

## PROJETO DE PROTÓTIPO DE MÁQUINA INJETORA MANUAL

*Jonathan Walter Motosima Amandio - jonathanmotosima.ifsc@gmail.br\**  
*Instituto Federal de Santa Catarina, Departamento Mecânica\*.*  
*Rua: Pavão, 1377 Costa e Silva\*.*  
*89220-618 - Joinville - Santa Catarina\**

*Emerson Luís de Oliveira - emerson.oliveira@ifsc.edu.br\**  
*Instituto federal de Santa Catarina, Departamento Mecânica\*.*  
*Rua: Pavão, 1377 Costa e Silva\*.*  
*89220-618 - Joinville - Santa Catarina\**

*Valter Vander de Oliveira - valterv@ifsc.edu.br\**  
*Instituto Federal de Santa Catarina, Departamento Mecânica\*.*  
*Rua: Pavão, 1377 Costa e Silva\*.*  
*89220-618 - Joinville - Santa Catarina\**

*Kelly Patrícia Dias - kelly@ifsc.edu.br\**  
*Instituto Federal de Santa Catarina, Departamento Mecânica\*.*  
*Rua: Pavão, 1377 Costa e Silva\*.*  
*89220-618 - Joinville - Santa Catarina\**

*Leonidas Cayo M. Gilapa - leonidas@ifsc.edu.br\**  
*Instituto federal de Santa Catarina, Departamento Mecânica\*.*  
*Rua: Pavão, 1377 Costa e Silva\*.*  
*89220-618 - Joinville - Santa Catarina\**

**Resumo:** Este artigo apresenta as etapas de desenvolvimento de um protótipo de injetora de plástico manual para produção em baixa escala de produtos até 30 gramas de polímero. Foram empregados os sistemas de Computer Aided Design (CAD), Computer Aided Manufacturing (CAM) e Computer Aided Engineering (CAE) e suas interfaces para abordagem da real integração entre esses sistemas também denominados por alguns autores como CAx. A evolução dos processos de manufatura e o crescente desenvolvimento de novos materiais permitiram as empresas, principalmente a indústria do plástico, aumentar a diversidade e a qualidade de seus produtos, reduzindo os tempos de produção. O computador e as tecnologias CAx tem um papel especial nesta mudança na indústria tornando-as mais competitivas. A educação em engenharia também acompanhou a mudança empregando os sistemas CAD, CAM e CAE na formação dos novos engenheiros, contudo a integração entre os sistemas dentro das escolas exige criatividade por parte dos docentes em virtude dos elevados custos envolvidos na produção. Diante deste contexto, o objetivo deste estudo foi analisar a integração das tecnologias CAD/CAM/CAE no projeto conceitual, projeto detalhado e etapas de fabricação da máquina injetora manual. Os resultados demonstraram que a integração entre as tecnologias CAx tem um papel importante nas etapas de projeto, reduzindo o retrabalho permitindo que os estudantes identifiquem erros comuns de projeto e de fabricação, em geral, ocasionados pela falta de conhecimento nos sistemas CAx.

**Palavras-chave:** Tecnologia CAx, processo de injeção, sistemas CAD/CAM/CAE.

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2018), estima-se que o faturamento da indústria do plástico em 2018 chegue à casa de 56 bilhões de reais. O crescimento do setor é um reflexo do consumo dos artefatos produzidos em plásticos utilizados em setores tais como, o alimentício, construção civil, utilidade doméstica, setor agrícola, calçados, eletroeletrônico e automobilístico. Estes artefatos são produzidos em larga escala por ferramentas denominadas moldes. No Brasil os três principais centros para produção e projeto de moldes são: São Paulo que reúne mil empresas e oito mil trabalhadores, Santa Catarina com 450 ferramentarias e 3600 empregados, e o Rio Grande do Sul com 380 ferramentarias e 3000 empregados. (DIHLMANN, 2009)

As inovações tecnológicas da microeletrônica e dos sistemas de informação transformaram os conceitos de produção, processos e sistemas na filosofia de trabalho da empresa e principal fator de competitividade mundial. Assim, através da adoção de avançados sistemas de informação e comunicação os computadores passaram a ter um papel de destaque na manufatura processando informações de diversas etapas do desenvolvimento da concepção à entrega do produto ao cliente.

