



ANÁLISE COMPUTACIONAL NO DESENVOLVIMENTO DE UMA INJETORA PNEUMÁTICA

Teixeira, Pedro Henrique Caetano Oliveira

D'Ornellas, Daniel Gonçalves

Silva da, Helder Guedes

Campos, Thaís Roberta

Cordeiro, Gilmar da Silva

Figueiredo, Luíz Carlos

Rigueira, Rômulo Albertini

phcoteixeira@sga.pucminas.br

danieldornellas@hotmail.com

helderguedes07@hotmail.com

trcampos@pucminas.br

gilmarcordeiro@pucminas.br

luizfigueiredo@pucminas.br

romulo@metalmecanica.ind.br

Curso de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Rua Rio Comprido, 4580, 32010-025, Contagem, Minas Gerais, Brasil

Resumo. *O processo de injeção de materiais termoplásticos possui como principal característica a elevada produtividade de peças. O material em grânulo é fundido e injetado para o interior da cavidade do molde. Posteriormente tem-se a refrigeração do molde com o objetivo de solidificar o material. O molde é aberto para a retirada da peça no formato desejado por pinos extratores. Nesse trabalho é proposto o projeto e desenvolvimento de uma mini Injetora termoplástica tendo como foco principal baixo custo para sua confecção, com o intuito de atender práticas laboratoriais e trabalho de conclusão de curso. Utilizou-se um sistema pneumático para o fechamento do molde seguido do acoplamento do bico injetor ao molde de injeção. Para a modelagem e análise estrutural de todo o dimensionamento da composição física da máquina foram realizadas simulações numéricas bem como para a análise da fluidez do material polimérico durante o seu preenchimento na cavidade do molde. As simulações realizadas proporcionaram alcançar os objetivos propostos para o correto funcionamento da máquina injetora otimizando os tempos de projeto e execução.*

Palavras-chave: *Injeção plástica, molde de injeção, injetora termoplástica.*

1 INTRODUÇÃO

As empresas para se manterem ativas em um mercado global competitivo, devem aperfeiçoar seus produtos ou serviços, oferecendo soluções inovadoras, de qualidade e de menor custo (AMARAL, 2001).

As engenharias de desenvolvimento e fabricação buscam constantemente o desempenho máximo e/ou o custo mínimo. Essas exigências podem ser alcançadas modelando-se os projetos através de softwares de análise computacional. Segundo Mirlisenna (2016) a simulação computacional é amplamente utilizada nas empresas para realizar análises e melhorar a qualidade dos produtos e projetos. Grande parte dessas análises são realizadas por meio de softwares que utilizam o método dos elementos finitos, os quais possibilitam a obtenção de respostas para inúmeros problemas de engenharia.

Segundo Souza e Rech (2013), com o aumento da capacidade computacional as indústrias têm passado por grandes mudanças e ferramentas de simulação numérica tornam-se grandes aliados de pesquisadores, otimizando o processo de análise de variáveis. A constante busca por redução de custo e prazo de desenvolvimento do projeto fez com que métodos tradicionalmente empíricos dessem lugar à ferramentas que demandassem menor necessidade de tempo.

O presente artigo descreve a construção de uma injetora termoplástica didática e utiliza as técnicas de análises computacionais no software SolidWorks Simulation para dimensionamento e modelagem estrutural e Solidworks Plastic para análise da fluidez do material a ser injetado.

2 DESENVOLVIMENTO DA INJETORA

A injetora desenvolvida é vertical, possui construção simples e de baixo custo, o seu intuito principal é aplicar conhecimentos do curso de engenharia mecânica na fabricação de pequenas peças que podem ser utilizadas no ambiente doméstico ou em laboratórios e oficinas.

A Figura 1 mostra esquematicamente o projeto em vista frontal da máquina injetora construída. As etapas necessárias para a injeção, consiste em inserir material granuloso no silo alimentador que por gravidade desce até a zona de aquecimento controlado. Logo após o material é depositado no cilindro de aquecimento onde sua permanência será temporizada conforme o ponto de fusão do material alimentado. Em seguida, o material fundido é introduzido sob pressão pelo bico injetor até a cavidade do molde, preenchendo-o completamente. Na sequência tem-se um tempo de espera em que o polímero permanece sob pressão, denominado tempo de empacotamento ou recalque. Finalizado esse procedimento, o cilindro injetor retorna a sua posição inicial. Por transferência de calor o termoplástico é solidificado. Então, o molde se abre e o produto final é extraído.

