

PROPOSTA DE UMA FERRAMENTA PARA O ESTUDO DE INJEÇÃO DE POLÍMEROS ASSISTIDA POR GÁS¹

Renato Caldas Vasconcellos de Almeida²
José Stockler Canabrava Filho³

Resumo

A injeção assistida por gás vem sendo intensamente utilizada na moldagem de peças no setor automobilístico, mobiliário 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 à pequena quantidade de material para ser plastificado e resfriado. Neste trabalho serão apresentados uma introdução sobre injeção à gás e os resultados dos estudos para o desenvolvimento do projeto de um molde para pesquisas este tipo de injeção.

Palavras-chave: Ferramenta para injeção à gás; Injeção assistida por gás; Injeção à gás; Moldagem por injeção assistida por gás.

A TOOL FOR GAS-ASSIST INJECTION MOLDING STUDIES

Abstract

The Gas-assist Injection Molding has been intensely used in vehicle and house appliances industry, where high efficiency and low costs of the products are essential aspects. In this process the plastic parts are molded by means of a injection of melted plastic followed by a injection of gas. The molded product is formed by a thin plastic skin with hollow inside. The molding time and the amount of plastic in this process are lower than in the conventional injection molding process. An overview or gas-assist injection molding and a mold for studies of this process are presented.

Key words: Tool for gas-assist injection molding; Gas-assist injection molding; Gas injection molding.

¹ *Contribuição técnica ao 67^o Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

² *BsC Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro – DEM/POLI.*

³ *Ph.D. Engenharia Mecânica, Titulação Universidade Federal do Rio de Janeiro – DEM/POLI.*

1 INTRODUÇÃO

O processo de Moldagem por Injeção Assistida por Gás (GAIM – Gas-Assist Injection Molding) é uma das variantes do processo de injeção tradicional que permite produzir peças ocas, com diferentes espessuras de parede. Este tipo de injeção possibilita grande economia de polímero e menor tempo de processamento, permitindo desenvolver produtos de baixo peso e baixo custo. Esta tecnologia vem sendo desenvolvida por indústrias de equipamentos para a moldagem de termoplásticos.

Por se tratar de uma tecnologia comercial, poucos autores tem tornado seus trabalhos públicos. Informações sobre o processo, aplicações e qualidade dos produtos obtidos podem ser encontrados em Avery,⁽¹⁾ DuPont,⁽²⁾ Shih-Jung e Chang,⁽³⁾ Shih-Jung e Chang,⁽⁴⁾ Shih-Jung e Chang⁽⁵⁾ e Almeida.⁽⁶⁾ Estudos foram realizados para o desenvolvimento de um molde em projeto de fim de curso, cujos resultados estão descritos em Almeida.⁽⁶⁾

Neste trabalho serão apresentadas uma introdução sobre injeção à gás e os resultados dos estudos para o desenvolvimento do projeto de um molde para pesquisas este tipo de injeção.

2 PROCESSO DE INJEÇÃO DE PLÁSTICO ASSISTIDO POR GÁS – GAIM

O processo GAIM consiste em injetar em um molde a quantidade de plástico necessária para formar as paredes das peças, em seguida uma válvula é aberta para permitir que o gás entre nos canais do molde e pressione o polímero plastificado como se fosse um êmbolo. Ao sofrer expansão, o gás comprime o polímero fazendo com que ele escoe pelo interior dos canais ou cavidades. Durante o escoamento, a porção de polímero que encosta nas paredes do molde solidifica formando uma casca com seu interior preenchido por gás. Após o resfriamento, o produto pode ser extraído do molde da mesma forma que em num processo de injeção tradicional.

2.1 Etapas do Processo GAIN que Envolvem o Gás

A Figura 1 mostra as etapas da injeção no molde que ocorrem com a participação do gás. Nestas etapas estão as diferenças deste processo em relação à injeção convencional.



Figura 1. Etapas do processo GAIN que dependem do gás.

2.1.1 Injeção do polímero

Nesta etapa o molde recebe a dose de polímero plastificado necessária para a produção do componente injetado, que será de 50% a 95% do volume total do produto conforme a espessura desejada. A Figura 2 mostra o escoamento do polímero ao ser comprimido pelo gás.

Os parâmetros para a plastificação do polímero e para a injeção inicial devem ser ajustados nos controles da injetora como na injeção tradicional e os valores iniciais devem ser os recomendados pelos fabricantes das resinas.

