

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**SISTEMA COMPUTACIONAL DE APOIO AO PROJETO
DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS, VIA
INTERNET**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA
MECÂNICA

RICARDO ROGÉRIO DE SANTANA

Florianópolis – SC
Março de 2001

SISTEMA COMPUTACIONAL DE APOIO AO PROJETO DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS, VIA INTERNET

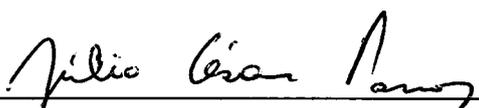
RICARDO ROGÉRIO DE SANTANA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA E APROVADA EM SUA
FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. Carlos Henrique Ahrens, Dr. Eng. - ORIENTADOR

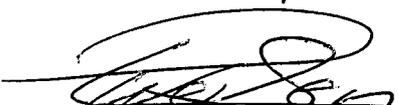


Prof. Júlio César Passos, Ph.D.
COORDENADOR DO CURSO

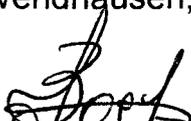
BANCA EXAMINADORA



Prof. Áureo Campos Ferreira, Ph.D.



Prof. Paulo Wendhausen, Dr. Ing.



Prof. Lourival Boehs, Dr. Eng.

“Não comparei a ela a pedra preciosa, porque todo o ouro ao lado dela é apenas um pouco de areia, e porque a prata diante dela será tida como lama.”

Sabedoria 7, 9

A minha esposa Claudia, que a cada dia mais me orgulha e
ao nosso filho Rafael no seu ventre.

Ao meu pai Wilson e a minha mãe Ivani, pessoas que
admiro e cuja sabedoria me ensinam a pescar.

Aos meus queridos irmãos Paulo Henrique e Érika.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, obrigado, nessas limitadas palavras.

A minha esposa Claudia pelo encorajamento, carinho, amor; pela paciência, ajuda e capacidade de ouvir ao longo deste trabalho, principalmente na sua finalização.

Aos meus pais Wilson e Ivani, pela vida, educação e pelo estudo proporcionado.

Ao longo deste trabalho, pela cobrança e ajuda, pelo amor, e, por mostrar o mar ao longe, quando no horizonte o céu se confundia com as águas.

Ao Caíco, pela orientação, amizade e pelo apoio ao longo do tempo. Agradeço pela oportunidade de trabalhar no CIMJECT e da formação no mundo dos plásticos.

Aos professores da banca examinadora, pela análise e sugestões feitas a este trabalho.

Ao Vinícius, Clênio e Daniel, pela ajuda na realização deste trabalho e sobretudo pela amizade.

Aos colegas do laboratório pelo ambiente de trabalho, pelas festas, pela convivência e luta para vencer desafios.

Aos engenheiros Osmar Brandes e Renato Pamplona da empresa Müeller Eletrodomésticos, pela doação de materiais plásticos.

Aos Senhores Nazareno e Miguel da empresa Termotec, pela doação de compostos plásticos.

Ao Sr. Ricardo Alemar da Ipiranga Petroquímica e aos Srs. Luís Sette e Portela da Ipiranga Comercial, pelo material doado e pronto atendimento.

Ao Sr. Célio Conceição da Rhodia Ster, pela doação de material.

Ao Sr. Mauro Cooler da SPP Nemo, pela atenção.

Ao Prof. Forcellini da EMC/UFSC, pela amizade e ajuda prestada, ao longo deste trabalho.

Ao Professor Maliska da EMC/UFSC, por esclarecimento durante o desenvolvimento do software.

Ao Sr. Arnaldo Matos e demais colegas da empresa Moldes Matos/Portugal, pela acolhida, amizade e, em especial, ajuda nos primeiros passos no mundo dos ferramentais de injeção.

Aos Professores Pousada e Antonio Britto da Universidade do Minho/Portugal, pela acolhida e ajuda para realização deste trabalho.

Aos professores, outrora colegas de laboratório, Andrei Cavalheiro, Fernando Peixoto e Diovani Lencina do Cefet/RS - UNED de Sapucaia do Sul, pelo incentivo e apoio ao longo desta jornada.

Aos Professores Adriano e Rubens do CTMa/ETT de Joinville, pela ajuda prestada e doação de materiais.

Ao colega Gilberto Baksa Júnior da empresa Sandretto/Brasil, pela ajuda e apoio, quando surgiram as primeiras idéias sobre este sistema.

Às outras pessoas, aqui anônimas, que contribuíram para este trabalho de forma direta ou indireta.

Ao departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, pelo apoio na realização deste trabalho e pela minha formação acadêmica.

Ao CNPq, pelo suporte financeiro, ao longo deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XII
LISTA DE ABREVIATURAS	XIII
RESUMO.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVAS E OBJETIVO	1
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	2
CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETO DE COMPONENTES INJETADOS.....	4
2.1 – ÁREAS DE CONHECIMENTO ENVOLVIDAS.....	4
2.2 – PRINCIPAIS ABORDAGENS PARA O DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES INJETADOS.....	6
2.2.1 – Engenharia Seqüencial.....	6
2.2.2 – Engenharia Simultânea.....	8
CONSIDERAÇÕES SOBRE SISTEMAS COMPUTACIONAIS DE APOIO AO PROJETO DE COMPONENTES INJETADOS.....	11
3.1 - GENERALIDADES	11
3.2 – CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS COMPUTACIONAIS SELECIONADOS	12
3.3 – CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS COMPUTACIONAIS ANALISADOS.....	24
MODELO DE SISTEMA INTEGRADO BASEADO NA INTERNET	29
4.1 – CRÍTICA AOS SISTEMAS ANALISADOS	29
4.2 – O SISTEMA PROPOSTO	30
4.3 – DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO BASEADO NO SISTEMA PROPOSTO	33
4.3.1- Considerações gerais	33
4.3.2 – Ferramentas Implementadas	35

4.3.3 – Interface de Entrada	36
4.3.4 – Recursos oferecidos	37
4.3.5 – Bases de Dados.....	41
4.3.6 – Entrada de Dados e Cálculos Realizados no Protótipo	46
4.3.7 – Limitações do protótipo.....	54
EXEMPLOS DE APLICAÇÕES	55
5.1 EXEMPLO I – DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CAVIDADES DE UM MOLDE DE	
INJEÇÃO	55
5.2 EXEMPLO II – SELEÇÃO DE MÁQUINAS INJETORAS	60
5.3 EXEMPLO III – ESTUDO COMPLETO	63
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	72
6.1 – CONCLUSÕES	72
6.2 – RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXO.....	80

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Aspectos multi e interdisciplinares de informações no projeto de componentes de plástico injetados ([5] adaptado pelo autor)	6
FIGURA 02 – “Engenharia Seqüencial” aplicada no projeto de produto [4].	7
FIGURA 03 – Abordagem de engenharia simultânea para o processo de desenvolvimento de componentes de plásticos injetados [4].	9
FIGURA 04 – Tela do sistema Dupont Camdo, mostrando tempos do ciclo de injeção.	14
FIGURA 05 – Tela do sistema Cost Estimator.....	15
FIGURA 06 – Tela de entrada de dados do sistema Ticona Material Selector	17
FIGURA 07 – Dados de saída do sistema Ticona Material Selector	17
FIGURA 08 – Tela de entrada do sistema GE Plastics Design Tools.	18
FIGURA 09 – Tela de entrada de dados da ferramenta Flow Calculator	20
FIGURA 10 – Tela que apresenta os resultados do estudo ao usuário.	21
FIGURA 11 – Tela de interação com o usuário	23
FIGURA 12 – Modelo simplificado da peça real	35
FIGURA 13 - Interface de entrada do sistema INJNET.	37
FIGURA 14 - Recurso do sistema que possibilita escolher o Tipo de Estudo a ser realizado pelo usuário.....	40
FIGURA 15 - Exemplo da seqüência com que os botões de chamada das entradas de dados são habilitados no software	40
FIGURA 16 - Interface da base de dados de materiais plásticos.....	42
FIGURA 17 - Interface da base de dados de máquinas injetoras	45
FIGURA 18 – Tela do banco de dados de defeitos de injeção.....	46

FIGURA 19 - Interface de entrada de dados de características do componente injetado.....	47
FIGURA 20 - Interface da ferramenta de auxílio ao cálculo de área projetada	48
FIGURA 21 - Interface de características do processo.....	49
FIGURA 22 - Interface de entrada de dados de características do molde	50
FIGURA 23 - Interface de dados referentes à produção desejada	51
FIGURA 24 – Tela de entrada de dados contendo informações relativas ao custo hora/funcionário.....	52
FIGURA 25 - Tela de entrada de dados contendo informações relativas ao custo hora/máquina.....	52
FIGURA 26 - Tela de entrada de dados contendo informações relativas ao custo do processo.....	53
FIGURA 27 – Tela de entrada de dados contendo informações relativas ao custo da matéria prima.....	53
FIGURA 28 – Geometria do componente em estudo.....	57
FIGURA 29 –Tela da base de dados com a máquina injetora selecionada.	59
FIGURA 30 – Tela de resultados do exemplo I.....	60
FIGURA 32 – Tela de resultados do estudo	63
FIGURA 33 – Geometria do componente em estudo.....	64
FIGURA 34 – Entrada de dados da geometria e o peso do componente	64
FIGURA 35 – Características do processo, dados de entrada.....	65
FIGURA 36 – Máquina injetora selecionada para o exemplo III.....	66
FIGURA 37 – Entrada de dados relativos à produção desejada.....	67
FIGURA 38 – Planilha de cálculo do custo hora/funcionário para o exemplo III.....	68
FIGURA 39 – Dados de entrada da planilha custo hora/máquina.....	69

FIGURA 40 – Planilha de cálculo custo do processo, para o exemplo III.	69
FIGURA 41 – Cálculo do custo da matéria prima.	70
FIGURA 42 – Tela de resultados do exemplo III.....	71

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Sistemas computacionais selecionados para análise	12
TABELA 02 - Classificação segundo o meio de utilização dos sistemas.....	25
TABELA 03 - Classificação do conteúdo dos sistemas segundo informações relativas as quatro áreas de conhecimento relacionadas ao projeto	26
TABELA 04 – Classificação do conteúdo dos sistemas segundo meios de disponibilização das informações.	28
TABELA 05 – O sistema proposto	32
TABELA 06 – Ferramentas implementadas no protótipo do sistema proposto.....	36
TABELA 07 – Dados de entrada do sistema.....	58
TABELA 08 – Características geométricas do componente.....	62
TABELA 09 – Características do componente, dados de entrada no sistema.....	65
TABELA 10 – Resumo dos dados de custos considerados no exemplo III	70

RESUMO

Dentre os processos de transformação de plásticos, a moldagem por injeção é um dos mais empregados. Esta área se caracteriza pela multi e interdisciplinariedade de informações no projetos de componentes. Para agilizar esta atividade, é necessária a integração e sistematização das informações relacionadas ao projeto. Dentro deste panorama, existem sistemas comerciais que visam auxiliar a atividade de projeto, muitos dos quais o fazem, contudo de forma segmentada utilizando conceitos de engenharia seqüencial. Ainda neste contexto, sistemas computacionais baseados na Internet começam a se difundir e estar disponíveis. Neste contexto, este trabalho propõe um modelo de sistema integrado de apoio ao projeto de componentes injetados via Internet, relacionando as áreas de material plástico, processo de injeção, moldes de injeção e custos. Tendo por base o modelo proposto, foram implementadas ferramentas orientadoras ao projeto, em um sistema protótipo, denominado INJNET, desenvolvido na linguagem de programação JAVA. O protótipo encontra-se disponível na Internet, possuindo base de dados de materiais plásticos, máquinas injetoras e defeitos de injeção.

ABSTRACT

Among the plastic hashing processes, the injection molding is the most used. This area is characterized for multi and interdisciplinarity information of component's designs. To make this activity more easy, it's necessary provide the integration and systematization of all the information related to the design concepts. Considering this panorama some commercial systems focus on the design activity, many of which make it in a segmental way, using sequential engineering concepts. Still in this context, computational systems based on the internet start to spread on the market and to be available. Which this context, this work considers an integrated system to perform the design of injected components by internet, taking care of plastic materials, processes, injection sets and costs. Considering this model a base, some design orientating tools are being implemented, in a "prototyping" system, named "INJNET" using Java language. This work is available on the internet also with some data about plastics materials, injection machines specifications and some defects table.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Justificativas e Objetivo

O setor de produção e transformação de plásticos está tendo, mundialmente, um crescimento muito expressivo, haja vista, por exemplo, a quantidade de material plástico incorporado aos automóveis atualmente produzidos. Dentre os processos de transformação, a moldagem por injeção é um dos mais importantes e empregados pela indústria de plásticos, tanto pela variedade de aplicações quanto pela escala de produção [1]. Entretanto, para que as peças injetadas atendam às especificações de projeto adequadamente e apresentem a qualidade desejada para sua aplicação, no seu processo de desenvolvimento, é necessário tomar inúmeras decisões que envolvem diferentes áreas do conhecimento, as quais se relacionam entre si.