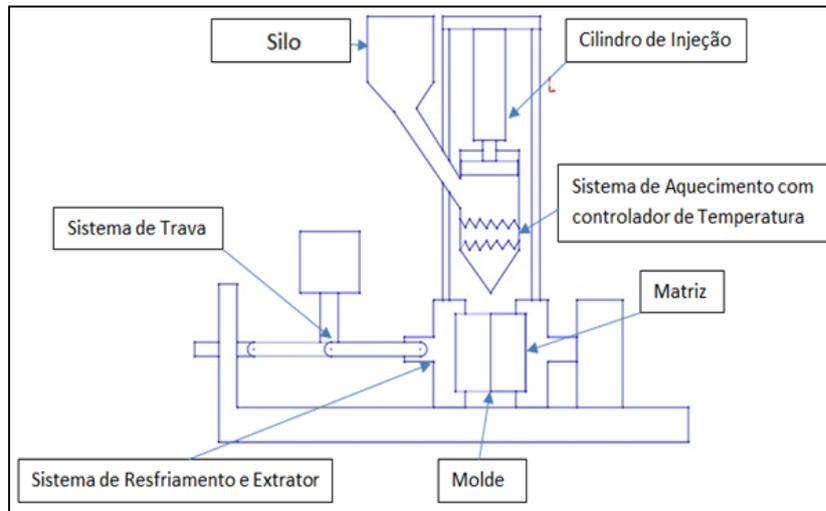


Figura 1. Projeto da máquina injetora termoplástica

2.1 Projeto Estrutural

No desenvolvimento do projeto estrutural da máquina injetora utilizou-se os softwares Solid Works e Solid Plastic. Todas as peças foram desenhadas e em seguida realizada a montagem de conjunto.

A Figura 2 apresenta a perspectiva do projeto da máquina injetora explicitando uma visão geral do projeto final após a montagem de todos os componentes, ainda na interface do software.

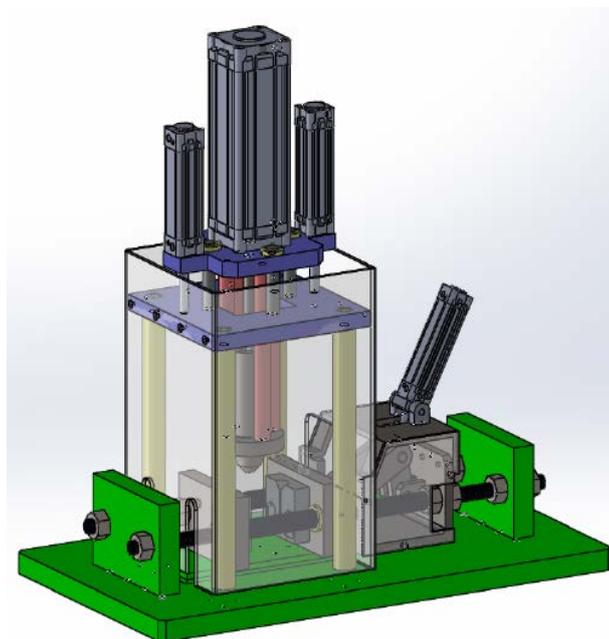


Figura 2. Injetora didática

2.2 Análise das forças durante o processo de injeção

Para determinar as forças atuantes no processo de injeção, considerou-se primeiramente a quantidade de material a ser injetado, que para o projeto em questão é de 20g. Segundo Arada

(2008) é recomendado para esta quantidade de material injetado que o canal do bico injetor seja de um diâmetro de 4,5mm. Após determinado o diâmetro do canal do bico injetor definiu-se então a pressão máxima de injeção, que segundo Manrich (2013), para os materiais Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), Policloreto de Vinila (PVC) e Polipropileno (PP), variam entre 800 e 1200 bar.