O sistema de projeto assistido por computador (CAD), em geral o programa mais comum da tecnologia CAX aplicado nas indústrias, foi o sistema que mais se desenvolveu, apresentando interfaces entre outros sistemas e emuladores, tais como simulações de esforços em programas de engenharia assistida por computador (CAE), planejamento de processos assistidos por computador (CAPP) e a inspeção assistida por computador (CAI). Todos aplicados como sistemas dedicados realizando atividades específicas da engenharia. A integração entre todos os sistemas de suporte a engenharia, CAD/CAE/CAPP/CAM/CAI e as máquinas CNC constituem o sistema CAX. Apesar de todo o avanço tecnológico ainda nota-se a dificuldade em integrar esses sistemas que trabalham como ilhas de produção. Brousseau e Eldukhri (2009) elaboraram um cenário futuro para a indústria de manufatura projetando até 2020 os avanços tecnológicos e os principais desafios. Entre os desafios citados por Brousseau e Eldukhri destaca-se a importância da integração entre os sistemas CAD e CAM para uma manufatura inteligente, sustentável e reconfigurável.

A origem dos sistemas CAX surgiu na década de 50 com o projeto APT (*Automatically Programmed Tools*) no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). O APT foi desenvolvido para representar a forma geométrica de peças a serem usinadas com alta precisão em máquina de controle numérico. No início da década de 60, ocorreu um grande avanço na história do CAD, com o surgimento da prancheta eletrônica, conhecida como *Sketchpad*, desenvolvido por Ivan Sutherland em sua tese no MIT. O *Sketchpad* possibilitou a interação homem-máquina por meio da manipulação de objetos na tela gráfica utilizando uma caneta óptica que permitia agarrar objetos, movê-los e alterar suas dimensões (SUTHERLAND, 2003).

Espinoza e Schaeffer (2004) destacaram que antes do sistema CAE diversas características não podiam ser consideradas, as poucas alternativas de projeto eram analisadas e a utilização de altos coeficientes de segurança resultava em estruturas superdimensionadas. Com a aplicação do sistema CAE a simulação computacional de um modelo virtual no sistema CAD permitiu a avaliação de um maior número de variações do projeto, com custos e prazos menores, reduzindo a necessidade de construção de protótipos físicos.

## 2 METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia empregada buscou analisar a integração entre as tecnologias CAX durante a execução do projeto de uma máquina injetora de plástico em um sistema CAD

(projeto assistido por computador) a partir do modelo virtual realizar avaliação cinemática, análise estrutural no sistema CAE (engenharia assistida por computador) e o processo de fabricação em máquinas CNC (comando numérico computadorizado) via sistema CAM (manufatura assistida por computador).

### **2.1 Projeto e Modelamento Virtual da injetora**

O projeto da injetora foi idealizado junto ao Grupo de Estudo dos processos de Fabricação de Moldes, matrizes e Caracterização dos materiais (GEFAMAC) que estabeleceu alguns requisitos de projeto, tais como a portabilidade da máquina injetora, a capacidade de injeção e o baixo custo de produção. Assim foram desenvolvidos alguns conceitos através de esboços a mão livre e discutido sua viabilidade junto ao GEFAMAC. A proposta vencedora foi empregada para desenvolver o modelo virtual no sistema CAD 3D. A injetora foi projetada na posição vertical para uso nas aulas de processamento de polímeros e sua capacidade de injeção de produtos limitada até 30 gramas de Poliestireno (Ps).

