adequado às aplicações de injeção, definidas as restrições e carregamentos, escolhido o grau de refinamento da malha sólida e gerada uma malha para o modelo. Seguiu-se a análise, observação e interpretação dos resultados.

### 3.1 Análise dos Esforços no Bico Injetor de Gás

Para a análise foi assumido que o bico injetor de gás se comporte como uma viga engastada de seção cilíndrica anular e o carregamento sendo o escoamento de plástico durante a injeção. Este escoamento induz esforço distribuído ao longo do bico que tende a sofrer deflexão durante o preenchimento da cavidade. Após o preenchimento desta cavidade assumiu-se que haja uma distribuição hidrostática de pressões ao longo da mesma. Neste projeto foi considerado que o maior estado de pressão dentro do molde corresponde a máxima pressão de injeção da máquina injetora.

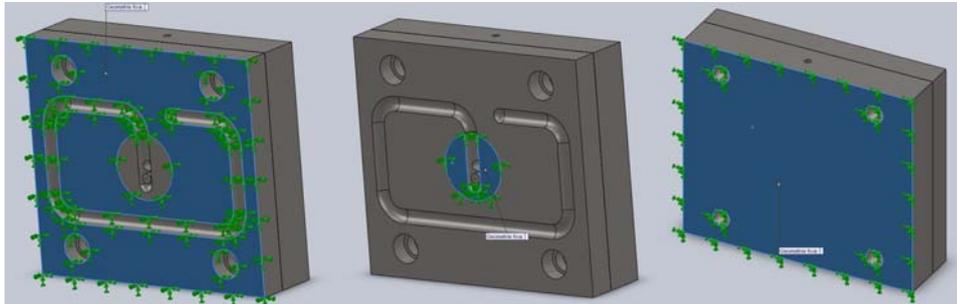
Isto é suficiente para o dimensionamento seguro do bico injetor, cuja integridade estrutural deve ser assegurada sob a ação desta pressão máxima de injeção, garantindo que a tensão máxima atuante sobre o bico injetor não exceda a tensão limite elástica do material a partir do qual a peça foi usinada.

Para a aplicação das restrições necessárias à construção do modelo, foi efetuado as seguintes considerações:

- as faces do molde no plano de apartação permanecem em perfeito contato, onde toda a face do lado da injeção pode ser modelada como um engaste perfeito a partir do momento em que o molde está fechado. Isto inclui a face do molde e a bucha de poço frio;
- a face do molde em contato com a placa de fechamento da máquina injetora também pode ser modelada como um engaste a partir do momento em que o molde está fechado. Além disso, esta força de fechamento é significativamente maior que o esforço dos parafusos. Isto significa que a região dos furos passantes não contribui como o modelo e podem ser deixadas fora da aplicação das condições de contorno.

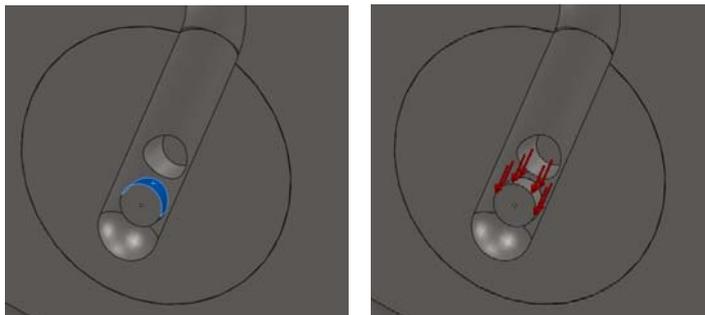


A Figura 5 representa a plicação das restrições cinemáticas nestas faces no Simulation:



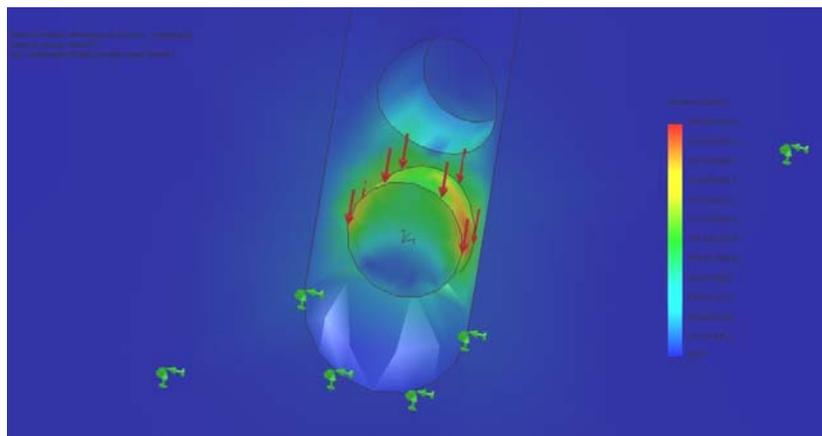
**Figura 5:** Restrições na face da bucha.<sup>(1)</sup>