Após a determinação das pressões máximas de injeção utilizou a Eq. (1) para determinar a força máxima de injeção, cujo valor obtido foi de 96,21 kgf.

$$F_i = P_i * A_b \quad (1)$$

Onde:

A_b - Área do canal bico de injeção (cm²).

F_i - Força requerida para injeção (kgf).

P_i - Pressão máxima no bico de injeção (bar).

Com a força de injeção determinada, foi possível encontrar a área e o diâmetro do êmbolo do cilindro pneumático com a Eq. (2) e Eq. (3), cujos os valores obtidos após o cálculo foram de 19,24cm² para área e 49,40 mm para o diâmetro

$$A_c = \frac{F_i}{P_r} \quad (2)$$

Onde:

A_c - área do embolo do cilindro pneumático (cm²).

P_r - pressão da rede pneumática (bar)

F_i - Força requerida para injeção (kgf).

Em seguida, valeu-se da área encontrada para calcular o diâmetro (d) do cilindro de pneumático pela Eq. 3.

$$d = \sqrt{\frac{4 * A_c}{\pi}} \quad (3)$$

Conforme especificado no catálogo do fornecedor de componentes pneumáticos SMC foi utilizado um diâmetro de 50 mm.

Para garantir o correto acoplamento do bico ao molde utilizou-se dois cilindros pneumáticos de diâmetros de 40 mm, de modo produzir maior força que a força de injeção. A soma das forças destes dois cilindros foi de 107,64 kgf.

De posse das forças resultantes do sistema pneumático, fez-se a análise estrutural dos elementos da injetora utilizando o software SolidWorks Simulation.

2.3 Análise Estrutural

No software SolidWorks foram realizadas as análises estruturais dos components quanto à flambagem, deformação e tensão (critério de Von Misses). Os materiais usados na construção da injetora foram o SAE 1045 e o ASTM A36 e as Tabelas 1 e 2 apresentam algumas propriedades desses materiais.

Tabela 1. Propriedade do Aço SAE 1045

Nome	AISI 1045 Aço Laminado a
Tipo de modelo:	Isotrópico linear elástico
Limite de escoamento:	3,1 x 10 ⁸ Pa
Resistência à tração:	6.25 x 10 ⁸ Pa
Módulo elástico:	2.05 x 10 ¹¹ Pa
Coefficiente de Poisson:	0.29
Massa específica:	7850 kg/m ³
Módulo de cisalhamento:	8 x 10 ¹⁰ Pa

Tabela 2. Dados Aço ASTM A36

Nome	ASTM A36 Aço
Tipo de modelo:	Isotrópico linear
Limite de escoamento:	2.5 x 10 ⁸ Pa
Resistência à tração:	4 x 10 ⁸ Pa
Módulo elástico:	2 x 10 ¹¹ Pa
Coefficiente de Poisson:	0.26
Massa específica:	7850 kg/m ³
Módulo de cisalhamento:	7.93 x 10 ¹⁰ Pa

A Figura 3 representa a análise de tensão de Von Mises sobre a base superior no material ASTM A36 e nas colunas do cilindro de injeção material SAE 1045. A tensão máxima atuante encontrada foi na base superior com um valor de 7,5 kPa.

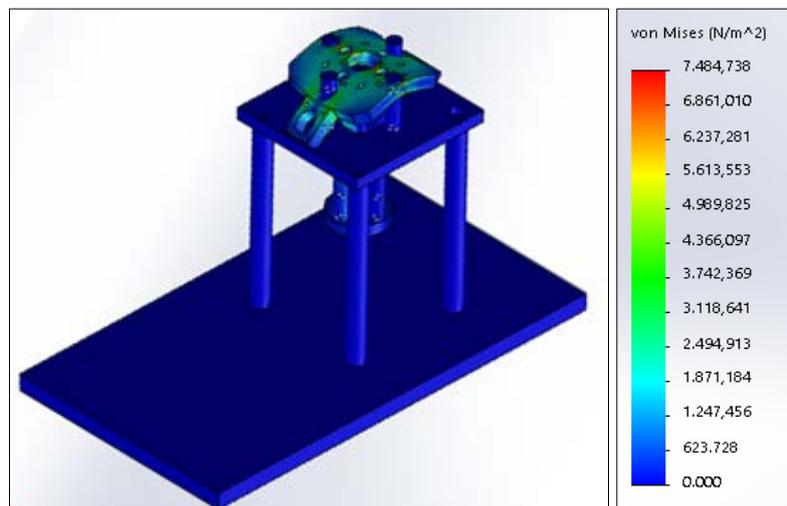


Figura 3. Análise estrutural - Tensão de Von Mises

A Figura 4 expõe a análise relativa ao deslocamento sofrido pela base superior (ASTM A36) e colunas do cilindro de injeção (SAE 1045). O maior deslocamento encontrado foi na base superior com um valor de 1.36×10^{-5} mm.