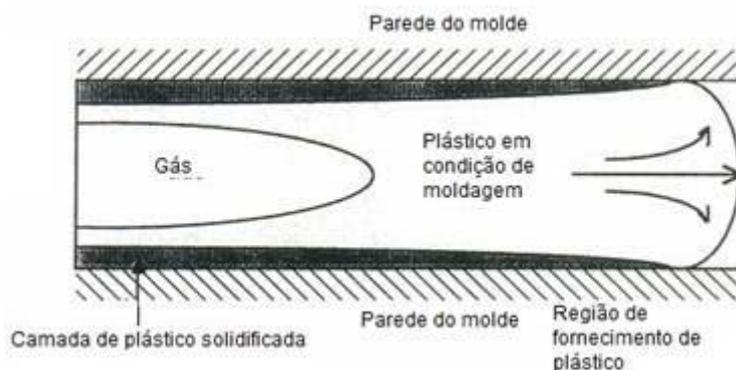


Figura 2. Escoamento do polímero ao ser comprimido pelo gás.⁽¹⁾

2.1.2 Injeção do gás

A injeção do gás começa após a injeção do polímero quando fecha-se uma válvula que comunica injetora com o molde abre-se a válvula do gás. A partir deste momento, o gás se expande rapidamente comprimindo o polímero que escoará nas regiões em que estiver com alta temperatura sob e baixas pressões. A quantidade de gás injetada pode ser controlada por pressão ou por volume.

2.1.3 Recalque com gás

Nesta etapa o gás pressiona o polímero contra a cavidade até a sua solidificação, e tem por finalidade se obter um produto com a geometria e as dimensões especificadas. Ela é uma etapa análoga ao recalque na injeção convencional.

2.1.4 Drenagem do gás

Após a solidificação do produto é preciso remover o gás do interior do produto. A ocorrência de pressão positiva no interior do produto após a que abertura do molde poderá causar a sua quebra, rachaduras ou até mesmo explosão. O gás removido poderá ser descartado para a atmosfera ou recomprimido para ser reutilizado.

2.2 Gás para a Injeção

O gás empregado no GAIM deve ter as seguintes características:

- ser livre de umidade, pois isso pode produzir defeitos e imperfeições no material da peça;
- ser empregado na pressão adequada para fazer escoar o plástico através das cavidades do molde;
- não reagir quimicamente em contato com o polímero (um gás inerte);
- não ser inflamável; e
- não ser nocivo ao operador do processo (não venenoso ou contaminante).

O nitrogênio (N_2) é o gás normalmente empregado no GAIM por possuir estas características, poder ser comprimido a altíssimas pressões, ser de fácil obtenção, e ser economicamente viável. Em aplicações de GAIM, é importante que o N_2 utilizado tenha um grau de pureza elevado como os utilizados em aplicações em medicina (99,99% de N_2). Gases com composição na faixa de 95% N_2 e 5% O_2 poderão ocasionar degradação do polímero por queima. Este defeito causa a formação de uma camada negra, ou de aspecto esfumado, na face interna do produto, onde houve contato com o gás. Este tipo de defeito compromete também a resistência mecânica do produto, uma vez que é comum utilizar os canais formados pelo gás com função estrutural. Como exemplo pode-se citar as nervuras ocas que possuem

rigidez elevada devido à inércia da seção e baixo peso pela ausência de polímero em seu interior.

2.3 Qualidades e Limitações do Processo GAIM

Assim, o GAIM apresenta muitos benefícios tanto nas características referentes ao processamento quanto ao design de produtos.

2.3.1 Com referência ao processamento

- menores pressões de injeção (normalmente em torno de 50% da pressão de injeção tradicional);
- menor força de fechamento do molde;
- maiores comprimentos de escoamento de material; e
- menores perdas de carga.

2.3.2 Com referência ao design de componentes

- redução de peso;
- redução ou eliminação nas marcas de rechupe (*sinkmarks*);
- diminuição nas tensões internas às peças;
- redução nos efeitos de empenamento;
- menos efeitos de encolhimento na direção transversal ao fluxo;
- permite criar seções ocas com alta rigidez; e
- maior liberdade de design.

2.3.3 Algumas da tecnologia GAIM limitações

- necessidade de outros equipamentos além do sistema tradicional de injeção;
- custo de licenciamento da tecnologia para uso comercial (tecnologia e equipamentos patenteados); e
- espessura das paredes do moldado não pode ser determinada com precisão (mas podem ser bem estimadas e obtém-se reprodutibilidade).