Os fatores que levaram a escolha do material do equipamento foram: menor peso final do equipamento, a condutividade térmica, a manutenção do equipamento e o baixo custo de produção. As placas de base foram definidas em alumínio, as buchas guias e o embolo de injeção em latão, a coluna guia, cremalheira e engrenagens em aço evitando o desgaste prematuro devido regime de trabalho.

### **2.2 Simulação CAE**

Para efetuar a validação do projeto proposto evidenciando uma condição real de trabalho antes de fabricar os componentes, utilizou-se do recurso da Engenharia assistida por computador (CAE). A partir modelo virtual e a montagem dos componentes individuais foram simuladas as colisões, as tolerâncias geométricas de funcionamento na montagem dos componentes, os materiais aplicados e o peso do conjunto. Nessa etapa pequenos ajustes foram necessários para etapa de fabricação dos componentes.

### **2.3 Projeto Detalhado e Desenhos para Fabricação**

O projeto detalhado é a última etapa no desenvolvimento do produto, os documentos construídos no CAD em duas dimensões (2D) foram necessários para a fabricação dos componentes, principalmente os produzidos em máquinas convencionais. Neste documento informações tais como as tolerâncias de ajuste conforme norma NBR 6158 e a qualidade das superfícies são identificadas para garantir o funcionamento do equipamento.

## 2.4 Simulação CAM

No sistema CAM buscou-se analisar a importação do modelo virtual para o ambiente de fabricação. O reconhecimento de recurso automáticos de estratégias de usinagem reconhecimento de operação booleanas para programação automática e posicionamento da origem plano de trabalho para execução da programação foram algumas das etapas necessárias para gerar os códigos de linguagem para a usinagem na máquina CNC.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Modelo Virtual da Máquina Injetora

Os resultados do modelamento virtual tridimensional da máquina são apresentados na figura 1 em duas alternativas de projeto. A imagem da esquerda, figura 1 (a), apresenta o primeiro conceito de construção desenvolvido. Seu funcionamento mecânico como princípio uma coluna guia com retorno por mola, à bucha de injeção acumula o polímero aquecido por uma resistência elétrica e empurrado por alavanca para a cavidade do molde de injeção. A troca do molde é feita manualmente.

Na figura 1 (b) ilustra-se o segundo conceito. Nessa alternativa o funcionamento mecânico apresenta duas colunas guias e o acionamento do canhão ocorre através da placa flutuante movimentada por cremalheira. A troca do molde é realizada manualmente por dois fusos.

As duas propostas foram apresentadas ao grupo GEFAMAC. Nesta reunião foram analisados os requisitos de fabricação, a complexidade das peças e comunicação de dados entre as tecnologias CAx. Nesse encontro foi escolhida a proposta apresentada na figura 1 (b).