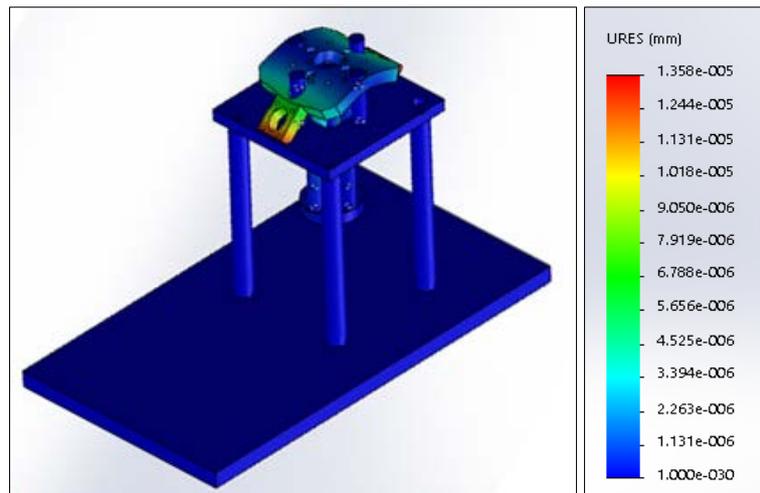


Figura 4. Análise estrutural - Deslocamento

A Figura 5 mostra a análise de deformação equivalente (base superior-ASTM A36 e colunas do cilindro de injeção-SAE 1045). Esta deformação assumiu o máximo valor de $1,97 \times 10^{-8}$ mm na base superior.

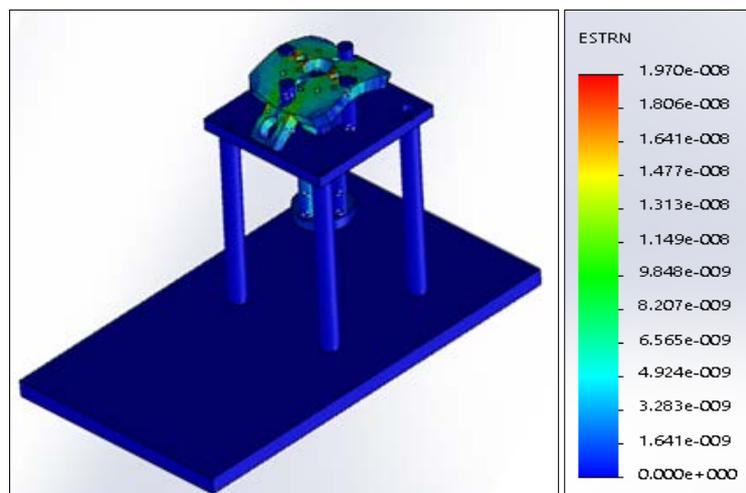


Figura 5. Análise estrutural - Deformação equivalente

A Figura 6 exibe a análise estrutural quanto à flambagem na guia do molde constituído do aço SAE 1045, o valor máximo de flambagem devido às cargas atuantes está compreendido entre 0,00 mm e $1,85 \times 10^{-1}$ mm.



Figura 6. Análise estrutural - Flambagem

A Figura 7 mostra o resultado obtido da análise de tensão de Von Mises no pino da tesoura de fechamento (aço SAE 1045), a maior tensão encontrada é de 157 Mpa, a qual está abaixo da tensão limite de escoamento do material que é 530 Mpa. Assim, o componente suporta as solicitações.