Para a aplicação do carregamento referente aos esforços de injeção de plástico no molde, foi considerado que somente a face exposta ao escoamento de plástico está sujeita à máxima pressão de injeção que a máquina injetora é capaz de produzir. Ou seja, esta é a condição de máximo carregamento ao qual o sistema de injeção de gás estará submetido, e foi imposta como a limitante de projeto. A Figura 6 representa a aplicação da máxima pressão de injeção distribuída ao longo de meia-superfície do bico injetor de gás.



**Figura 6:** Região do bico injetor sob máxima pressão.<sup>(1)</sup>

O critério de VonMises foi empregado para determinar a máxima tensão que ela deveria estar sempre abaixo do limite de escoamento do material. A Figura 7 representa o resultado da análise em escala de tons para o modelo construído.



**Figura 7:** Distribuição de tensões sobre o bico injetor durante o fluxo de plástico.<sup>(1)</sup>

Observa-se que o modelo diverge da teoria clássica de vigas (Viga de Euler), e que não há uma distribuição de tração/compressão inversa ao longo da seção transversal. Em vez disso, observa-se que a distribuição de tensões tende a zero a medida que a superfície lateral do bico se afasta da região carregada em direção à região descarregada. Contudo, a teoria de viga clássica foi considerada adequada para se estimar a máxima tensão na região próxima à base do bico injetor (na região mais profunda do canal).

Porém, a máxima tensão atuante no bico injetor não acontece na vizinhança da base do bico, mas sim na região de contato com o plástico com o bico na oposta as paredes laterais do canal curvo. Isto mostra que a geometria no local atua como um concentrador de tensões. Portanto, a região candidata à falha por plastificação do material do bico esta mais afastada da base e próxima da extremidade livre.

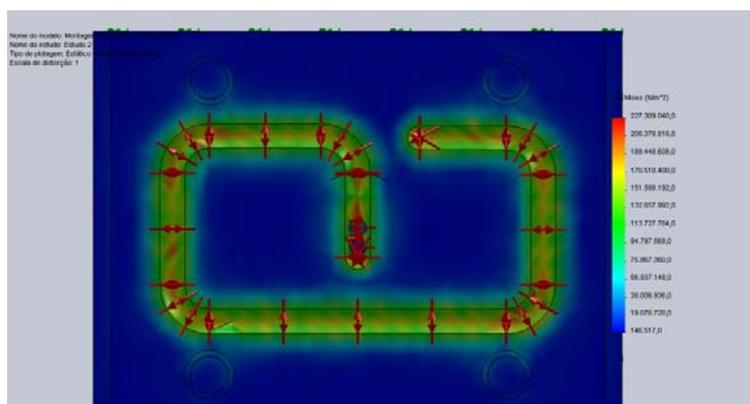
### 3.2 Análise dos Esforços Devido à Pressão de Injeção

A análise dos esforços sobre o molde tem como objetivo assegurar que: (1) o molde seja capaz de resistir às pressões internas, (2) seja capaz de resistir aos esforços de fechamento da máquina injetora e (3) seja capaz de resistir a estes efeitos combinados entre si.

Contudo, sabe-se que no processo de injeção GAIM a máxima pressão de injeção nunca é tão alta quanto na injeção convencional, pois a vazão de plástico que percorre os canais é menor. Como durante o uso do molde espera-se que sejam utilizados diferentes vazões de plásticos, foi assumido que o molde deveria ser capaz de resistir máxima pressão que ocorreria em uma injeção convencional. Foi assumido que o molde é adequado se nenhuma tensão atuante exceda a tensão limite de escoamento do material do molde.