Em função do mercado exigir produtos com ciclo de vida cada vez mais reduzidos, menores são os tempos de seu desenvolvimento [2]. Tal situação requer maior agilidade na tomada de decisões, durante as fases de projeto.

Neste contexto, as informações necessárias ao projeto, provenientes normalmente de muitas fontes diferentes, se acessadas de forma rápida, podem ser uma alternativa eficiente de agilizar tal processo [3].

Em linhas gerais, decisões que necessitam ser tomadas rapidamente no projeto de uma peça de plástico, tais como relativas ao custo da peça, à estimativa do ciclo de injeção, à seleção da máquina injetora dentre as

estimativa do ciclo de injeção, à seleção da máquina injetora dentre as disponíveis e ao tempo necessário para a fabricação do lote, são fundamentais para o sucesso do projeto.

Com base no exposto, este trabalho tem por objetivo desenvolver um protótipo de um sistema computacional para Internet, voltado a auxiliar na tomada de decisões relativas ao projeto de componentes de plástico injetados.

O sistema deverá se constituir em um conjunto de informações, que integrem conhecimentos das áreas multi e interdisciplinares envolvidas no projeto de componentes injetados, capaz de fornecer um conjunto de orientações normalmente necessárias durante o desenvolvimento de projetos em ambiente de engenharia simultânea.

1.2 Estrutura do Trabalho

Visando facilitar o entendimento do trabalho, o mesmo foi dividido em sete capítulos. O **primeiro capítulo** descreve o contexto e as motivações para a realização deste trabalho.

No **segundo capítulo**, é feita uma revisão bibliográfica sucinta de assuntos relacionados ao tema do trabalho como: o projeto, as fases do projeto e abordagens para o desenvolvimento de componentes injetados. Estas informações visam servir de subsídio teórico para o tema em estudo.

No **terceiro capítulo**, discute-se sobre o tema principal do trabalho que se refere a fontes de informações de apoio a projetos de componentes de plástico

injetado, especificamente de sistemas computacionais, através de análises e classificações.

No **quarto capítulo**, com base nas classificações dos sistemas descritos no capítulo anterior, é feita uma análise crítica, tendo como consequência à proposição de um sistema como fonte e contendo meios de disponibilização de informações. Neste capítulo também é abordado o desenvolvimento de um protótipo para utilização via Internet com base no sistema proposto, abordando considerações feitas no seu desenvolvimento, bem como suas limitações e uma breve descrição das interfaces do sistema.

No **quinto capítulo** são apresentados exemplos, demonstrando a utilização do protótipo.

Por fim, são apresentadas as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros no **sexto capítulo**.

CAPÍTULO 2

CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETO DE COMPONENTES INJETADOS

2.1 – Áreas de conhecimento envolvidas

A literatura especializada apresenta diferentes enfoques para estabelecer as fases, ou etapas, do desenvolvimento de componentes de plásticos injetados [4, 5, 6]. Segundo BACK & FORCELINI [7], há diferentes etapas neste processo, que são bem determinadas e possuem informações características. Em se tratando da fase de projeto, conforme Pahl & Beitz apud BACK & FORCELINI [7], as etapas do processo de projeto são: definição da tarefa, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado.

Aplicado ao domínio de componentes de plásticos injetados, MALLOY [4] sugere as seguintes fases:

- Definição dos requisitos do usuário final;
- Criação do conceito preliminar do componente;
- Seleção inicial de materiais;
- Projeto do componente de acordo com as propriedades do material;
- Seleção final de materiais;
- Modificação do projeto para a fabricação;
- Prototipagem;

- Desenvolvimento do ferramental;
- Produção.

Independente de qual seja o enfoque a ser considerado, é possível constatar que as fases de desenvolvimento mostram que há basicamente quatro diferentes áreas de conhecimento envolvidas, quais sejam: projeto do produto; material plástico; projeto e fabricação do ferramental ou molde de injeção; e processo de injeção ou produção do componente.

Conforme OGLIARI [8], *"o desenvolvimento de produtos de plásticos é sensível à multidisciplinariedade e integração do conhecimento envolvendo considerações de vários processos, tais como o projeto funcional, geométrico e da forma; a seleção de materiais, o projeto e construção de molde e o processamento do material plástico. Isto implica na necessidade do envolvimento de vários especialistas ou de suas experiências."* Adicionalmente a estas quatro áreas, a experiência tem mostrado que conhecimentos relativos a custos, podem influir significativamente no desenvolvimento de produtos.

Assim, com base no exposto e considerando que os requisitos de projeto já estejam determinados, são cinco as áreas de conhecimentos que precisam trocar informações para desenvolver componentes de plástico injetados (figura 1).

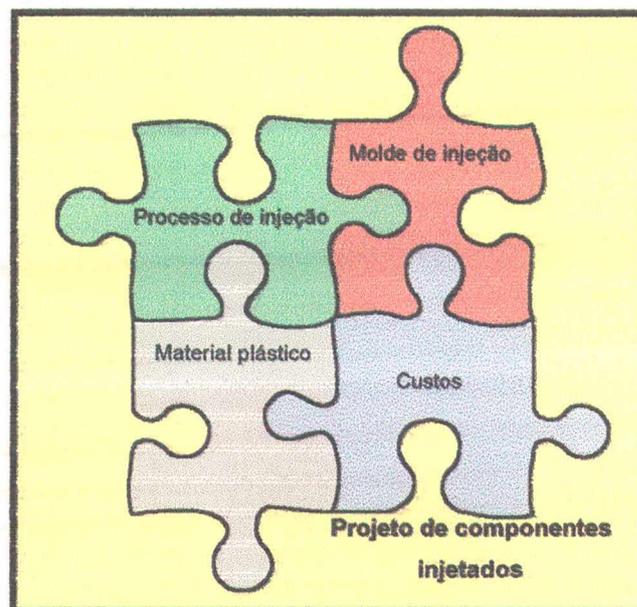


FIGURA 01 – Aspectos multi e interdisciplinares de informações no projeto de componentes de plástico injetados ([5] adaptado pelo autor)

2.2 – Principais Abordagens para o Desenvolvimento de Componentes Injetados

O desenvolvimento de produtos pode ser tratado sob diferentes abordagens [8].

Sob o enfoque do fluxo de informações, entre as diferentes fases do desenvolvimento, no que se refere a produtos de plásticos injetados, destacam-se a Engenharia Seqüencial e a Engenharia Simultânea.

2.2.1 – Engenharia Seqüencial

Historicamente, o desenvolvimento de novos componentes e produtos de plásticos injetados ocorre de forma seqüencial.

Para MALLOY [4], neste processo de trabalho, as diferentes fases do desenvolvimento do projeto são executadas seqüencial e independentemente, por diferentes departamentos da empresa. Os grupos responsáveis de cada departamento trocam poucas ou nenhuma informação durante o seu desenvolvimento, apenas na conclusão da fase em questão, conforme pode ser observado na figura 02.



FIGURA 02 – “Engenharia Seqüencial” aplicada no projeto de produto [4].

O autor exemplifica esta metodologia considerando o caso de um projeto de gabinete para computador. O projetista industrial especifica a aparência externa do componente, mas a determinação das espessuras e números de reforços, para suportar cargas, é feito pela engenharia do produto. Esta realiza as análises teóricas e testes de protótipos.

Quando a engenharia do produto conclui esta fase, passa o projeto para a ferramentaria, que fica responsável pelo projeto e fabricação do molde de injeção. Entretanto, é possível que, nesta fase, alterações do projeto do componente sejam feitas para viabilizar a ferramenta. As alterações de projeto necessitam ser aprovadas pela engenharia do produto, podendo ser um processo demorado. Eventualmente, o reprojeito do produto ocorre na fase de fabricação.

Como conseqüências dessa situação, o trabalho no desenvolvimento do projeto torna-se maior, os resultados alcançados não são otimizados, maiores custos e tempos de desenvolvimento são necessários.

2.2.2 – Engenharia Simultânea

Segundo SMITH *apud* OGLIARI [8], a engenharia simultânea é uma filosofia de cooperação multifuncional no projeto de engenharia. Sob esta ótica, os princípios básicos são:

- Aspectos críticos do projeto do produto e da fabricação necessariamente são tratadas ao mesmo tempo;
- As combinações dos membros da equipe de desenvolvimento, com diferentes experiências, promovem a reunião de uma maior base de informações e conhecimentos;
- Durante o desenvolvimento sempre considerar que o tempo para o mercado é um fator determinante para o sucesso do produto.

Segundo MALLOY [4], o conceito de engenharia simultânea para o projeto de componentes injetados, ilustrado na figura 03, remove os “muros” entre as fases do projeto, mostrado na figura 02. Entretanto, o aspecto mais importante da engenharia simultânea, no processo de desenvolvimento, se refere à orientação da equipe para melhorar a comunicação e troca de informações entre os diferentes grupos que tratam das áreas relacionadas ao desenvolvimento, de

forma que a cada decisão, desde o projeto até a produção, haja a participação efetiva de especialistas.

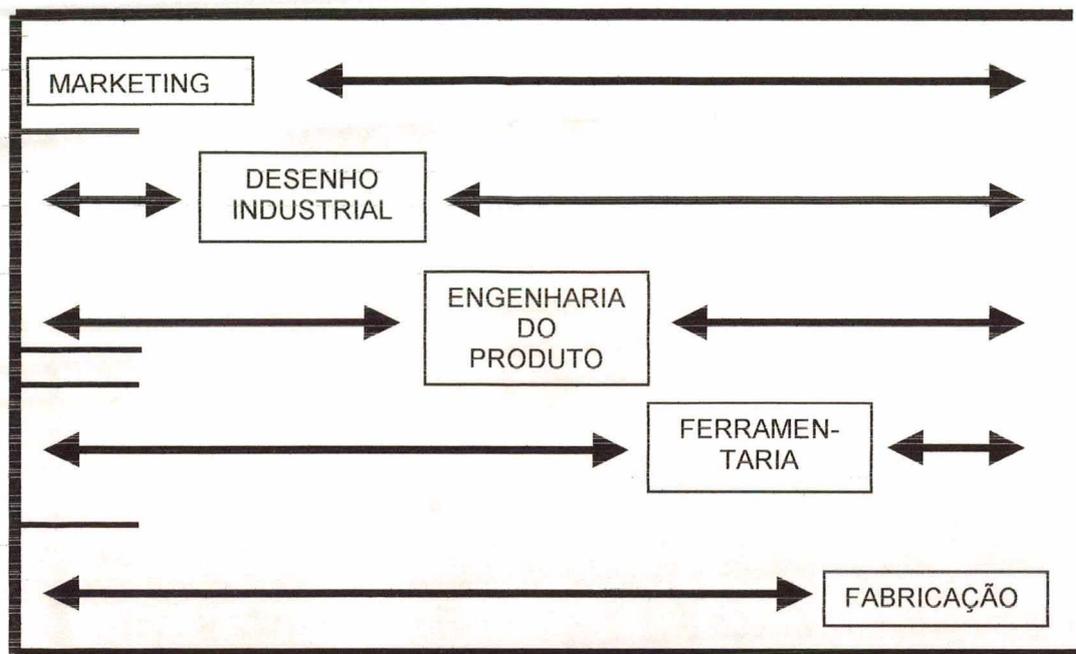


FIGURA 03 – Abordagem de engenharia simultânea para o processo de desenvolvimento de componentes de plásticos injetados [4].

Contudo, na prática essa participação pode se dar de várias maneiras e, em geral, não é tão efetiva [8]. A maior parte ocorre onde estão sendo tomadas as principais decisões sobre o planejamento das tarefas e sobre o conceito do produto.

Como exemplo do uso da prática de engenharia simultânea no desenvolvimento de componentes injetados, informações sobre o tipo de extração e sua localização no produto, podem ser importantes para o projeto do componente. Estas informações podem auxiliar no projeto do molde, e juntamente com decisões das fases iniciais do projeto, possibilitar a aquisição de materiais e início da produção de componentes do molde de injeção [4].

Em síntese, segundo OGLIARI [8], as seguintes observações podem ser feitas:

- A utilização da engenharia simultânea para o projeto de produtos de plásticos injetados predominantemente tem sido abordada em equipes de projeto considerando informações do ciclo de vida do produto, em sistemas especialistas e, adequação do processo para fabricação do produto;
- Normalmente, a ótica do projeto considera a geometria e aspectos da fabricação do componente;
- Muitas abordagens de projeto chamam a atenção para a reunião e participação de especialistas no desenvolvimento de produtos de plásticos injetados, contudo nem sempre é uma prática possível para grande parte das empresas.