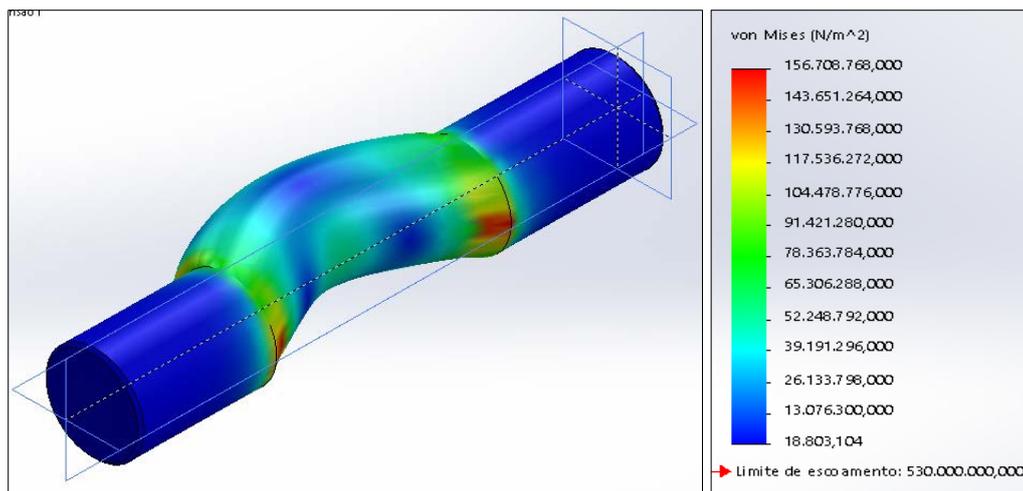


Figura 7. Análise estrutural - Tensão de Von Mises

2.4 Simulação da fluidez durante o processo de injeção

A simulação da injeção foi elaborada sobre o molde de um chaveiro construído em homenagem à Catedral Cristo Rei. Foram determinadas algumas características para esta simulação:

- tempo de injeção igual a 1,5 segundos;
- pressão de injeção igual a 1000 bar;
- foram simuladas a injeção de dois chaveiros;
- material utilizado na fabricação do molde foi o aço 1045;
- material injetado foi o ABS de baixa densidade;
- dimensão do produto igual $\varnothing 45,5 \times 2,0$ mm.

As Figuras 8 e 9 mostram o produto injetado e as duas placas cavidades do molde respectivamente.



Figura 8. Chaveiro Catedral Cristo Rei



Figura 9. Molde de duas placas de aço 1045

Com o intuito de se obter uma maior confiabilidade na injeção e sanar eventuais problemas, realizou-se a simulação de todo o processo de injeção tendo o ABS como matéria prima no programa Solid Plastic.

O resultado obtido após a simulação quanto à facilidade ou dificuldade que a injetora terá para a realização do processo é representado pela Figura 10.

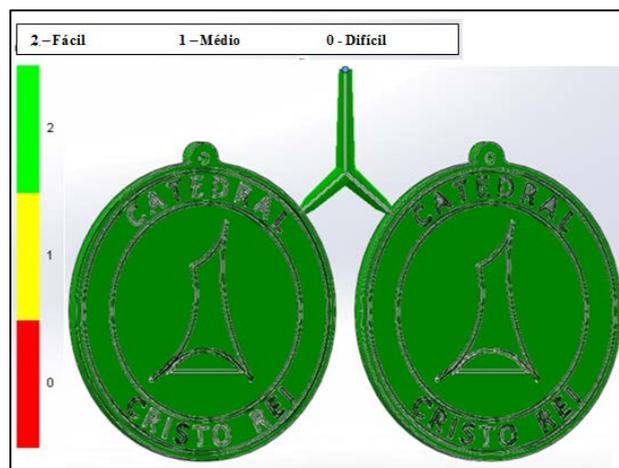


Figura 10. Simulação de injeção – Injeção do ABS

Nota-se que na injetora projetada e construída não ocorreu dificuldade na injeção do ABS a uma força máxima de injeção de 96,21 kgf. Assim, a capacidade da máquina atende aos requisitos de injeção desse produto.

A Figura 11 ilustra uma região com provável aparecimento de solda fria no produto.