3 PROJETO DO MOLDE DE INJEÇÃO

O molde foi projetado para ser do tipo duas placas com canal frio e ser usado em uma máquina pequena com o objetivo de viabilizar a pesquisa com baixo custo de máquina e da ferramenta. Com este molde pretende-se testar diferentes parâmetros de injeção do polímero e diferentes parâmetros para a injeção de gás. Ele deveria possibilitar pesquisar a influencia destes parâmetros nas seguintes características da peça: comprimento, dimensão e forma da seção, comprimento do canal interno formado pelo gás, uniformidade da espessura, qualidade da superfície interna e qualidade da superfície externa, tempo de resfriamento e outras.

3.1 Projeto das Placas do Molde

O molde possuirá duas placas com canais semicirculares. A injeção do plástico será efetuada pela placa fixa e a do gás pela placa móvel, onde haverá também um canal frio. Para atender as necessidades dos experimentos, optou-se por projetar uma cavidade que fosse tubular por ser uma geometria fácil de ser avaliada, não causar um grande desbalanceamento de esforços, e possuir um grande comprimento em relação às dimensões da placa. As dimensões das placas foram

definidas como sendo as máximas que poderiam ser montadas na máquina escolhida. A Figura 3(a) apresenta a face da placa móvel e a (b) um detalhe mostrando a o canal de entrada e a montagem do bico injetor de gás.

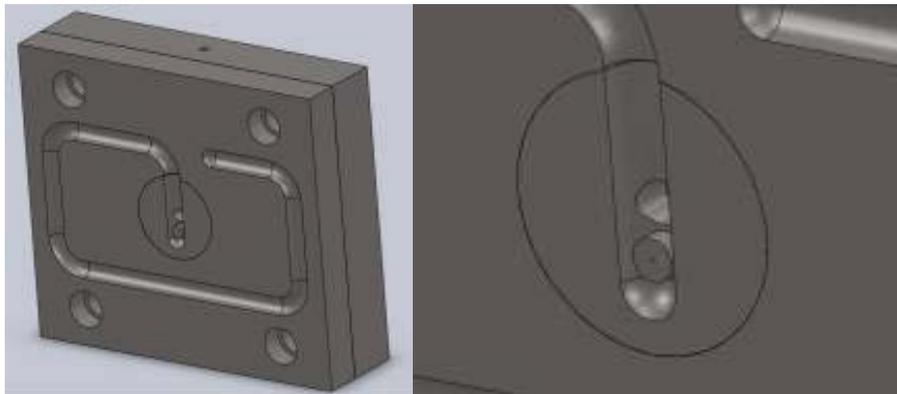


Figura 3. (a) apresenta a face da placa móvel e a (b) detalhe do canal de entrada e montagem do bico injetor de gás.

A maior parte região da cavidade é usinada diretamente na placa. Optou-se por usar um inserto montado na placa para conter a região próxima ao canal de injeção, na placa fixa e o bico de gás na placa móvel. O uso de inserto nestas regiões é bastante conveniente porque possibilita fácil substituição ou reparo em caso de avaria ou modificações que se façam necessárias.

3.1.1 Escolha do diâmetro da cavidade

Foi escolhido um diâmetro de 10 mm, por ser uma dimensão suficientemente grande para que ocorra baixa resistência (queda de pressão) ao fluxo de polímero e para que se possa experimentar condições que produzam diferentes espessuras no produto.

3.1.2 Escolha dos diâmetros internos e externos, do comprimento e do posicionamento do bico de injeção de gás

A Figura 4(a) apresenta uma representação do bico para injeção do gás. Deverá ser montado por parafusos no inserto da placa móvel. Este bico possui um diâmetro externo de 7,0 mm e um interno de 1,0 mm, e um comprimento na cavidade de 3,5 mm.

O bico foi localizado entre o canal de injeção e bem próximo de uma das extremidades da cavidade. Esta posição foi escolhida de forma que esta extremidade fosse preenchida no início da injeção e no momento em que a pressão da cavidade fosse máxima, o bico já estivesse envolvido pelo polímero e, portanto, em equilíbrio estático.