Como na análise do bico injetor, foi considerado que a face do molde em contato com a placa da máquina injetora se comporta como um engaste perfeito. O carregamento aplicado consiste na distribuição hidrostática de pressão ao longo das paredes do canal do molde, sendo este valor igual à máxima pressão de injeção disponível na injetora.

A Figura 8 apresenta o modelo da placa com a distribuição de tensões dada pela escala de cores.

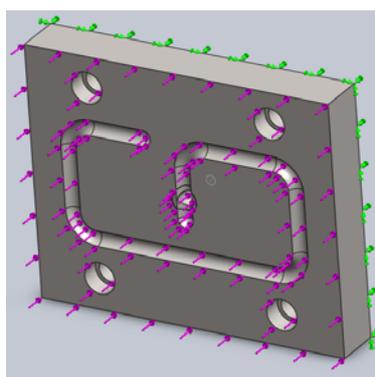


**Figura 8:** Distribuição de tensões na cavidade devido a ação da pressão de injeção máxima.<sup>(1)</sup>

Foi analisado apenas uma das placas do molde devido a simetria em relação a outra placa. Observa-se que a distribuição de tensões não se mostrou constante ao longo da parede do canal e que há um valor máximo de tensão no fundo do canal, onde o estado de tensão não é de compressão. Contudo as dimensões do canal são razoavelmente pequenas e a distribuição de tensões ao longo da parede do canal apresenta apenas pequenas flutuações em torno da média e ficaram abaixo do limite do material. Isto torna a análise adequada e os resultados corretos.

### 3.3 Análise dos Esforços Devido a Força de Fechamento do Molde

Para analisar se o molde possui resistência suficiente para resistir aos esforços de fechamento, basta aplicar as condições de contorno impostas pela fixação placa na placa fixa da máquina injetora. O carregamento empregado deve ser igual à máxima força de fechamento disponível na máquina injetora. A figura 09 apresenta o modelo empregado. As análises mostraram que o molde suporta os esforços de fechamento sem qualquer dificuldade.



**Figura 9:** Carregamento utilizado para análise da resistência aos esforços de fechamento.<sup>(1)</sup>

As Figuras 10 e 11 mostram os resultados de distribuições de tensões na face e na lateral da placa respectivamente. Na Figura 10 pode-se observar que as tensões na face do molde são uniformes e maiores do que na cavidade da peça. A Figura 11 mostra que a máxima tensão acontece nos cantos vivos junto ao engaste. Por este



modelo, está restrito o deslocamento lateral que poderia ser causado pela deformação devido ao efeito de Poisson da face junto ao engaste. Como a placa do molde é aparafusada na placa estas regiões da face em contato com a placa da máquina possuem liberdade para sofrer pequenos deslocamentos e, portanto, estas tensões não ocorrerão.

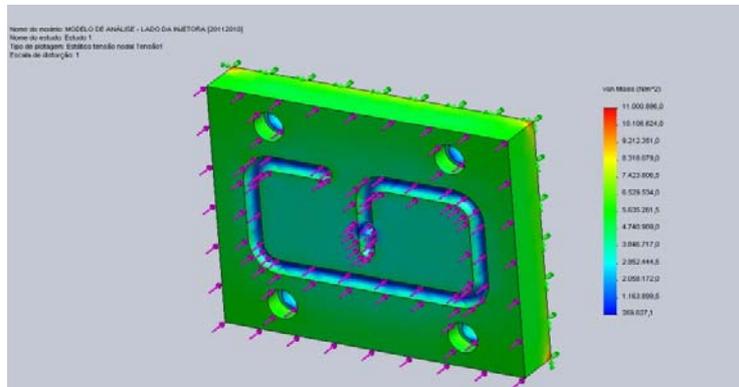


Figura 10: Distribuição de tensões sobre o molde em condições de máxima força de fechamento durante a injeção.<sup>(1)</sup>