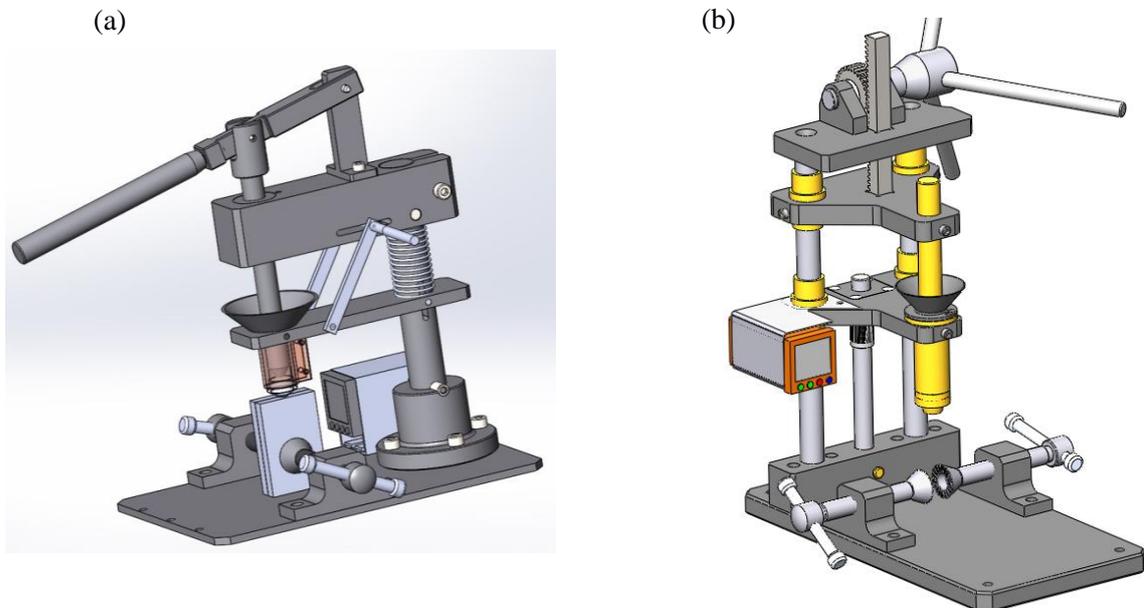


Figura 1 - Dois conceitos de máquina injetora modelados no CAD. Fonte: Autores.

Na montagem dos modelos virtuais foi executada a análise de interferência entre os componentes ajustes de folga de 0,02mm. O sistema CAD apresentou erros geométricos de até 0,05mm na montagem dos componentes da máquina.

Os resultados demonstraram que há interferência nos acoplamentos móveis, o sistema identificou de forma automática conforme ilustra na figura 2. Ainda assim vale destacar que cabe ao projetista decidir o tipo de ajuste necessário podendo ser livre, rotativo ou deslizante. O sistema assumiu a tolerância atribuída no projeto, porém, o modelo virtual não subtraiu de forma automática a tolerância atribuída no modelo virtual. Assim a resposta do sistema demonstrou existir interferência entre os componentes conforme mostra na figura 2 (b) na área destacada na cor vermelha. Como resultado da análise de interferência concluiu-se que entre componentes na montagem não foram encontrados erros de projeto.

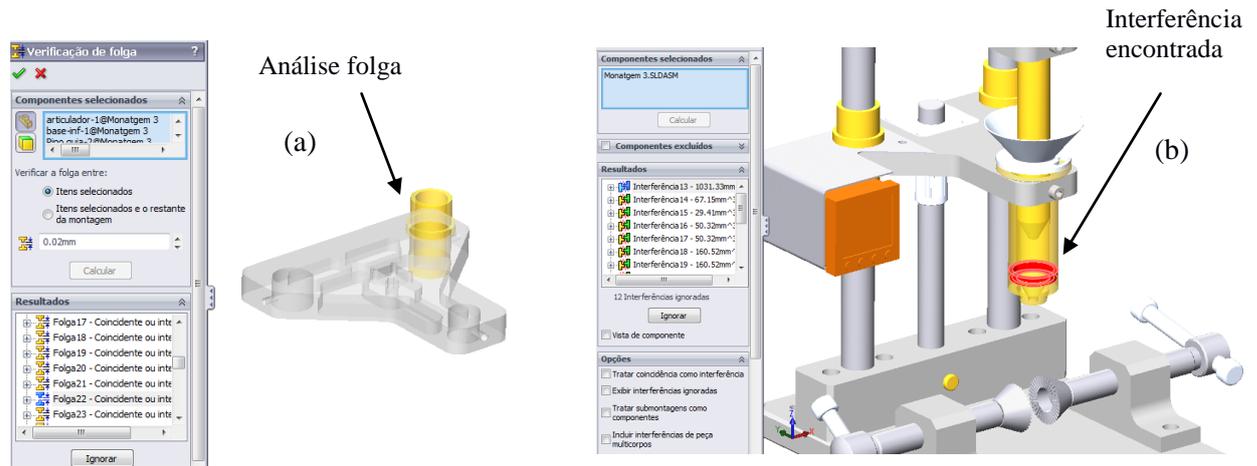


Figura 2 - Análise de interferência e verificação de folga na montagem dos componentes. Fonte: Autores

Para realizar a análise dos esforços aplicados ao modelo virtual no sistema CAE foi necessário o preenchimento de algumas informações podendo citar: a definição dos materiais dos componentes, a criação da malha e a carga aplicada. A figura 3 ilustra o preenchimento das informações relativas aos materiais e o fator de segurança aplicados no ambiente CAE.