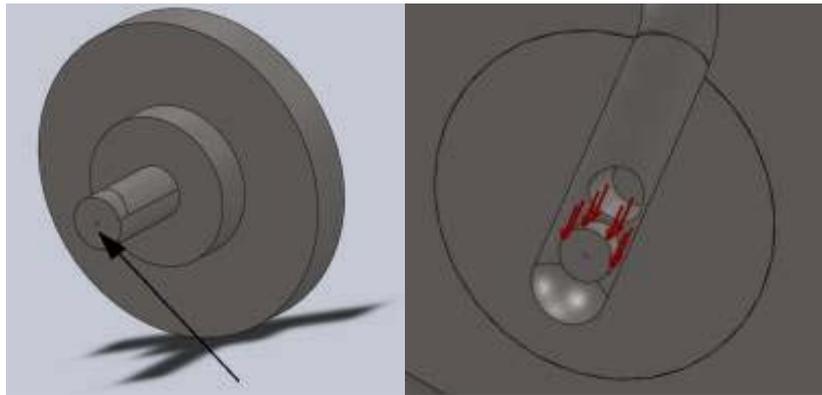


Figura 4. (a) Representação do bico para injeção do gás e (b) o bico montado no molde com o representação da pressão exercida durante a injeção.

3.1.3 Análise de tensões do bico para injeção de gás

Efetuuou-se uma análise de tensões atuantes neste bico para verificar a sua resistência, considerando o bico como sendo uma viga engastada sofrendo um carregamento distribuído, como mostra a Figura 4(b). As tensões atuantes sobre este bico, para uma pressão de injeção de 130 Mpa (máxima da PIC-BOI), foram calculadas pelo critério de mises, o valor máximo obtido foi de 180 Mpa na região do engaste. Este valor é pequeno mesmo para um aço de baixa resistência como o SAE 1020, cuja tensão de escoamento é da ordem de 350 Mpa. Este resultado mostra que o bico resistirá as condições de moldagem com esta injetora.

3.2 Calculo da Força de Fechamento do Molde

Como função de fechamento da máquina injetora, ela exerce um esforço sobre o molde a fim de garantir que o molde não se abra durante a operação de injeção. Quando esta força é insuficiente, o plástico vaza por entre as superfícies de contato e pode causar acidente ou a produção de peças defeituosas (com rebarbas). Portanto, a força de fechamento das placas da máquina injetora precisa ser superior à resultante das forças que tendem a abrir o molde, que são causadas pelas pressões internas à cavidade durante a injeção.

A Figura 5(a) mostra a face do molde e a (b) um corte parcial do mesmo mostrando canal de injeção de plástico.

Os esforços exercidos sobre o molde pela pressão interna ao canal do plástico podem ser decompostos nas seguintes componentes: horizontal D_h e vertical D_v .

Como as componentes verticais da força são opostas e, por isso, elas se anulam. Estas componentes servem apenas para dimensionar a largura das paredes entre as cavidades e a superfície lateral do molde, para que não ocorra falha nesta parede durante a injeção. A componente da força na direção horizontal tende a abrir o molde. A força máxima que tende a abrir o molde é ser calculada pela equação 1.

$$F_a = F_{inj} \cdot A_p \quad (1)$$

Onde: P_{inj} : máxima pressão de injeção que a máquina injetora é capaz de produzir; F_a : máxima força de abertura que atua sobre o molde; e A_p : área projetada do canal.