CAPÍTULO 3

Considerações sobre Sistemas Computacionais de apoio ao Projeto de Componentes Injetados

3.1 - Generalidades

Em função do crescimento da informática, de uma forma geral, é cada vez maior o número de sistemas computacionais voltados a atender a área de desenvolvimento de produtos ou componentes de plástico injetados.

Neste contexto, estão inseridos desde simples programas de cálculo analíticos e base de dados de fabricantes até os chamados sistemas CAE (*Computer Aided Engineering*), para simulação do processo de moldagem baseados nas equações fundamentais que descrevem o fenômeno, CAD (*Computer Aided Design*), para o modelamento e projeto detalhado, CAM (*Computer Aided Manufacturing*), para o programa de usinagem dos moldes.

Visando apresentar um panorama dos sistemas computacionais, disponíveis na atualidade foram selecionados 12 sistemas, conforme apresentado na tabela 01, cujas principais características são apresentadas a seguir.

TABELA 01 – Sistemas computacionais selecionados para análise

Sistemas computacionais
Miniflow [9]
Simpol [10]
Injection Molding 2.0 [11]
CAMPUS [12]
Dupont Camdo [13]
Moldflow MPA [14, 15, 16]
Cost Estimator [17]
Cole Parmer – Chemical Resistance Database [18]
GE Plastics Design Tools [19]
Ticona Material Selector [20]
Rapra KBS [21]
C-Mold KMS [22]

3.2 – Características dos Sistemas Computacionais

Selecionados

O software **Mindmolder** [9], possui base de dados de materiais plásticos comerciais e simula o processo de injeção, permitindo por exemplo, o balanceamento de canais para diferentes cavidades. Através de tutoriais, o usuário tem acesso a informações sobre os modelos adotados no software e parâmetros do processo.

Do software **SIMPOL** [10], destaca-se as seguintes características: fornece o preço aproximado do material plástico, otimiza o processo pelas variáveis de resposta temperatura e pressão de injeção, indica a possibilidade de problemas

de injeção (preenchimento) e estima o custo de um componente injetado. O software possui base de dados de máquinas injetoras e materiais plásticos.

O software **INJECTION MOLDING 2.0** [11], enfoca a estimativa de custo de componentes injetados, auxiliando o usuário na determinação do número de cavidades do molde de injeção através da relação com o custo do molde, auxiliando na seleção de máquinas injetoras da base de dados que possuam menor tonelagem, e fornece informações de estimativas de custo do componente.

O software **CAMPUS** (*Computer Aided Material Preselection by Uniform Standards*) [12], contém dados a respeito de materiais plásticos de diferentes fabricantes, em uma base de dados onde a apresentação e os ensaios, são padronizados para que comparações sejam mais adequadas. Contendo um grande número de materiais na base de dados, as informações podem ser pesquisadas por faixas de valores.

O software **CAMDO** [13], que significa *Computer Aided Moulding Diagnostics and Optimisation*, foi desenvolvido pela Dupont. Possuindo quatro módulos, o Camdo realiza cálculos e apresenta recomendações para o processo de injeção, quais sejam: um guia de moldagem, análise dos dados de moldagem, e um guia contendo informações sobre defeitos em peças injetadas. Na figura 04, tem-se um exemplo de interface deste software.

Os resultados e informações do software estão baseados nas resinas que a Dupont produz, mas podem ser estendidas a materiais semelhantes de outros fabricantes. Os materiais aplicáveis são o poliacetal, polietileno, polipropileno e as poliamidas.

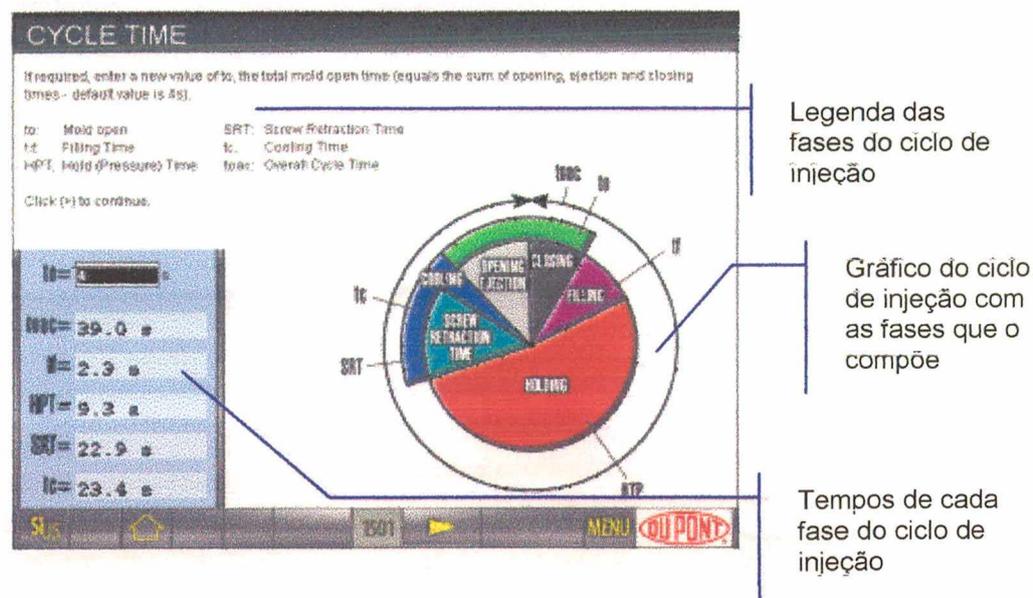


FIGURA 04 – Tela do sistema Dupont Camdo, mostrando tempos do ciclo de injeção.

O software MPA, denominado **Moldflow Plastics Advisers** [14, 15, 16], possui dois módulos, quais sejam: componente injetado (*Moldflow Part Adviser*) e molde de injeção (*Moldflow Mold Adviser*). Este software possui características de sistemas CAE, tem como objetivo fornecer informações ao projetista, relativas ao processo de injeção, nas fases de projeto preliminar e detalhado.

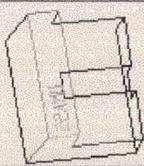
A partir da importação da geometria em sólido do componente, de sistemas CAD, é realizado a simulação do processo de injeção que fornece as seguintes informações ao projetista: análise de fluxo do componente injetado; análise da qualidade da refrigeração do componente no molde de injeção; análise de marcas no componente devido ao processo.

O software possibilita que sejam estimados custos relativos ao componente injetado. Em relação ao molde de injeção podem ser feitas estimativas de custos

de produção. Por exemplo, para um componente injetado, são estimados custos baseados no material plástico, no ciclo de injeção e no volume de produção.

O **Cost Estimator** [17], desenvolvido na linguagem de programação Java, possui entradas de dados pré-selecionadas em intervalos discretos como: a geometria do componente, o tipo de material plástico, o número de cavidades, a vida útil desejável do molde em ciclos. Esse software (ver figura 05), apesar de ser considerado um protótipo, demonstra a versatilidade que sistemas baseados na Web podem ter.

The screenshot shows the Cost Estimator interface with the following data and labels:

Process Cost	\$0.95		Details...
Materials Cost	\$11.15		
Tooling Cost	\$1.81		
Total Cost	\$13.91		

Instructions: The length, width, and height are the primary directions in the direction of the parting plane. If you do not know what a parting plane is, refer to any text on manufacturing. Remember that long flow lengths will likely require multiple gates.

Material Type	Upper Engineering	↳ Tipo de material plástico	
Mold Production	100000 Cycles	↳ Vida do molde [ciclos]	
#Cavities per Mold	1	↳ Número de cavidades	
Part Complexity	Medium	↳ Complexidade do componente	
Length	13.7795 in	350 mm	↳ Características do componente
Width	11.811 in	300 mm	
Height	8 in	203.2 mm	
Thickness	0.1 in	2.54 mm	

FIGURA 05 – Tela do sistema Cost Estimator

Entre as respostas que o Cost Estimator fornece destaca-se a estimativa de custo do material a ser utilizado, os custos de processamento e do molde de injeção. O sistema fornece informações que orientam o usuário na entrada de dados e nos dados calculados.

Software voltado para a seleção de materiais plásticos, os softwares **Cole Parmer – Chemical Resistência Database** [18] e o **Ticona Material Selector** [20] são acessados a partir das páginas web das empresas. Esses sistemas são semelhantes na metodologia de seleção de materiais para uma aplicação. O software da Cole Parmer seleciona materiais tendo o foco na resistência química ao meio em que será aplicado.

No Ticona Material Selector são selecionados os materiais que atendem as características indicadas pelo usuário, dentre os materiais fabricados da empresa. Propriedades mecânicas, físicas, térmicas, elétricas, reológicas são critérios que podem ser utilizados para seleção de resinas. A seleção começa através da escolha do sistema de unidades em que as variáveis de cada propriedade estarão descritas. Através de uma lista de critérios estabelecidos, pode ser feita a seleção dos materiais mais adequados.

Na figura 06, é mostrada a interface do sistema, contemplando os dados necessários para a seleção de materiais.

Como resultado de saída, o sistema gera uma lista de materiais que atendem aos requisitos da aplicação. Além disso, os dados técnicos completos de cada um desses materiais, podem ser vistos com mais detalhes, conforme pode ser observado na figura 07.

Neste sistema, os dados selecionados pelo usuário são enviados ao servidor de aplicação, para serem processados. A base de dados também se encontra no servidor de aplicação, ou seja, na máquina do usuário encontra-se apenas a interface do sistema.

Product Information

> Material Selector

Material selector allows you to locate a Ticona grade and view the data sheet by providing desired property values

Select desired properties below and input value(s) to create a query.

<input type="checkbox"/> MECHANICAL	<input type="checkbox"/> PHYSICAL	<input type="checkbox"/> THERMAL	<input type="checkbox"/> ELECTRICAL	<input type="checkbox"/> OPTICAL	Measurement Standard <input type="radio"/> ASTM <input checked="" type="radio"/> ISO <input type="radio"/> ENGLISH <input checked="" type="radio"/> SI
<input type="checkbox"/> RHEOLOGICAL	<input type="checkbox"/> MATERIAL TYPES	<input type="checkbox"/> MISCELLANEOUS	<input type="checkbox"/> REGULATORY		

Press Query for results, or Reset to start over.

Seleção das propriedades relevantes para a aplicação

Seleção das unidades de medidas

Property Selection Results:

Test Type	Test Name	Min. Value	Max. Value
Mechanical	Compressive Modulus	0.000	20
Mechanical	Flexural Strength	0.000	20
Thermal	Melting Temperature	180	250
Thermal	Glass Transition Temperature	0	10
Optical	Refractive Index	0.000	0.5
Optical	Deg. of Light Transmission	0.000	50

Material Type Description

CELCON Acetal Copolymers
GUR (UHMW-PE)
CELANEX Thermoplastic Polyester
IMPET Thermoplastic Polyester

Possíveis tipos de materiais para a aplicação

Propriedades selecionadas para a aplicação, contendo faixas de valores aceitáveis

FIGURA 06 – Tela de entrada de dados do sistema Ticona Material Selector

Product Information

> Material Selector > Query Results

Query results shows all Ticona grades that meet the property selection criteria defined within the material selector.

Select a grade from below to view the data sheet.

Grade	Category Name	Description
CELANEX 4202	Glass Reinforced	15% glass-fiber, improved impact
CELANEX 4016	Glass Reinforced	Impact modified, flame retardant (V-0)
CELANEX 2400	Glass Reinforced	40% glass-fiber, general purpose
CELANEX 3316	Glass Reinforced	30% glass-fiber, V-0, non-exuding
CELANEX 3310	Glass Reinforced	30% glass-fiber, V-0
CELANEX 3300	Glass Reinforced	30% glass-fiber, general purpose
CELANEX 3216	Glass Reinforced	15% glass-fiber, V-0, non-exuding
CELANEX 2004	Unfilled	Good balance of flow & toughness
CELANEX 3210	Glass Reinforced	20% glass-fiber, V-0, non-exuding
CELANEX 4302	Glass Reinforced	30% glass-fiber, impact modified
CELANEX 3200	Glass Reinforced	15% glass-fiber, general purpose, high flow
CELANEX 3116	Glass Reinforced	7.5% glass-fiber, V-0, non-exuding
CELANEX 7316	Mineral / Glass Reinforced	35% glass/mineral, V-0, non-exuding, higher CTI
CELANEX 2016	Unfilled	Flame retardant(V-0), non-exuding
CELANEX J600	Mineral / Glass Reinforced	40% glass/mineral, good surface gloss
CELANEX 7700	Mineral / Glass Reinforced	35% glass/mineral, V-0
CELANEX 7716	Mineral / Glass Reinforced	35% glass/mineral, V-0, non-exuding, low warp
IMPET 740	Mineral / Glass Reinforced	45% glass/mineral, electrical applications

The Query Again Button allows you to create a new query. The Print Button allows you to print the above query results.