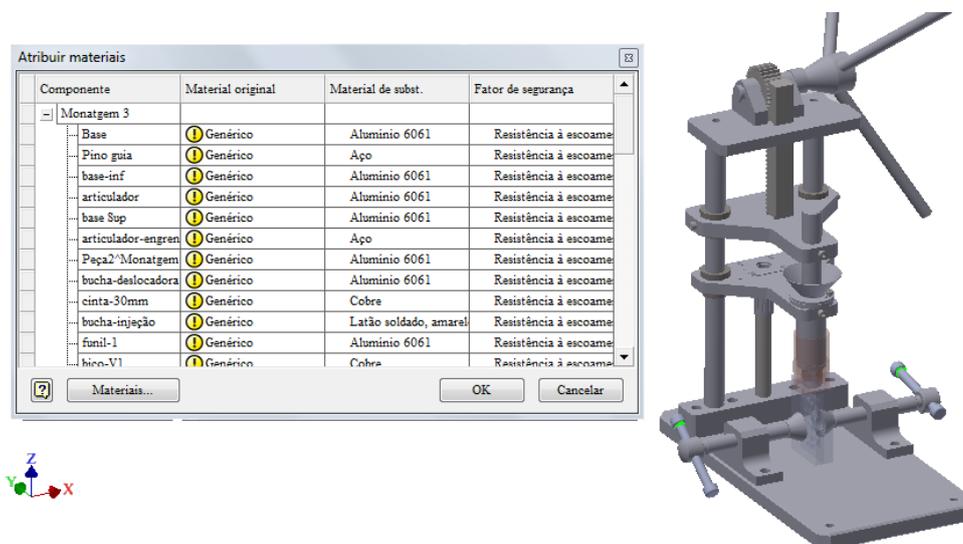


Figura 3 - Edição lista de materiais simulação CAE. Fonte: Autores

### 3.2 Resultados da simulação injeção CAE

Após a definição dos materiais na figura 4(a) pode-se observar os resultados da criação da malha no modelo virtual. O sistema construiu pequenos triângulos com tamanho médio de 0,2mm resultando em 255.646 nós para realizar a análise estrutural. Foi executada a simulação aplicando uma carga de 1.000N na placa flutuante e a simulação virtual demonstrou que a carga aplicada resultaria em uma deformação de 0,06mm em alguns componentes do equipamento ilustrando pelos gradientes de cores conforme apresentado na figura 4(b).