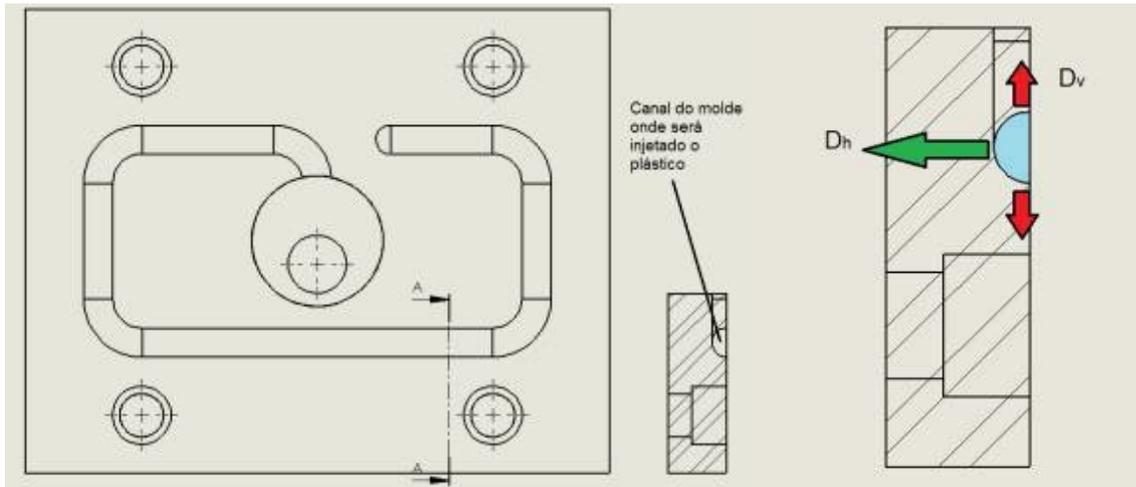


Figura 5.(a) Face do molde e (b) corte com a seção semicircular do canal por onde injeta-se o plástico.

A Figura 6 (a) mostra a área projetada do canal e a (b) uma perspectiva do produto moldado. Como este produto possui geometria simétrica e está centrada com a placa, e a pressão na cavidade é homogênea, a força resultante que tende a abrir o molde é perpendicular a placa e se localiza no centro da mesma.

Neste molde a área projetada na face da cavidade é o produto da diâmetro da seção pelo comprimento total do canal, e seu valor é $A_p = 4377\text{mm}^2$



Figura 6. (a) Área projetada do canal e a (b) uma perspectiva do produto moldado.

3.2.1 Pressão na cavidade

A pressão de injeção surge durante o fluxo de plástico pela cavidade e atinge o valor máximo quando a cavidade está completa.

Para o projeto do molde é preciso imaginar 3 situações diferentes:

a) Força de fechamento para a injeção com a pressão máxima da injetora

Supondo que a injeção fosse efetuada com a pressão máxima da injetora (130Mpa), a força de fechamento calculada pela equação 14 precisaria ser de 57 Toneladas. Como a força de fechamento da injetora disponível é de 15 ton, não seria possível manter o molde fechado com esta pressão.

b) Força de fechamento para a injeção convencional com a pressão máxima necessária para vencer a resistência ao escoamento

Na injeção tradicional, a pressão de injeção máxima precisa ser maior ou igual a queda de pressão que surge durante o percurso do plástico com uma determinada

vazão. Este cálculo pode ser efetuado usando as equações de reologia adequadas para a geometria do canal do molde.

Em Maier e Calafut⁽⁷⁾ se encontra descrito um procedimento prático para estimativa da força de fechamento necessária em um processo de injeção tradicional, bem como a pressão dentro da cavidade do molde. Trata-se de um procedimento funcional para peças de geometria simples e fabricadas com polímeros sem cargas de reforço, ou aditivos abrasivos. Utilizando-se este método considerando que o material do produto é PP e a sua geometria, obteve-se a pressão de injeção de 12 Mpa e a força de fechamento de $\approx 6,5 \text{ Tf}$.

Estes valores estão abaixo da capacidade da injetora PICBOY 15, portanto ela se mostra suficiente para o processo de injeção tradicional com o molde em questão.

c) Força de fechamento para a injeção assistida por gás

Durante o processo de injeção de plástico assistido por gás, o volume de plástico que escoar na cavidade é bem menor do que na injeção convencional, e o fluxo do plástico ocorre devido a pressão do gás. De acordo com AVERY (2001) os valores máximos de pressão de gás nos sistemas comerciais estão em torno de 30 Mpa (300 bar). Usando este valor de pressão e a área do molde em questão, calcula-se que a força de fechamento para esta condição seria de 13,2 Tf, portanto, inferior aos 15 Tf que é a força máxima de fechamento da injetora PICBOY 15. Assim, mesmo nesta condição extrema de injeção a gás, o molde se manterá fechado.

4 CALOR A SER REMOVIDO PELO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO MOLDE

A qualidade da peça injetada depende muito de sua refrigeração. Em geral a temperatura de desmoldagem é fornecida por tabelas como sendo a temperatura de enrijecimento do plástico utilizado. Nesta temperatura o plástico já deverá estar completamente solidificado. Em muitos casos para que a peça tenha a estabilidade dimensional desejada é preciso resfriá-la mais tempo no molde quando houver risco de empeno ou contração excessiva. Assim sendo, a temperatura de desmoldagem deverá ser determinada levando-se em consideração todos estes fatores.