Material

Tipo de aditivação no material

Descrição do material

FIGURA 07 – Dados de saída do sistema Ticona Material Selector

O sistema denominado **Ge Plastics Design Tools** [19] é um sistema genérico, que reúne em um portal aplicativos para auxílio ao projetista, como por exemplo, seleção de materiais, tabelas de dados de materiais comerciais e auxílio em especificações do projeto do componente. Na figura 08, é mostrada a interface de entrada do sistema.

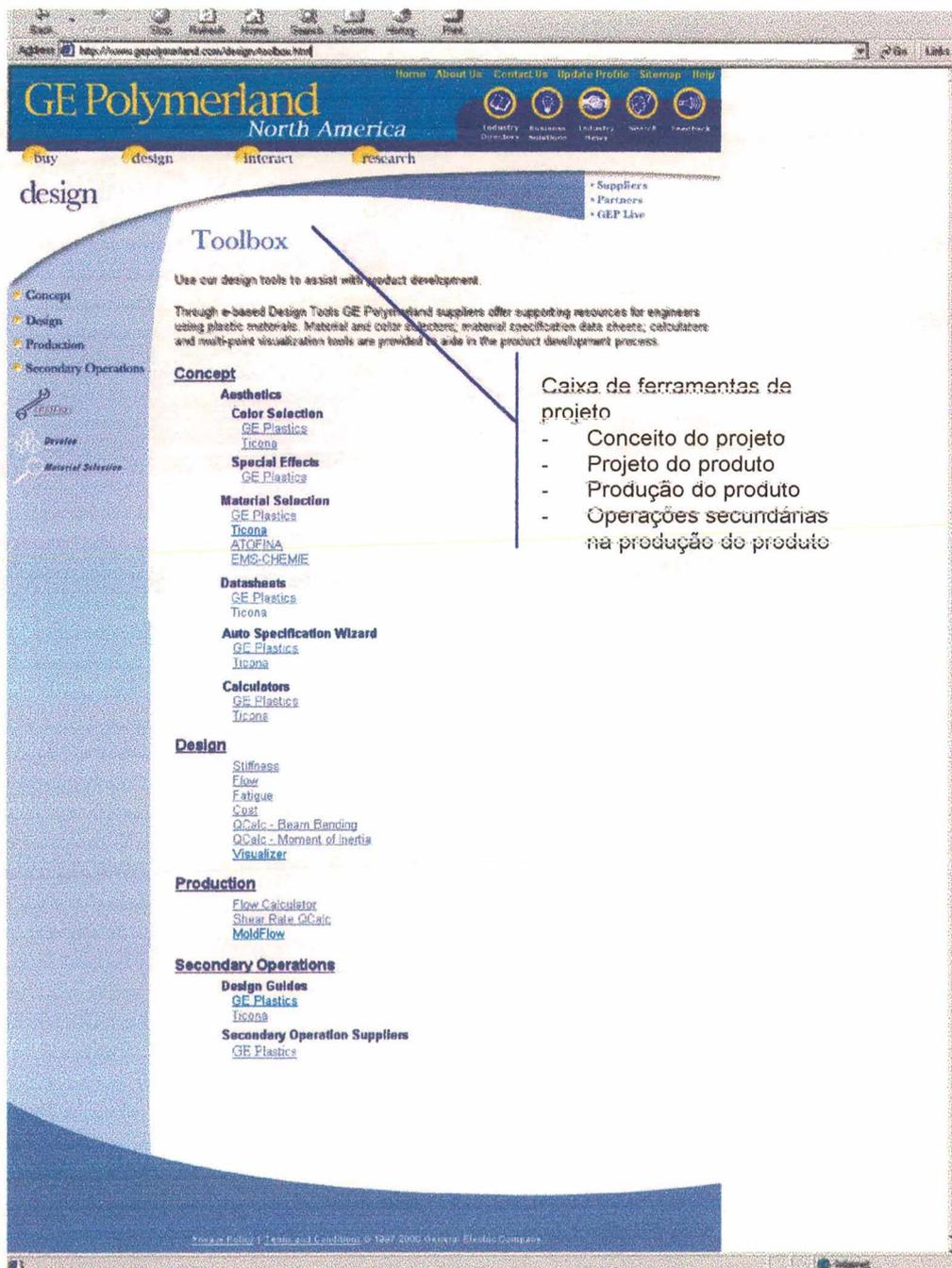


FIGURA 08 – Tela de entrada do sistema GE Plastics Design Tools.

O sistema está dividido por assuntos, que retratam etapas do desenvolvimento de componente de plástico. A divisão compreende: concepção, projeto, produção e operações secundárias na fabricação.

As ferramentas disponíveis têm como objetivo auxiliar o projetista no desenvolvimento de peças de plástico, através de regras de projeto, cálculos, dados técnicos de materiais plásticos e programa de auxílio à seleção de materiais. Os materiais plásticos utilizados em todo o sistema são os fabricados pela empresa, presentes em base de dados.

Especificamente para produção de componentes injetados há duas ferramentas que tratam do processo de injeção, sejam elas: do cálculo da pressão necessária para o enchimento da cavidade, estimativa do custo do material e do processo de um componente injetado.

O sistema GE Plastics Design Tools possui integrado no mesmo portal a ferramenta **FLOW CALCULATOR** [19] que tem como objetivo estimar a pressão de injeção em função de variáveis como: espessura do componente, tempo de injeção, temperatura de injeção e temperatura do molde. Com esses dados orientadores, o projetista pode tomar decisões de projeto com maior segurança do ponto de vista dos requisitos de projeto e do processo.

O sistema possui base de dados de materiais plásticos, onde o usuário seleciona um tipo de material e um *grade*¹ específico. A partir desta seleção, o sistema indica condições médias de processamento, bem como uma faixa de aplicação destas variáveis, como pode ser observado na figura 09.

¹ Grade – Termo em inglês que significa grau. No contexto de materiais plásticos, o termo significa um tipo específico comercial. Por exemplo: o material polipropileno, do fabricante A, possui os “grades” 1, 2 e 3.

Flow Inputs

1. Units
 British Metric
 Unidades de medida

2. Geometry
 Geometria do ponto de injeção

3. Runner Type and Geometry
 Cold Hot
 Length mm Diameter mm
 Tipo de alimentação e dimensões

4. Material
 Region Family: Grade:
 Escolha do material plástico

Part Thickness mm **Part Thickness Advisor**

Flow Length mm

Strip Width mm

5. Process Conditions

		Min	Max
Melt Temperature	<input type="text" value="285"/> C	271	298
Mold Temperature	<input type="text" value="79"/> C	65	93
Injection Time	<input type="text" value="3"/> s		

Características do componente injetado

Condições de processamento

Escolha do resultado de saída

Graph

SELECT

SELECT

Composite Results

Injection Pressure Vs Thickness

Injection Pressure Vs Time

Injection Pressure Vs Melt Temperature

Injection Pressure Vs Mold Temperature

Mold It

Tools

ALL DATA CONTAINED HEREIN IS SUBJECT TO
 (I) THAT THE RESULTS DESCRIBED HEREIN WILL
 Privacy Policy | Terms and Conditions © 1997-2000 General Electric Company

NO WARRANTY OR GUARANTEE, EXPRESS OR IMPLIED
 EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN INCORPORATING GEP MATERIALS

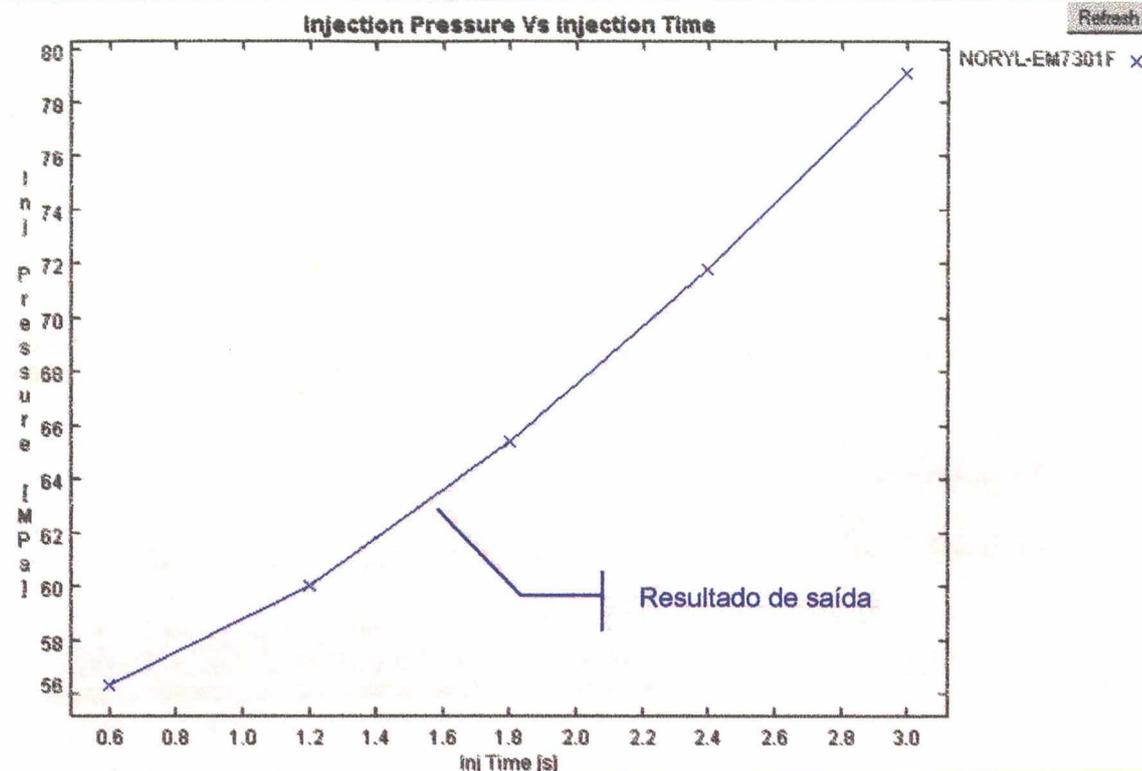
FIGURA 09 – Tela de entrada de dados da ferramenta Flow Calculator

Para descrição da peça, o modelo matemático considera a espessura e o maior comprimento de fluxo. Por fim, selecionando-se o tipo de gráfico da pressão de injeção, o processamento dos dados pode ser executado.

A resposta do sistema se dá através do gráfico anteriormente selecionado, conforme mostra a figura 10.

Flow Results

Geometry:	Disk	Runner Type:	Cold	Runner Length:	40 mm	Runner Dia:	4 mm
Part Thickness:	1.58 mm	Flow Length:	90 mm	Inj. Time:	3 s	Resumo dos dados de entrada	
Melt Temp.:	285.00 °C	Mold Temp.:	79 °C				



Re-Select Flow Inputs

Run Cost Analysis

Add Material

Design States

Efetuar novos cálculos

Note: A rule of thumb is to keep Injection pressure below 15,000 psi (103MPa).

Chamada para ferramenta de estimativa de custo

ALL DATA CONTAINED HEREIN IS SUBJECT TO GEP'S STANDARD TERMS AND CONDITIONS OF SALE. GEP MAKES NO WARRANTY OR GUARANTEE, EXPRESS OR IMPLIED (I) THAT THE RESULTS DESCRIBED HEREIN WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (II) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN INCORPORATING GEP MATERIALS

Privacy Policy | Terms and Conditions © 1997 - 2000 General Electric Company

Tools

FIGURA 10 – Tela que apresenta os resultados do estudo ao usuário.

A partir da tela de saída dos dados do sistema “Flow Calculator” é possível iniciar a ferramenta de custo “Cost Analysis”. Entretanto, a integração e troca de informações entre as ferramentas não ocorrem, ou seja, é necessário para estimativa de custos dados anteriormente fornecidos ao sistema.

Os módulos de cálculos do portal GE Plastics Design Tools [19], foram desenvolvidos em Java. As entradas de dados e verificações desses valores, quanto ao sentido físico das grandezas, são executados localmente. O processamento dos dados, acesso a Base de Dados e geração dos gráficos de resposta do sistema, são desenvolvidos pelo servidor da aplicação.

O sistema **KBS Plastics** (*Knowledge Based System Plastics*) [21], da Rapra Technology, é um sistema baseado em conhecimento que integra algumas ferramentas independentes. O conceito desse sistema integrado contempla por exemplo: Bases de Dados, enciclopédias, literaturas especializadas, resumos de artigos científicos e softwares.

O módulo **The Rapra Plastics Design Guide** auxilia projetistas na identificação de possíveis falhas de projeto, informando pontos potencialmente críticos que podem ser minimizados através da relação existente entre a seleção do material plástico adequado e o projeto do produto [21]. Com a causa do processo de falha identificada, o sistema fornece informações através de perguntas e respostas, “simulando” a consultoria de um especialista no assunto. Na figura 11, é apresentado um exemplo da tela em questão.

Neste software a base de dados e o processamento das informações são feitos no servidor da aplicação, ficando na máquina do usuário a interface do sistema.