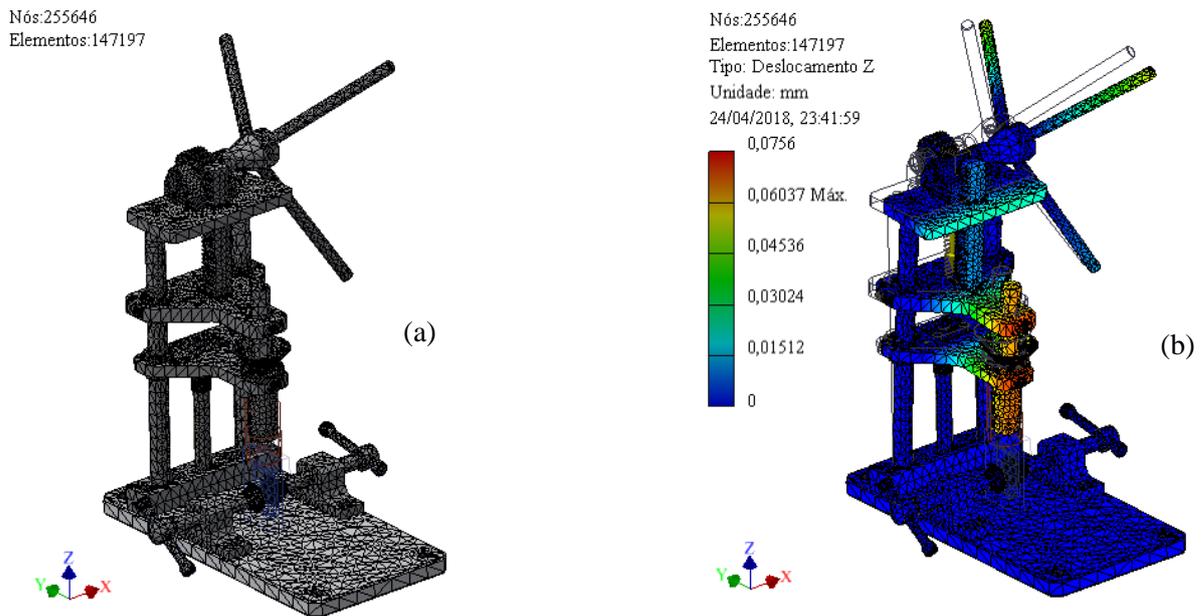


Figura 4 - Simulação de carga no sistema CAE com deslocamento no eixo Z. Fonte: Autores

### 3.3 Simulação CAM

Para executar a programação em sistema CAM foi necessária a importação do modelo virtual tridimensional para o ambiente de manufatura. A integração entre os sistemas CAD/CAM é necessária, caso o sistema CAM não reconheça o modelo virtual pode-se empregar arquivos neutros tais como, o *IGES (Initial Graphics Exchange Specification)* ou o *STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data)*.

Os sistemas CAD e CAM aplicados nesse estudo apresentaram uma integração direta entre os sistemas, mesmo sendo estes de diferentes fornecedores. Esta integração proporcionou certa facilidade de trabalho. Desde a escolha do material a ser usinado, buscando informações de dados de corte facilitando o preenchimento dos avanços da mesa e cálculo de rotação da ferramenta de forma automática, a mudança da origem ou plano de trabalho da peça.

Também foi testada a hipótese de que os sistemas CAD e CAM não apresentassem integração direta sendo necessário converter o modelo virtual com arquivos neutros *IGES* ou *STEP*. Na simulação com arquivos *IGES* percebeu-se que o sistema CAM não reconheceu o material e também não identificou de forma automática a origem e o plano de trabalho, tornando a programação mais trabalhosa. O modelo gerado pela interface *STEP* reconheceu

essas características do modelo virtual assim como na integração direta do sistema CAD/CAM.

### 3.4 Montagem do Protótipo Físico da Máquina Injetora

Nesta etapa, foram realizados ajustes e trabalhos manuais nos componentes usados podendo citar as operações de corte de roscas, acabamento dos cantos vivos deixados no processo de usinagem. Também foi realizada a análise dimensional e geométrica dos componentes conforme os valores atribuídos em projeto. Na figura 5 ilustra a injetora montada e o molde de injeção fabricado para teste funcional do equipamento.