A duração da etapa de refrigeração dependerá da quantidade de calor a ser removida do produto e da taxa de troca de calor entre o molde e a peça. Esta taxa de troca de calor é definida pela temperatura de moldagem do plástico, que é uma característica própria que varia em dentro de uma pequena faixa e da temperatura média do molde que é conseguida por meio de sua refrigeração. Portanto, para se definir o sistema de refrigeração de um molde é preciso: selecionar as temperaturas de moldagem e desmoldagem, calcular a quantidade de calor a ser removida e dimensionar o sistema de refrigeração do molde.

Volume de plástico do produto é 80% do volume da cavidade e igual a 25.58 cm³ e a massa igual a 25.92g

4.1 Cálculo da Quantidade de Calor a Ser Removida do Molde

A equação (2) apresenta representa o equilíbrio térmico para todas as trocas de calor envolvendo a peça moldada, ou seja: molde, sistema de refrigeração e ambiente.

$$Q_{KS} + Q_e + Q_{ad} + Q_c = 0 \quad (2)$$

Onde: Q_{KS} : fluxo de calor do plástico para o molde; Q_e : fluxo de calor trocado com o ambiente; Q_{ad} : fluxos de calor adicionais (por exemplo, sistema de canal quente); e Q_c : calor trocado com o refrigerante do ciclo.

Para este o projeto as trocas por condução com a máquina, convecção e radiação com o meio, serão desprezadas devido aos seus baixos valores. Como se trata de injeção assistida por gás, será considerado que o fluxo de calor de entrada do molde será equilibrado pelo sistema de refrigeração líquida do mesmo e parte do calor será absorvida pelo gás. O fluxo de calor para o interior do molde é calculado pela equação (3), e seu valor com os parâmetros deste trabalho é 181 W.

$$Q_{KS} = \frac{\Delta h \cdot \rho_{KS} \cdot V}{t_c} \quad (3)$$

O calor absorvido pelo gás é calculado pela equação (4), considerando que sua temperatura de entrada é 30°C e de equilíbrio é 80°C, o valor é 36 W.

$$Q_{gás} = m_{gás} \cdot C_p \cdot (T_{eq} - T_{ent}) \quad (4)$$

Então, a quantidade de calor a ser removida pelo fluido de refrigeração que circula nos canais do molde é calculada pela equação e seu valor é 145 W.

$$Q_c = Q_{ks} - Q_{gás} \quad (5)$$

Na injeção assistida por gás o tempo de resfriamento e a vazão de fluido de refrigeração são menores do que na convencional porque parte do calor é absorvido pelo gás durante a injeção.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentada uma introdução ao processo de injeção assistido por gás.

Foram apresentados os alguns resultados de um projeto de molde para injeção assistida por gás.

O lay-out das placas e a localização do bico de injeção a gás foram selecionados.

A força de fechamento necessária na máquina injetora foi calculada e verificou-se que ela é inferior a da máquina escolhida.

Os cálculos térmicos foram efetuados para determinar o fluxo de calor a ser removido para a solidificação da peça e as parcelas de calor absorvidas pelo fluido de refrigeração e pelo gás.

REFERÊNCIAS

- 1 AVERY J. Gas-Assist Injection Molding-Principles and Applications., USA: Hanser Publishers, 2001.
- 2 DUPONT. Gas-Injection Moulding with DuPont Engineering Polymers. United Kingdom: DuPont Technical Reports, 2001.

- 3 SHIH-JUNG LIU, I-TA CHANG. Surface Roughness at the Melt/Gas Transition Sites of Gas-Assist Injection Molded Thermoplastic Composites, Journal of Reinforced Plastics and Composites, Sage Publications, 2002.
- 4 SHIH-JUNG LIU, I-TA CHANG. The Influence of Processing Parameters on Thin-Wall Gas Assisted Injection Molding of Thermoplastic Materials, Journal of Reinforced Plastics and Composites, Sage Publications, 2003.
- 5 SHIH-JUNG LIU, I-TA CHANG. The manufacturing of thermoplastic composite parts by water-assisted injection-molding technology, Composites: Part A 35 (2004) 171–180, Elsevier, 2003.
- 6 ALMEIDA, R.C.V. Desenvolvimento de um Sistema de Injeção de Plástico Assistida por Gás., Projeto de Fim de Curso, Departamento de Engenharia Mecânica –POLI/UFRJ, Brasil, 2010.
- 7 MAIER, C., CALAFUT, T., Polypropylene - The Definitive User's Guide and Handbook. William Andrew Inc., Norwich, 1998