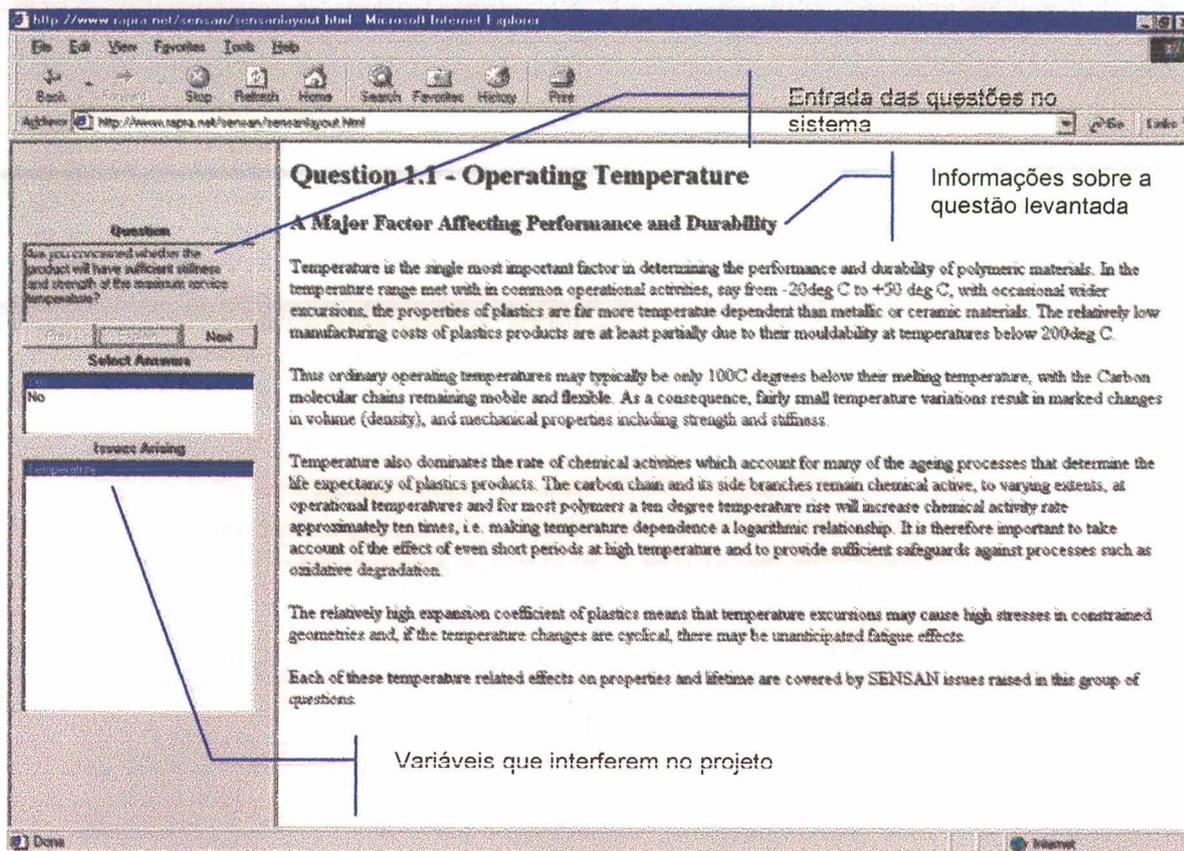


FIGURA 11 – Tela de interação com o usuário

Já o sistema denominado **Knowlegde Management System (KMS)** tem por objetivo reduzir questões redundantes do projeto, diminuir o tempo de desenvolvimento, armazenar conhecimentos desenvolvidos por um especialista e reparti-los com os outros membros da equipe [22]. Desenvolvido pela C-Mold, possui ferramentas CAE, bases de dados, sistemas especialistas, bibliotecas contendo regras de projeto e guias das melhores regras práticas para o processo de injeção. As ferramentas e bases de dados são independentes, e em conjunto formam uma base de conhecimento [23].

Turng et al cita que a administração destas informações, em ambiente de engenharia simultânea no desenvolvimento de projeto de componentes injetados, está baseado na Internet [23]. No servidor da aplicação estão organizados em

diretórios informações sobre projeto de componentes e do molde de injeção, material plástico, processo de injeção, problemas de injeção e outras categorias criadas pelos usuários.

Há ainda o recurso de busca de informações na Internet, onde o sistema realiza uma procura na rede e como resposta lista endereços Web contendo as informações com uma classificação do conteúdo.

O sistema sugere as etapas de um projeto e as informações pertinentes. A leitura dessas etapas serve como um roteiro das atividades que a equipe de desenvolvimento deve seguir [23].

3.3 – Classificação dos Sistemas Computacionais

Analizados

Apesar da diversidade de sistemas existentes no mercado, é possível classificar esses sistemas computacionais segundo critérios como: o meio de utilização do sistema, a relação entre as áreas de conhecimento e as informações fornecidas pelo sistema, e os meios de disponibilização das informações.

Analisando os sistemas selecionados, pode-se observar que basicamente existem três tipos principais de meios de utilização, conforme mostra a tabela 2:

- **Locais** (*standalone*) – genericamente, estes sistemas se caracterizam por serem instalados e utilizados apenas na máquina do usuário localmente ou em rede. A atualização do sistema ocorre com instalações de novas versões na máquina de cada usuário;

- **Internet** – basicamente, estes sistemas se caracterizam por estarem instalados em um servidor de páginas Web. O usuário através de um software de navegação e da rede Internet pode “carregar” o sistema, na memória do computador, e utilizá-lo. Após “fechar” o software de navegação, a aplicação para ser utilizada novamente, necessita ser carregada novamente. A atualização do sistema ocorre diretamente no servidor, que disponibiliza aos usuários, igualmente, a nova versão do sistema.
- **Mistos** – estes sistemas são assim considerados como aqueles que mesclam e/ou integram, através da Internet, informações de diferentes fontes e sistemas locais, disponibilizando uma grande quantidade de informações ao usuário.

TABELA 02 - Classificação segundo o meio de utilização dos sistemas

Sistemas	Local	Internet	Mistos
Miniflow	x		
Simpol	x		
Injection Molding 2.0	x		
CAMPUS	x		
Du pont Camdo	x		
Moldflow MPA	x		
Cost Estimator		x	
Cole Parmer – Chemical Resistance Database		x	
GE Plastics Design Tools		x	
Ticona Material Selector		x	
Rapra KBS			x
KMS			x

Os sistemas analisados e [15] mostram que o meio mais utilizado é para aplicações locais. Entretanto, a Internet, sendo utilizada pelo público em geral, recentemente, revolucionou o meio como as informações podem ser acessadas [23]. Assim, sistemas estão sendo disponibilizados para esta mídia. Sistemas

como o Rapra KBS e o C-Mold KMS utilizam os dois meios em conjunto, para disponibilização de informações integrando, por exemplo, ferramentas CAE (na maioria dos casos, são sistemas locais) e a versatilidade da Internet.

Em se tratando das informações fornecidas pelos sistemas relativas as quatro áreas relacionadas com a área de projeto de componentes injetados, conforme descrito no item 2.1 e mostrado na figura 01, os sistemas podem ser agrupadas conforme a tabela 03.

TABELA 03 - Classificação do conteúdo dos sistemas segundo informações relativas as quatro áreas de conhecimento relacionadas ao projeto

Sistemas	Material plástico	Processo de injeção	Moldes de injeção	Custos
Miniflow	x	x		
Cost Estimator				x
Simpoi	x	x	x	
Injection Molding 2.0		x	x	x
CAMPUS	x			
Moldflow MPA	x	x	x	x
Cole Parmer - Chemical Resistance Database	x			
GE Plastics Design Tools	x	x		x
Ticona Material Selector	x			
Du pont Camdo	x	x	x	
Rapra KBS	x	x		
C-Mold KMS	x	x	x	x

De acordo com a tabela 03, pode-se concluir que a maioria dos sistemas analisados fornecem informações relativas as áreas de material plástico e processo de injeção. As áreas de custos e de moldes de injeção estão presentes em menor números de sistemas,

Com relação às informações que fornecem ao usuário, a maioria dos sistemas não atendem simultaneamente as quatro áreas de conhecimentos, com exceção do sistema KMS.

Em relação aos meios de disponibilização das informações, os sistemas foram classificados em quatro tipos, quais sejam: através de base de dados, cálculos, sistemas especialistas e literatura Internet. Conforme mostra a tabela 04.

Meio de disponibilização de informações característico de sistemas para a área de injeção são as **bases de dados**, devido ao volume e características informações típicas encontradas em catálogos de fabricantes, utilizadas como subsídios ao desenvolvimento de produtos, como; de materiais plásticos, máquinas para a área de injeção e, literaturas técnicas. As bases de dados, possibilitam maior versatilidade e agilidade no processo de consulta das informações.

Os **sistemas especialistas** são aplicados em casos e aplicações específicas, onde os conhecimentos de especialistas são necessários para otimização, ou melhor determinação de um projeto.

Denominado **literatura Internet**, esse meio de disponibilização de informações reúne dados publicados na Internet, como por exemplo na forma de páginas Web.

Durante o desenvolvimento do projeto de componentes normalmente são feitos **cálculos matemáticos** simples, utilizando-se de procedimentos e considerações da prática. Para questões específicas do projeto são utilizados **recursos de simulação do processo**. Assim, um meio de disponibilização de informações é através de cálculos matemáticos.

TABELA 04 – Classificação do conteúdo dos sistemas segundo meios de disponibilização das informações.

Sistemas	Base de dados	Literatura Internet	Cálculos matemáticos	Sistemas especialistas
Miniflow	x		x	
Cost Estimator			x	
Simpoi	x		x	
Injection Molding 2.0	x		x	
CAMPUS	x			
Moldflow MPA	x		x	
Cole Parmer - Chemical Resistance Database	x			
GE Plastics Design Tools	x	x	x	
Ticona Material Selector	x			
Du pont Camdo	x		x	
Rapra KBS	x	x	x	
C-Mold KMS	x	x	x	x

Tendo por base a tabela 04, pode-se observar que os principais meios de disponibilização de informações são através da realização de cálculos e base de dados.

CAPÍTULO 4

MODELO DE SISTEMA INTEGRADO BASEADO NA INTERNET

4.1 – Crítica aos sistemas analisados

Em função da necessidade de acessar muitas informações durante o processo de desenvolvimento de componentes injetados, que normalmente estão dispersas em função da multidisciplinariedade das áreas envolvidas, torna-se difícil, conforme pode ser observado na maioria dos sistemas analisados, organizar e integrar os conhecimentos. O sistema KMS da C-Mold é o que apresenta uma melhor integração e organização das informações para o projeto de componentes injetados.

Predominantemente, os sistemas analisados atendem as quatro áreas relacionadas com a área de projeto de componentes injetados sob a ótica da engenharia seqüencial. Ou seja, os sistemas não se baseiam, com exceção do KMS, no conceito de engenharia simultânea para integrar os diferentes meios de disponibilização da informação de auxílio ao projeto.

Os softwares disponíveis para uso via internet são poucos e muito específicos, voltados para determinada área de conhecimento, não permitindo uma integração global com as áreas. Os sistemas são na maioria dos casos,

pequenos aplicativos independentes uns dos outros, e não possuem a adequada integração, mesmo estando em um mesmo portal.

4.2 – O Sistema Proposto

Com base nas considerações apresentadas, relativas aos sistemas existentes atualmente e ao contexto ou tendência do desenvolvimento de ferramentas computacionais, um sistema proposto a auxiliar os profissionais da área de projeto de componentes injetados na tomada de decisões, em um ambiente de engenharia simultânea, deve permitir integrar informações relativas às quatro áreas relacionadas ao projeto, conforme mencionado no item 2.2 e mostrado na figura 1.

No sentido de organizar e integrar as informações relativas às áreas envolvidas, é recomendável um sistema para a Internet, na forma de um portal de informações, haja visto que a Internet, devido ao grande crescimento do número de usuários e facilidade para disponibilizar informações, tornou-se um meio muito importante de consulta e de propagação de dados para profissionais da área de plásticos [24, 25]. Algumas vantagens dessa mídia são [24, 25]:

- custos operacionais baixos, pois não são necessárias a confecção de material impresso, CDs e/ou disquetes para distribuição do sistema;
- possuir um público-alvo mais abrangente;
- facilidade para atualização de novas versões do sistema;

- o usuário poderá utilizar o computador que possuir, independentemente, de onde estiver alocado o hardware, o sistema operacional instalado. Neste caso, a utilização se tornará mais fácil e ágil, pois acessando o site do sistema, o aplicativo estará prontamente disponível.

Além disso, o sistema deve possuir meios de disponibilizar as informações, agrupadas nas seguintes categorias: base de dados, sistemas especialistas, literatura Internet, cálculos (ver tabela 03).