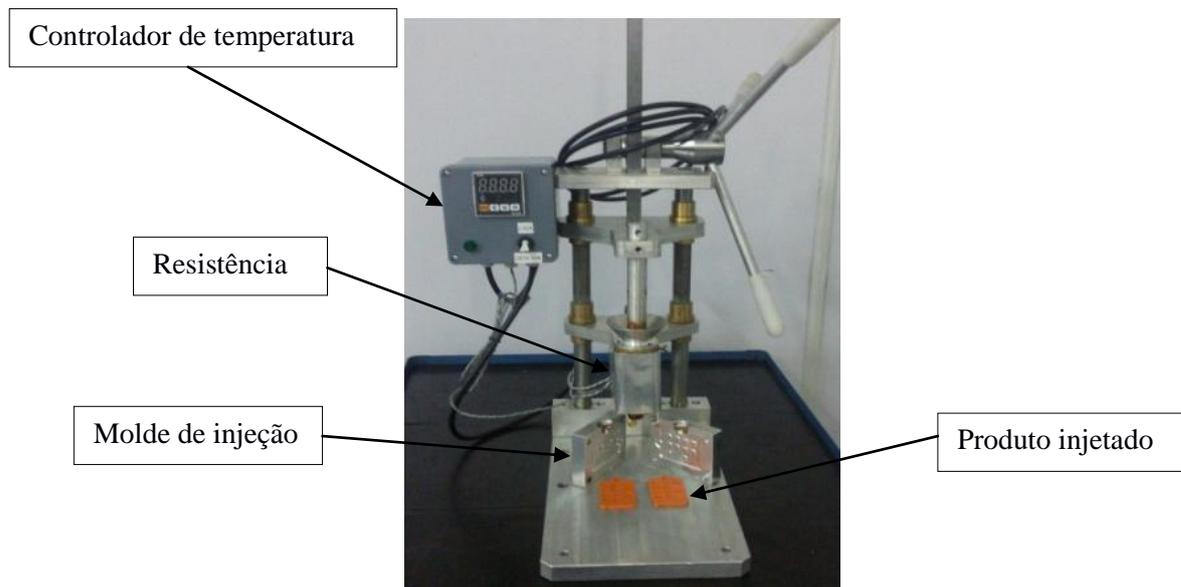


Figura 5 - Protótipo físico da máquina injetora. Fonte: Autores

### 3.5 Teste Funcional do Equipamento

A fim de verificar o funcionamento do equipamento realizamos no laboratório de usinagem do IFSC-Campus Joinville, testes práticos de injeção utilizando o polímero Polipropileno (PP H105). Esse material possui como características de trabalho a temperatura de amolecimento Vicat de 155°C e a densidade 0,90 g/cm<sup>3</sup>. O molde de injeção em alumínio foi produzido no centro de usinagem SKYBULL 600. Para descobrir os parâmetros adequados para a injeção, trabalhou-se com duas variáveis, a temperatura de amolecimento e o tempo de resiliência do material na bucha de injeção. As temperaturas foram escalonadas partindo da temperatura de amolecimento Vicat apresentada pelo fornecedor do material em 10°C podendo citar: (165°C-175°C-185°C) o tempo de permanência do polímero no canhão foi de 6 minutos. Os resultados são apresentados na figura 6.

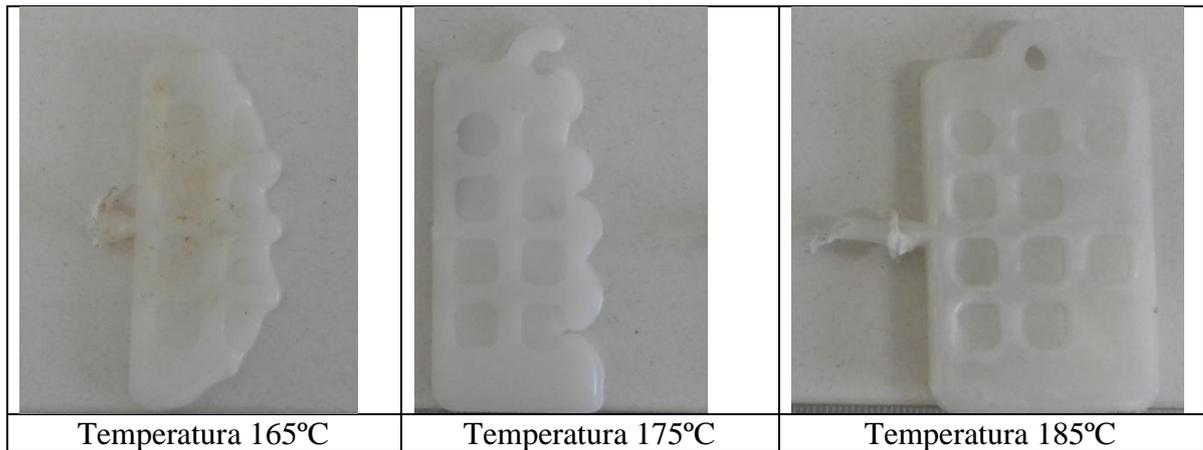


Figura 6 - Produtos obtidos pela injeção nas três temperaturas testadas. Fonte: Autores