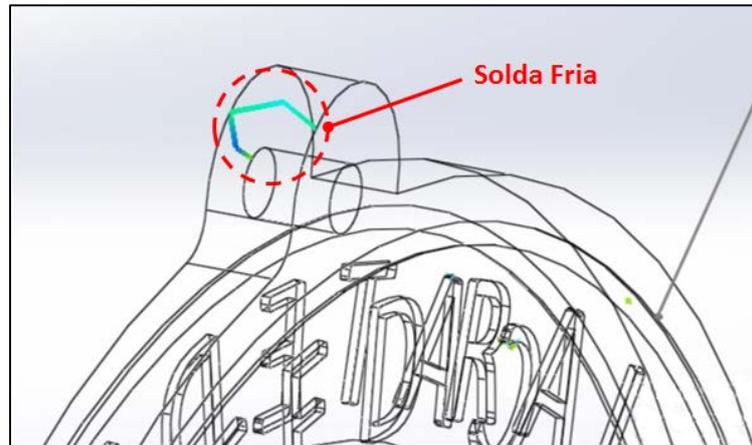


Figura 11 – Simulação de Injeção –Solda Fria

A solda fria é formada, de acordo com Manrich (2013), quando duas frentes de fluxo dentro da cavidade do molde se encontram, formando linhas de solda. Essas regiões podem influenciar negativamente na resistência da peça, pois microbolhas de ar poderão ficar aprisionadas na interface dessa linha de solda. Como o produto não estará sujeito a grandes solicitações, não se faz jus a elaboração de mais de um ponto de injeção para sanar esse problema.

A Figura 12 indica as tensões de cisalhamento no produto final após a injeção. O valor máximo encontrado foi de 7,39 Mpa. Essas tensões são provenientes da dificuldade do fluido em percorrer geometrias complexas ao longo do molde. Valores elevados de tensão cisalhante implica num aumento na pressão de injeção, e pequenas deformações que podem comprometer a resistência e estética do produto final. Nota-se que a peça apresenta uma taxa de cisalhamento baixa, não influenciando na pressão de injeção.



Figura 12 – Simulação de Injeção – Tensão de Cisalhamento no Final da Injeção

A Figura 13 mostra as temperaturas na peça acabada logo após o instante final do processo de injeção. A temperatura na extração do produto ficou em torno de 30°C.



Figura 13 – Simulação de Injeção – Temperatura no Final da Injeção

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do software para as análises estruturais e análise de fluidez da injeção realizadas neste projeto possibilitou além de uma maior assertividade na construção e funcionamento da máquina, um projeto elaborado em menor tempo e com baixo custo, permitindo mudar e adaptar o projeto às suas necessidades. Haja em vista que toda a sua idealização ocorreu dentro da própria interface software.

Durante a fabricação e funcionamento da máquina injetora didática pôde-se atestar a veracidade de muitas informações realizadas no software, principalmente no que diz respeito as análises estruturais de flambagem, deslocamento, deformação e tensão de Von Mises, que após a realização de inúmeros testes, não houve nenhuma avaria visual que interferisse em seu funcionamento.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por nos cercar de pessoas que apoiaram e incentivaram de forma direta ou indireta na realização deste projeto. Agradecimento especial a pro-infra na pessoa do professor Rômulo Albertini Rigueira e ao coordenador do curso Gilmar Cordeiro.

REFERENCES

AMARAL, C. Sistematização da Gestão do Conhecimento Técnico na Geração de Princípios de Solução na Fase de Reprojetado Conceitual de Produtos. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

HARADA, Júlio. **Moldes para Injeção de Termoplásticos:** projetos e princípios básicos. São Paulo: Artliber Editora, 2004, 308p.

MANRICH, Silvio. **Processamento de Termoplásticos:** rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes. 2. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2013, 485p

Mirlisenna, Giuseppe . **Métodos dos elementos finitos.** Disponível em: <<http://www.esss.com.br/blog/2016/01/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/>> Acesso em: 22 Junho de 2016.

SORIANO, Bruno Souza e RECH, Charles. **Simulação numérica com validação experimental do coeficiente de descarga em motor de combustão interna.** Disponível em:< <http://www.conferencias.ulbra.br/index.php/sic/xviii/paper/view/173/0>> Acesso em 24 de Junho de 2016.