Exemplos de aplicações de **base de dados** são relativas aos materiais plásticos, as regras de projeto de componentes injetados, as máquinas injetoras, aos defeitos de injeção, a soluções de projeto em moldes de injeção.

Em se tratando dos **sistemas especialista** para a indústria de plástico, segundo PEARCE *apud* OGLIARI, a aplicação desses sistemas é adequada, pois existe uma grande quantidade de experiências estabelecidas na própria empresa e muito conhecimento empírico sendo aplicado na solução de problemas de projeto [8]. Exemplos de sistemas especialistas são: auxílio no projeto de moldes (aplicado a seleção de materiais, tratamentos térmicos e revestimentos), estimativa de custos de moldes de injeção, seleção de materiais plásticos.

O acesso a informações normalmente encontradas na literatura pode ser incrementado, através do uso de recursos que a Internet disponibiliza como a reunião de artigos, acesso a portais Internet, realização de fóruns e listas de discussões. Para o sistema proposto, esse meio de disponibilizar e integrar informações é denominado **literatura Internet**, possibilitando que profissionais de diferentes níveis de experiência e conhecimentos possam atualizar-se.

Para o meio de disponibilização **cálculos matemáticos**, exemplos de informações são relativas a: estimativa dos tempos que compõe o ciclo de injeção; seleção de máquinas injetoras; estudo do preenchimento de cavidades; estimativa do uso das capacidades de injeção e fechamento da máquina injetora; determinação da força de fechamento; determinação do número de cavidades em moldes de injeção; estimativa de custos de componentes injetados.

TABELA 05 – O sistema proposto

Meios de disponibilização das informações	Exemplos de informações necessárias ao projeto fornecidas pelo sistema
Base de dados	Características e dados técnicos, dados de processamento de materiais plásticos
	Ensaio de controle de qualidade
	Regras de projeto
	Características e dados técnicos de máquinas injetoras
	Soluções utilizadas em projetos
Sistemas especialistas	Seleção de materiais por aplicação
	Auxílio na solução de defeitos de injeção
	Seleção de materiais, tratamentos térmicos, revestimentos
	Estimativa de custo de um molde de injeção
Literatura-Internet	Lista de discussão, fóruns, links categorizados, artigos, livros, vídeos, animações
Cálculos matemáticos	Estimativa do ciclo de injeção
	Seleção de máquinas injetoras
	Estimativa da porcentagem de utilização da capacidade de plástificação e fechamento da máquina injetora
	Estudo do preenchimento da cavidade
	Determinação da força de fechamento
	Estimativa de custo de um componente
	Determinação número de cavidades
	Balanceamento de canais

4.3 – Desenvolvimento de um Protótipo Baseado no Sistema Proposto

4.3.1- Considerações gerais

Com base no sistema proposto e no trabalho de mestrado de D'Ávila [27], foi implementado um protótipo funcional de um sistema integrado, denominado INJNET (Software de Auxílio ao Projeto de Componentes de Plásticos Injetados), contendo ferramentas para as quatro áreas relacionadas ao projeto de componentes injetados.

Nesta primeira versão, o sistema considera as atividades de projeto nas suas fases iniciais, com ênfase no projeto preliminar. Quanto aos meios de disponibilização das informações, o protótipo possui dois, dos quatro propostos, no sistema, apresentados no item 4.2, quais sejam: bases de dados e cálculos (ver descrição no item 4.4).

O protótipo foi desenvolvido na linguagem de programação Java. A seleção foi realizada baseada nas seguintes considerações:

- o sistema deveria funcionar na Internet, sem que houvesse a necessidade de instalação de qualquer biblioteca do programa ou do navegador na máquina do usuário;
- a linguagem selecionada deveria ser compatível com os navegadores Internet mais difundidos na rede, quais sejam: Microsoft Internet Explorer e Netscape;

- o processamento do sistema deveria ser realizado totalmente na máquina do usuário, e não no servidor da aplicação.

Assim, diante dos requisitos da linguagem de programação Java, foi escolhido o software IBM Visual Age for Java como compilador, por estar disponível para *download* da Internet sem custos e a compatibilidade com o padrão Java, possuindo apenas bibliotecas das especificações originais da linguagem.

Para a simulação do processo de injeção, o modelo matemático utilizado na implementação do software foi o desenvolvido por D'Ávila [27]. O algoritmo, originalmente desenvolvido na linguagem de programação C, foi transformado para Java. Neste modelo matemático, a simulação é feita considerando o escoamento unidimensional em uma geometria tipo placa. Esta simplificação da geometria do componente está baseada em um modelo empírico utilizado para a determinação da pressão de injeção pelo maior caminho de fluxo que o material terá que percorrer para preencher a cavidade do molde, formando a peça [28, 29, 30]. Na figura 12, é ilustrado o modelo utilizado.

Para efeitos de cálculo, o modelo considera que o início da injeção ocorre diretamente na peça, desprezando os canais de alimentação.

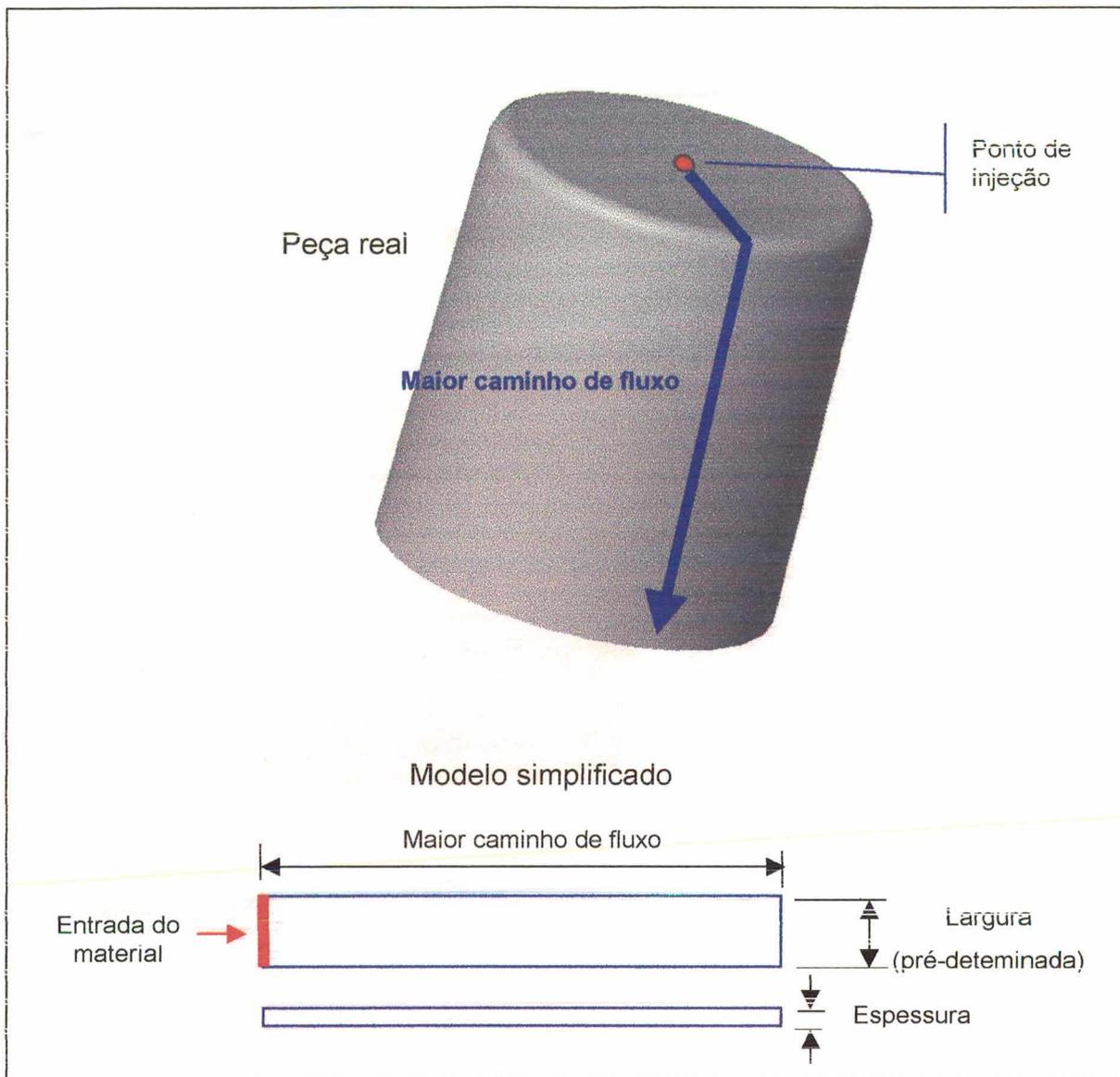


FIGURA 12 – Modelo simplificado da peça real

4.3.2 – Ferramentas Implementadas

As informações disponibilizadas ou fornecidas pelo sistema são mostradas através de base de dados ou como resultados de cálculos. Na tabela 06 são mostradas as ferramentas que foram implementadas no protótipo do sistema proposto.

A divisão do protótipo em quatro áreas, relacionadas ao projeto de componentes injetados, e a implementação de dois meios de disponibilização de informações, necessárias ao projeto, estão baseados nas considerações do sistema proposto, conforme item 4.2.

TABELA 06 – Ferramentas implementadas no protótipo do sistema proposto.

Áreas envolvidas no projeto de componentes	Meios de disponibilização das informações	Informações necessárias ao projeto fornecidas pelo sistema
Material plástico	Base de dados	Características e dados técnicos, dados de processamento de materiais plásticos
Processo de injeção	Base de dados	Dados técnicos de máquinas injetoras
		Auxílio na solução de defeitos de injeção
	Cálculos matemáticos	Estimativa de tempos do ciclo de injeção
		Seleção de máquinas injetoras
		Estimativa da porcentagem de utilização da capacidade de plastificação e fechamento da máquina injetora
Determinação da força de fechamento		
Projeto do molde de injeção	Cálculos matemáticos	Determinação número de cavidades
Custos	Cálculos matemáticos	Estimativa de custos de um componente

As informações fornecidas pelo sistema pertinentes às bases de dados são tratadas no item 4.3.5, e as referentes aos cálculos realizados pelo sistema no capítulo 5, que trata de exemplos de utilização do protótipo.

4.3.3 – Interface de Entrada

O início da utilização do INJNET ocorre, através do uso de um navegador de páginas Web, acessando o endereço

www.grucon.ufsc.br/cimject/moldagem/injnet/Tela_de_navegacao. A interface de entrada do sistema é mostrada na figura 13.

Uma vez carregado o algoritmo de cálculo na memória do computador, o sistema está apto para realizar os cálculos matemáticos das funções programadas, utilizando recursos do hardware do usuário. Através do servidor, durante a utilização do sistema, faz-se acesso apenas as bases de dados.



FIGURA 13 - Interface de entrada do sistema INJNET.

4.3.4 – Recursos oferecidos

Para esta primeira versão, o sistema possibilita ao usuário acessar ou obter informações baseadas em diferentes **Tipos de Estudos**, que usualmente são necessários durante o desenvolvimento de componentes injetados.

Os tipos de estudos foram denominados de:

- Estudo Completo;

- Custo do componente injetado;
- Escolha da máquina injetora;
- Determinação do número de cavidades;
- Acesso à base de dados de materiais plásticos;
- Acesso à base de dados de máquinas injetoras;

Quando o usuário desejar realizar um **Estudo Completo** deverá fornecer como dados de entrada, informações relativas: à geometria básica do componente, ao material plástico utilizado, às condições de processamento, ao número de cavidades e à produção desejada, à máquina injetora e dados referentes ao custo do material e do processo.

Como resultados, o sistema fornece a força de fechamento necessária, a utilização da capacidade da máquina injetora para o fechamento e o volume de injeção, uma estimativa do tempo de produção necessário para realizar o lote desejado ou a quantidade de peças produzidas em determinado tempo, uma estimativa do ciclo de injeção, e uma estimativa do custo do componente em três categorias (processo, material e mão de obra).

Neste estudo todas os meios de disponibilização das informações, bases de dados e algoritmos de cálculos matemáticos, estão integrados e disponíveis ao usuário. Por exemplo, o tempo de ciclo de injeção, o material plástico e a máquina injetora selecionada quando da entrada de dados, alimentam automaticamente as planilhas de custo através dos algoritmos de cálculos embutidos no sistema.

O estudo **Determinação do Custo do Componente** é uma ferramenta de estimativa de custos. Com planilhas dispostas seqüencialmente, compreendendo áreas de custos como material plástico, mão de obra e processo. Este tipo de estudo habilita apenas as planilhas de custo sem possibilitar ao usuário o acesso a outras informações do sistema.

O estudo **Determinação do Número de Cavidades** tem por objetivo auxiliar o usuário, no projeto do molde, determinar a quantidade máxima de cavidades que a máquina injetora selecionada na base de dados suporta.