Na figura 6 podem-se observar os resultados dos testes preliminares de injeção. As imagens mostram que na temperatura de 165 °C e 175 °C o preenchimento da cavidade é parcial, à medida que se aumenta a temperatura de injeção, o polímero consegue um maior preenchimento da cavidade e somente na temperatura de 185°C o preenchimento é total do produto.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da tecnologia CAx mostrou-se importante para a produção do protótipo da injetora de polímeros. As ferramentas aplicadas nesse estudo são importantes no meio industrial e também no processo de ensino aprendizagem dos novos engenheiros para elaboração de projetos complexos de forma mais eficiente, antecipando melhorias mesmo antes da fabricação do produto manufaturado. A integração entre estas tecnologias mostrou-se ser de suma importância para o desenvolvimento do projeto, a falta desta integração pode ocasionar problemas e retrabalhos.

Os sistemas CAD evoluíram muito, contudo podem ainda melhorar o quesito referente a aplicação das tolerâncias de ajuste e folgas nos modelos virtuais nos quais o projetista ainda precisa realizar ajustes de forma manual, considerando a experiência do mesmo.

#### AGRADECIMENTOS

A dedicação e empenho dos alunos bolsistas envolvidos, assim como do técnico de laboratório Ludgério Pereira Neto e dos professores do grupo de pesquisa GEFAMAC.

Ao Instituto Federal de Santa Catarina campus Joinville que destinou auxílio financeiro, aprovado no Edital Universal 02/2017.

#### REFERÊNCIAS

ABIPLAST, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. **Perfil da indústria brasileira de transformação de material plástico** - perfil 2014. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br>. Acesso em: abril. 2018.

BROUSSEAU, Emmanuel e ELDUKHRI, Eldaw. **Recent advances on key technologies for innovative manufacturing.** Journal Intelligent Manufacturing, (2009). DOI 10.1007/s10845-009-0328-0.

DIHLMANN, C. **Joinville reforça o seu mercado ferramenteiro.** Revista Plástico Moderno ,pg 60-63. 2009.

ESPINOZA, Marcos e SCHAEFFER, Lírio. Uso do CAD/CAE/CAM na produção de matrizes para os processos novos de conformação mecânica. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG. Vol. 7, N.º 14, 84-91 (2004) Universidad Nacional Mayor de San Marcos

SUTHERLAND I. E. Sketchpad: **A man-machine graphical communication system. Technical report.** University of Cambridge, 2003.

## MANUAL INJECTION MACHINE PROTOTYPE PROJECT

**Abstract:** *This paper presents the development of a small-scale manual injection molding machine prototype design to inject products up to 30 grams of polymer (PS) and its manufacturing steps using Computer Aided Design (CAD) computer Aided Manufacturing (CAM) and Computer Aided Engineering (CAE). The evolution of the manufacturing process and the increasing development of new materials allowed companies to increase the diversity and quality of their products, reducing production times. Computer and CAx technologies play a special role in this change in the industry by making them more competitive. In this context, the general objective of this work will be to analyze the integration of CAD / CAM / CAE technologies into the conceptual design, detailed design and manufacturing steps of the manual injection molding machine. The results demonstrate that the integration between CAx technologies is important in the design stages, reducing rework avoiding errors due to manual work caused by lack of integration between CAx systems.*

**Keywords:** *CAx technology, injection process, CAD / CAM / CAE technologies.*