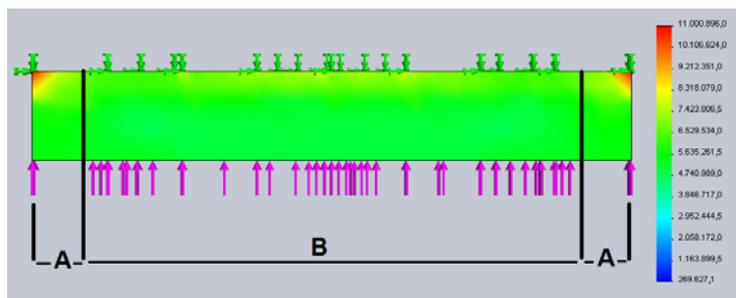
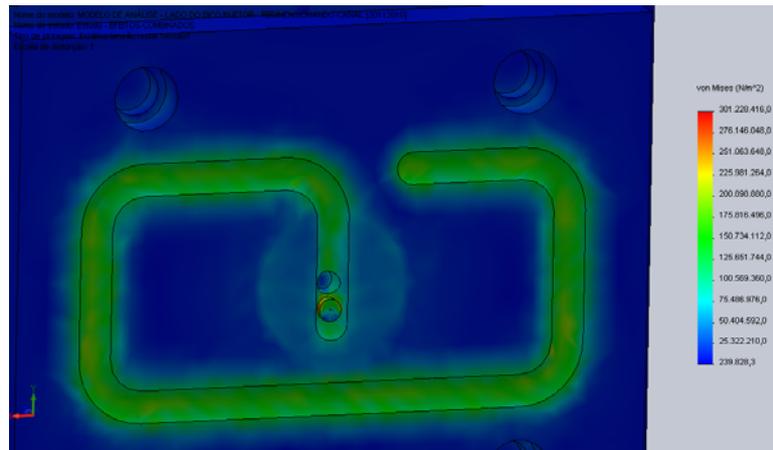


Figura 11: Carregamento aplicado sobre a face do molde para avaliar a distribuição de tensões na sua espessura.<sup>(1)</sup>

### 3.4. Análise dos Efeitos Combinados

A análise final, de efeitos combinados (esforços no bico injetor, pressão de injeção e força de fechamento) foi realizada na placa do molde que contém as buchas de poço frio e o bico injetor de gás. Neste caso foram aplicadas as condições de contorno do e os carregamentos referentes aos esforços usados nas análises anteriores.

A Figura 12 apresenta os resultados finais da análise, onde fica evidente que a região crítica para o dimensionamento desta placa é a região do bico injetor de gás. Ali ocorrem as tensões máximas e que são bastante elevadas confirmando os resultados da análise efetuada no item 3.1 deste trabalho.



**Figura 12:** Distribuição de tensões na face do molde com os carregamentos aplicados no molde e no bico injetor.<sup>(1)</sup>

## 4 CONCLUSÕES

- Foi apresentado o modelo de um molde para a injeção assistida por gás dimensionado para suportar todas as cargas atuantes sobre ele, mantendo sua faixa operacional dentro do regime mecânico do material;
- Foram efetuadas análises de tensões pelo método de Elementos Finitos e adotado o critério de Von Mises para determinar as tensões máximas no bico injetor.
- Devido à simetria das duas placas do molde a análise referente à resistência as pressões internas foi efetuada para apenas uma placa.
- O ponto crítico do molde, com relação às tensões atuantes, é a região de interação entre o bico injetor de gás e o orifício do molde no fundo da cavidade. Neste orifício a superfície cilíndrica do bico é montada de forma a se comportar como um engaste;
- Embora as pressões no interior da cavidade durante a injeção com gás não atinjam a máxima pressão de injeção que a máquina é capaz de produzir, o molde foi dimensionado para suportar estes carregamentos.
- As pressões podem alcançar valores máximos na região do bico injetor, devido ao escoamento do plástico ao redor o bico injetor podendo se dar sob pressões de até 130 MPa.

## REFERÊNCIAS

- 1 Almeida, R.C.V.(2010), Desenvolvimento de um Sistema de Injeção de Plástico Assistida por Gás – GAIM, Projeto de Fim de Curso do Departamento de Engenharia Mecânica da POLI/UFRJ, Rio de Janeiro Brasil.
- 2 AVERY, J. Gas-Assist Injection Molding:Principles and Applications, New York: Hansen Gardner, EUA,(2001).
- 3 SHIH-JUNG, L.;CHANG, C.-Y. (2003). The Influence of Processing Parameters on Thin-Wall Gas Assisted Injection Molding of Thermoplastic Materials. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v 22; p.711-731.
- 4 SHIH-JUNG, L., CHANG, C.-Y. (2003). Surface Roughness and the Melt/Gas Transition Site, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 2002; v21; p.217-231.