A **Determinação da Máquina Injetora** é um estudo para geração de uma lista de máquinas injetoras, disponíveis em uma base de dados do sistema que, a partir dos dados do componente e do material plástico, atendam aos requisitos de processo e do molde de injeção. Como pré-requisito desse estudo o usuário deverá informar ao sistema o número de cavidades do molde de injeção.

Os **acessos as bases de dados de materiais plásticos e máquinas injetoras** habilitam somente as bases de dados, para consulta de informações.

Antes da entrada de dados no sistema, necessariamente o usuário deve escolher um tipo de estudo. Na figura 14 pode ser observada a interface do sistema quando a tecla "tipo de estudo" é acionada pelo usuário.

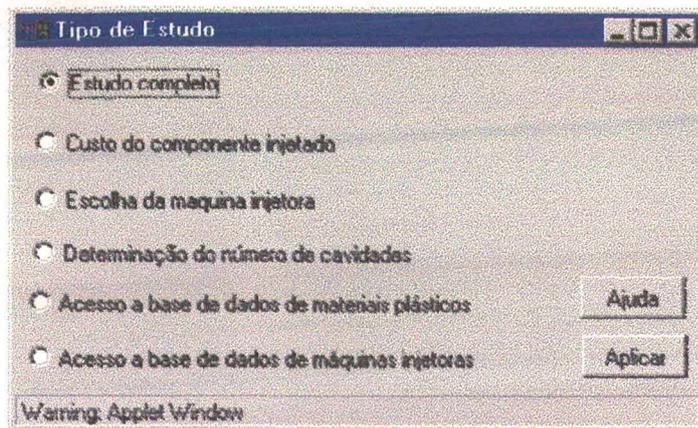


FIGURA 14 - Recurso do sistema que possibilita escolher o Tipo de Estudo a ser realizado pelo usuário

A escolha do tipo de estudo influencia no tipo e na seqüência de dados ou informações que devem ser fornecidos ao sistema, que os apresenta na menor quantidade e com um fluxo lógico de informações, sendo um roteiro dos campos que devem ser preenchidos com dados. Na figura 15 é mostrado um exemplo da seqüência com que os botões de chamada das entradas de dados são habilitados no sistema.

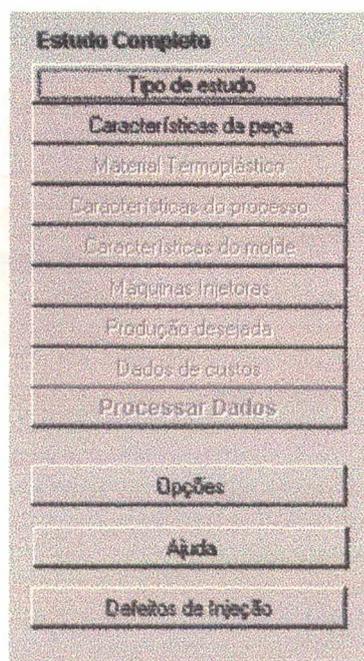


FIGURA 15 - Exemplo da seqüência com que os botões de chamada das entradas de dados são habilitados no software

4.3.5 – Bases de Dados

O protótipo possui duas bases de dados integrados ao sistema, denominadas de materiais plásticos e máquinas injetoras e uma terceira base de dados independente que trata de defeitos de injeção.

As bases que estão integradas fornecem informações para os cálculos realizados e as informações que contém são fundamentais para o funcionamento do sistema. Em relação a base de dados de defeitos de injeção, que nesta versão as informações que contém estão desvinculadas do sistema, são para consulta e orientação do usuário durante a atividade de projeto.

4.3.5.1 - Materiais Plásticos

A base de dados contempla informações sobre materiais termoplásticos, para consulta, contendo, adicionalmente, dados necessários para a simulação do processo de injeção. Esses dados, especificamente para a etapa de preenchimento da cavidade durante o ciclo de injeção, para cada material, são:

- constantes do modelo de viscosidade de cross-modificado e lei das potências;
- valor do calor específico [J/Kg.K];
- valor da condutividade térmica [W/m.K];
- temperatura de injeção [°C];
- temperatura de extração do componente [°C];
- temperatura do molde de injeção [°C];

- velocidade de injeção [cm^3/s];

Essas informações estão divididas em seis itens, conforme mostra a figura 16, quais sejam:

- generalidades;
- dados de processo;
- propriedades térmicas;
- propriedades químicas;
- propriedades físicas;
- propriedades mecânicas.

Base de dados de materiais plásticos

Classificação

Familia: PP Tipos: copolímero Índice de fluidez: 20

Informações

Generalidades Propriedades físicas Propriedades mecânicas
 Dados de processo Propriedades químicas Propriedades térmicas

Faixa de temperatura de injeção [C]	200	a	300
Faixa de temperatura do molde [C]	20	a	90
Faixa de temperatura de extração [C]	65	a	105
Faixa de pressão de injeção [bar]	800	a	1400
Faixa de velocidade de injeção [cm^3/s]	15	a	55
Faixa de pressão de recalque [bar]	500	a	1100
Velocidade ótima de deslocamento [mm/s]	750		
Velocidade máxima de deslocamento [mm/s]	950		

Ajuda Aplicar

Warning: Applet Window

FIGURA 16 - Interface da base de dados de materiais plásticos

Nesta versão do sistema, a base de dados é constituída apenas de materiais classificados como genéricos, cujas propriedades são apresentadas por faixas de valores, em função das seguintes considerações:

- os erros, decorrentes dessa classificação, não são significativos para o tipo de orientação que o sistema fornece;
- há sistemas especificamente desenvolvidos para fornecer informações de materiais comerciais [12];

As informações presentes na base de dados são provenientes de literaturas técnicas e catálogos de fabricantes. [36, 37, 38, 39]

4.3.5.2 - Máquinas Injetoras

A experiência tem mostrado que a consulta a catálogos de fabricantes de máquinas injetoras é feita pelas informações da série ou modelo e do diâmetro do parafuso injetor, quando o equipamento segue as normas EUROMAP [40].

Sob esta ótica, as informações da base de dados de máquinas injetoras são apresentadas através da seleção do equipamento em três níveis seqüenciais, que são: nome do fabricante, série/modelo e diâmetro do parafuso injetor.

Uma vez selecionada a máquina injetora são apresentados dados como:

- volume teórico de injeção [cm^3];
- capacidade de injeção [g];
- velocidade de injeção [cm^3/g];
- capacidade de plastificação [g/s];

- pressão máxima sobre o material [bar];
- força máxima de fechamento [ton];
- altura mínima/máxima do molde [mm];
- dimensões das placas porta-moldes [mm];
- passagens entre colunas [mm];
- curso de abertura [mm];
- potência total instalada [kW];.

Os catálogos de máquinas injetoras, normalmente, apresentam valores para a capacidade máxima de injeção [g] para o material PS. Entretanto, como muitas aplicações são feitas em outros materiais, há necessidade que esta característica física do equipamento seja calculada para diferentes materiais termoplásticos. Visando facilitar esta tarefa, o “peso máximo de injeção” é calculado pela escolha do material. O valor é indicado no respectivo campo, conforme pode ser observado na figura 17.

Nesta versão do sistema, o protótipo contempla as informações de catálogos de fabricantes somente para máquinas injetoras comerciais.

Base de dados de máquinas injetoras

Características Técnicas

Nome do fabricante	arburg	
Série/modelo	320S	
Diâmetro do parafuso injetor [mm]	25	
Volume teórico de injeção [cm ³]	106	Material termoplástico
Capacidade máxima de injeção [g]	76.74	
Velocidade máxima de injeção [cm ³ /s]	152	
Capacidade de plastificação [g/s]	15	
Pressão sobre o material [bar]	1610	
Força de fechamento [ton]	50	
Altura mínima/máxima do molde [mm]	225/575	
Dimensões das placas [mm]	496x498	
Passagem entre colunas [mm]	320x320	
Curso de abertura [mm]	350	
Potência total instalada [kW]	20.4	

Ajuda

Aplicar

Warning: Apple Window

FIGURA 17 - Interface da base de dados de máquinas injetoras

4.3.5.3 - Base de Dados de Defeitos de Injeção

A base de dados de defeitos de injeção organiza as informações através de uma causa genérica do defeito e uma caracterização geral deste para cada defeito, em 4 categorias que podem estar contribuindo para o problema, sendo: o material plástico, o processo de injeção, o molde de injeção e outros (que contemplam causas genéricas).

As causas e recomendações foram pesquisadas na literatura técnica [26, 31, 32, 33]. A figura 18 mostra a tela da base de dados de defeitos, acessada pela Internet.

Banco de Dados de Defeitos de Injeção

Carregar Defeitos	
Borboleta	Defeito: Borboleta
Carbonização	Causa do Defeito: Fratura de material recém solidificado pelo Cisalhamento no
Delaminação	Caracterização Geral: Marcas ao redor do ponto de injeção
Empenamento	Materiais: Contaminação
Escorrimento pelo l	Recomendações: Verificar a estocagem, mistura e teor de material reciclado
Esguichamento	Injetora:
Estrias_Marrons	Recomendações:
Estrias prateadas c	Processamento: Velocidade de injeção; Temperatura da massa plástica
Linhas de solda	Recomendações: Diminuir a velocidade de injeção no inicio da fase; Aumentar
Má dispersão de cc	Projeto: Arestas agudas na região do ponto de injeção
Marcas de fluxo e s	Recomendações: Arredondar as arestas ou mudar o tipo de ponto de injeção p
Pecas incompletas	Outros:
Pecas quebradiças	Recomendações:
Peca ou canal da b	
Pontos pretos ou C	
Rebarbas	

FIGURA 18 – Tela do banco de dados de defeitos de injeção

Nesta versão do sistema, a base de dados de defeitos de injeção, disponibiliza informações sobre problemas típicos da área encontrados na prática.

4.3.6 – Entrada de Dados e Cálculos Realizados no Protótipo

A descrição da geometria do componente, denominada no protótipo como **Característica da Peça**, constituem os primeiros dados de entrada no sistema.

Segundo o modelo matemático utilizado, para representação da geometria do componente, são necessários dados como o peso, a área projetada, o maior comprimento de fluxo e a maior espessura da peça, conforme pode ser observado na figura 19.

Características da peça

Peso [g]

Área projetada [mm²]

Maior espessura da peça [mm]

Maior caminho de fluxo da peça [mm]

Espessura da peça ao longo do maior caminho de fluxo Constante Variável

Posição [mm]	0.0	15.0	30.0	45.0	60.0	75.0	90.0	105.0	120.0	135.0
Valor [mm]	<input type="text"/>									

Warning: Applet Window

FIGURA 19 - Interface de entrada de dados de características do componente injetado

Em relação à espessura, ao longo do caminho de fluxo, o algoritmo do protótipo permite ao usuário considerar espessura constante ou variável.

Se o modelo escolhido for o *constante*, é necessário que o usuário digite esta característica, ao longo das posições que discretizam o caminho de fluxo. Entretanto, se o modelo escolhido for o *variável*, a placa, que representa o componente, é dividida em dez segmentos iguais, e para cada segmento o usuário deve informar a espessura.

No que diz respeito à área projetada do componente, o sistema possui uma ferramenta de auxílio, denominado **área projetada**, que possui um algoritmo de cálculo de área de figuras planas básicas como: circunferência, retângulo, coroa circular e triângulo. Na figura 20 pode ser observada esta ferramenta.

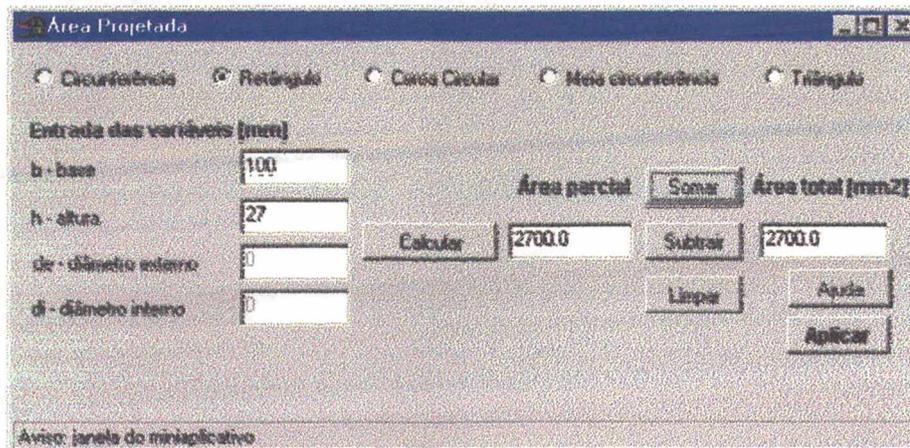


FIGURA 20 - Interface da ferramenta de auxílio ao cálculo de área projetada

A área projetada de uma peça injetada pode, simplificada, ser calculada pela sua decomposição nas áreas das figuras básicas que o *software* possui. Pelo somatório das diversas áreas, é obtida a área projetada da peça injetada. Para este cálculo, é considerado que o usuário conheça o ponto de injeção e a disposição espacial do componente no molde de injeção, em relação à placa móvel da máquina injetora.

Relativo às características de processamento, a **temperatura de injeção**, a **temperatura de extração** e a **temperatura do molde**, são necessárias para os cálculos realizados pelo sistema, como o tempo de resfriamento da peça e a simulação do processo. Entretanto, são sugeridas pelo sistema para auxiliar o usuário, temperaturas médias utilizadas no processo, a partir das faixas de valores apresentadas na base de dados de materiais termoplásticos. Da mesma maneira ocorre com a velocidade de injeção.

Conforme pode ser observado na figura 21, valores que se referem aos tempos do ciclo de injeção como fechamento, abertura, extração do componente, são informados ao sistema pelo usuário. Tal fato é devido à dificuldade de estimar

tais parâmetros, em função das características construtivas e funcionais de cada molde de injeção.

Do ponto de vista do processo, o tempo de recalque depende das dimensões e do tempo de resfriamento do ponto de injeção. Como o protótipo considera que a injeção na peça é direta, fica a critério do usuário, fornecer este dado (tempo de recalque) ao sistema. Contudo, se o usuário não o fizer ou desconhecer, o sistema estima o tempo de recalque em função do tempo de resfriamento da peça, conforme equações apresentadas em anexo.

The screenshot shows a software window titled "Característica do processo" with a standard Windows-style title bar. The window contains the following elements:

- Material:** "Matéria-prima utilizada - PP copolímero 20"
- Temperatura de injeção [C]:** Input field with value "250.0"
- Temperatura de extração [C]:** Input field with value "85.0"
- Temperatura do molde [C]:** Input field with value "55.0"
- Velocidade de injeção (cm³/s):** Input field with value "35.0"
- Tempos do ciclo de injeção:** A section with two radio buttons: "Conhece tempos" (unselected) and "Desconhece tempos" (selected).
- Tempo de fechamento (s):** Input field with value "0.0"
- Tempo de abertura (s):** Input field with value "0.0"
- Tempo de extração (s):** Input field with value "0.0"
- Tempo de recalque (s):** Input field with value "0.0"
- Buttons:** "Ajuda" and "Aplica" buttons at the bottom.
- Warning:** "Warning: Applet Window" text at the very bottom of the window.

FIGURA 21 - Interface de características do processo

Os dados de entrada de **características do molde de injeção** são o número de cavidades e o peso de moldagem². Na figura 22 pode ser observada esta interface.

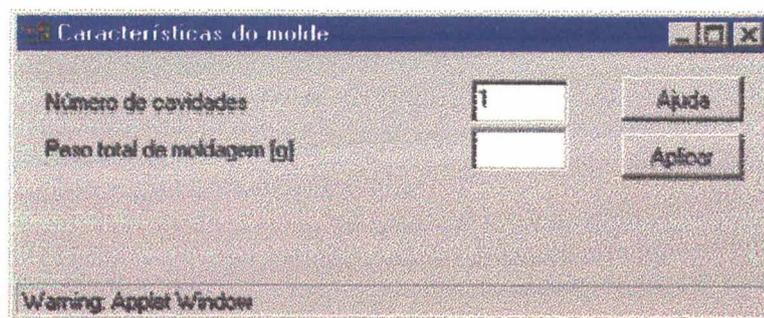
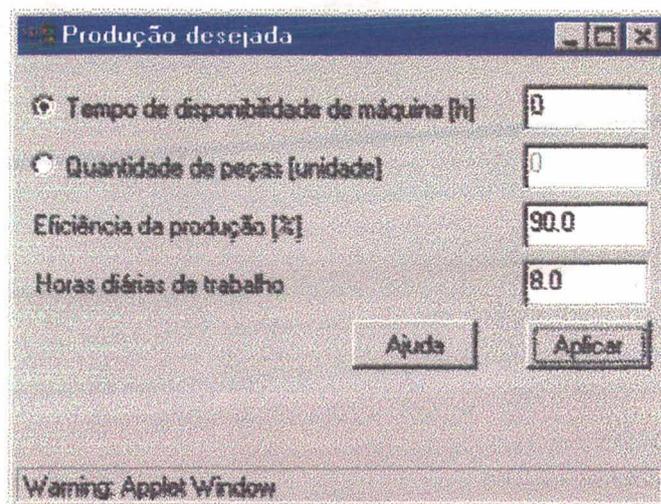


FIGURA 22 - Interface de entrada de dados de características do molde

Com relação ao tamanho do lote a ser produzido, denominado no protótipo de **produção desejada**, há a opção de estudo do número de peças produzidas, fornecendo ao sistema o tempo de disponibilidade de máquina ou a estimativa de tempo necessário para fabricar o lote de peças.

Outros fatores relacionados são a eficiência da produção e as horas diárias de trabalho do equipamento, conforme mostrado na figura 23.

² Peso de moldagem – termo muito utilizado na prática, que compreende a massa da peça injetada mais a massa dos canais de alimentação, sendo dependente do tipo de canais de alimentação (utilização de canais quente, frio ou os dois sistemas conjuntamente).



The image shows a Java applet window titled "Produção desejada". It contains four input fields with radio buttons for selection. The first field is "Tempo de disponibilidade de máquina [h]" with a value of 0. The second is "Quantidade de peças [unidade]" with a value of 0. The third is "Eficiência da produção [%]" with a value of 90.0. The fourth is "Horas diárias de trabalho" with a value of 8.0. There are two buttons: "Ajuda" and "Aplicar". At the bottom, there is a warning message: "Warning: Applet Window".

Field	Value
Tempo de disponibilidade de máquina [h]	0
Quantidade de peças [unidade]	0
Eficiência da produção [%]	90.0
Horas diárias de trabalho	8.0

FIGURA 23 - Interface de dados referentes à produção desejada

Baseado em [35] e [36], para estimar o custo de componentes injetados, são necessários dados fornecidos pelo usuário, divididos em quatro planilhas que relacionam custo hora/funcionário, custo hora/máquina injetora, custos do processo e custo dos insumos para fabricação do componente.

Na planilha **horas produtivas**, é calculado o custo hora/funcionário relacionando o número de funcionários empregados na produção, o total de horas produtivas ideal, e os custos dos funcionários. Na figura 24 é mostrada a interface do sistema para entrada de dados.

Dias do ano	365	Domingos/feriados	64
Dias úteis anualmente	301	Dias úteis mensalmente	25
Jornada de trabalho semanal	44	Horas de trabalho por dia	7
Horas úteis mês	183	Percentual de horas improdutivoas	10
Estimativa de horas improdutivoas	18	Horas de trabalho efetivas	164
Número de funcionários empregados na produção			
Total de horas produtivas			
Folha de pagamento dos funcionários e encargos sociais			
Custos gerais relativos aos funcionários	0		
Custo hora/funcionário			

Warning: Applet Window

FIGURA 24 – Tela de entrada de dados contendo informações relativas ao custo hora/funcionário.

Para o cálculo do **custo hora/máquina** injetora, são relacionados custos de energia elétrica, hora/funcionário de um funcionário alocado no equipamento, custo inicial do equipamento, custo de manutenção incidente na hora/máquina, conforme mostra a figura 25.

Injetora: null null null

Potência demandada[kW]	0	Custo de um funcionário [R\$/h]	
Potência instalada refrigeração[kW]	29.0	Eficiência do equipamento [%]	95.0
Custo energia elétrica [R\$/kWh]	0.09	Tempos mortos em geral [%]	3.0
Valor da máquina [R\$]		Custo manut. em relação hora máq. [%]	50.0
Tempo de amortização [anos]	4.0	Custo hora máquina [R\$/h]	

Warning: Applet Window

FIGURA 25 - Tela de entrada de dados contendo informações relativas ao custo hora/máquina.

Através do relacionamento dos custos hora/máquina e hora/funcionário, considerando o ciclo de injeção para a produção de um lote de mil unidades, é calculado o **custo do processo**, conforme mostrado na figura 26.

FIGURA 26 - Tela de entrada de dados contendo informações relativas ao custo do processo.

Por fim, considerando um milheiro de peças, é calculado o **custo dos insumos** referentes ao material plástico, pigmento e outros aditivos. Na figura 27, é mostrada a tela do sistema que contempla esta planilha.

FIGURA 27 – Tela de entrada de dados contendo informações relativas ao custo do material plástico e aditivos.

4.3.7 – Limitações do protótipo

Como o sistema protótipo está disponibilizado na Internet, se a conexão com o servidor da aplicação estiver interrompida, as bases de dados do sistema estarão indisponíveis, podendo inviabilizar sua utilização.

O tempo necessário para o carregamento do sistema no computador do usuário e o acesso às bases de dados, resumidamente, dependem da velocidade da conexão com a Internet.

Com relação aos cálculos para escolha da máquina injetora, o sistema está baseado na força de fechamento e na capacidade de injeção, não sendo considerados outros fatores, conforme descrito no item 6.2.

Nesta primeira versão, o protótipo não possui relatórios configuráveis que possam ser impressos, contendo os dados de entrada e saída do sistema, o que constitui uma limitação.

Dentre os materiais plásticos existentes na base de dados de sistemas apenas o material PP está caracterizado. Assim, a aplicação da simulação do processo no sistema está condicionada a este material. Foi iniciado um trabalho de caracterização de outras resinas plásticas. Através de um reômetro capilar RAAKE, disponível no EMC/LABMAT, foram feitas análises experimentais da viscosidade de materiais plásticos como PP, compostos de PP, PE, PS cristal.

CAPÍTULO 5

EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

Com o objetivo demonstrar o funcionamento do protótipo, são apresentados três exemplos de aplicações, relativos aos cálculos que podem ser realizados, como a determinação do número de cavidades de um molde de injeção, a seleção de máquinas injetoras e um estudo completo³.

5.1 Exemplo I – Determinação do Número de Cavidades de um Molde de Injeção

Para o projeto de moldes de injeção, inicialmente são conhecidas a demanda de produção, a geometria e as tolerâncias do componente, o material plástico, bem como dados da injetora a ser utilizada. [36, 41]

Tendo por base os requisitos anteriormente citados, o próximo passo consiste na determinação do número de cavidades que terá o molde. Para a determinação do número de cavidades, os critérios são [36, 42]:

- a área das placas porta moldes;
- a capacidade de injeção e a taxa de plastificação do grupo injetor;

³ Estudo completo – este termo faz referência as informações que o protótipo pode fornecer ao usuário em relação ao que pode ser fornecido. Neste caso, este tipo de estudo, se refere ao estudo mais completo que pode ser realizado pelo sistema.

- a força de fechamento;
- a máxima distância entre as colunas da máquina injetora;
- o tamanho das placas porta moldes, para as máquinas sem colunas e em situações especiais⁴ para as máquinas com colunas;
- o peso do molde;
- a máxima pressão de injeção;
- as dimensões e tolerâncias do componente;
- o custo do molde de injeção.

Por vezes, os critérios descritos anteriormente são utilizados sem otimização, como por exemplo, considerando apenas o critério custo do molde. Todavia, é desejável que sejam todos relacionados e atendidos para otimizar o projeto do molde e a produção do componente.

O protótipo INJNET, nesta versão, determina o número de cavidades considerando dois critérios simultaneamente: a máxima força de fechamento necessária e a máxima capacidade de injeção de uma máquina injetora selecionada.

Em se tratando do critério da força de fechamento, o número máximo de cavidades é determinado pelo número inteiro resultante da razão entre a força de fechamento nominal da injetora e a tonelagem⁵ necessária para uma cavidade do componente. A experiência tem mostrado que, na prática, quando possível,

⁴ Situações especiais para as máquinas com colunas – Em função da geometria e dimensões do componente, o molde de injeção pode ficar maior do que as placas da máquina injetora, sendo esta uma situação indesejável.

⁵ Tonelagem – esse termo é um sinônimo de força de fechamento, muito utilizado na prática e catálogos técnicos, sendo a força de “1 ton” igual 0,1 kN.

utiliza-se, no máximo, 80% da força máxima de fechamento da injetora, devido a vida útil do equipamento.

Sobre o critério da capacidade de injeção da máquina injetora, sem a utilização de recursos do processo, é recomendado utilizar 20 a 85% desta capacidade, dependendo da tolerância do componente e do material plástico [28, 38]. O sistema calcula o número máximo de cavidades, levando em consideração a razão entre o peso do componente e 85% do peso máximo de injeção da máquina injetora, para o material plástico selecionado.

Desta forma, o software determina o número máximo de cavidades possíveis através da escolha do maior valor entre os dois critérios, sendo este valor um número inteiro.

O componente utilizado para o exemplo II, foi uma tampa em PP, com geometria circular, com espessura constante de 1 mm e injeção lateral, conforme mostrado na figura 28.

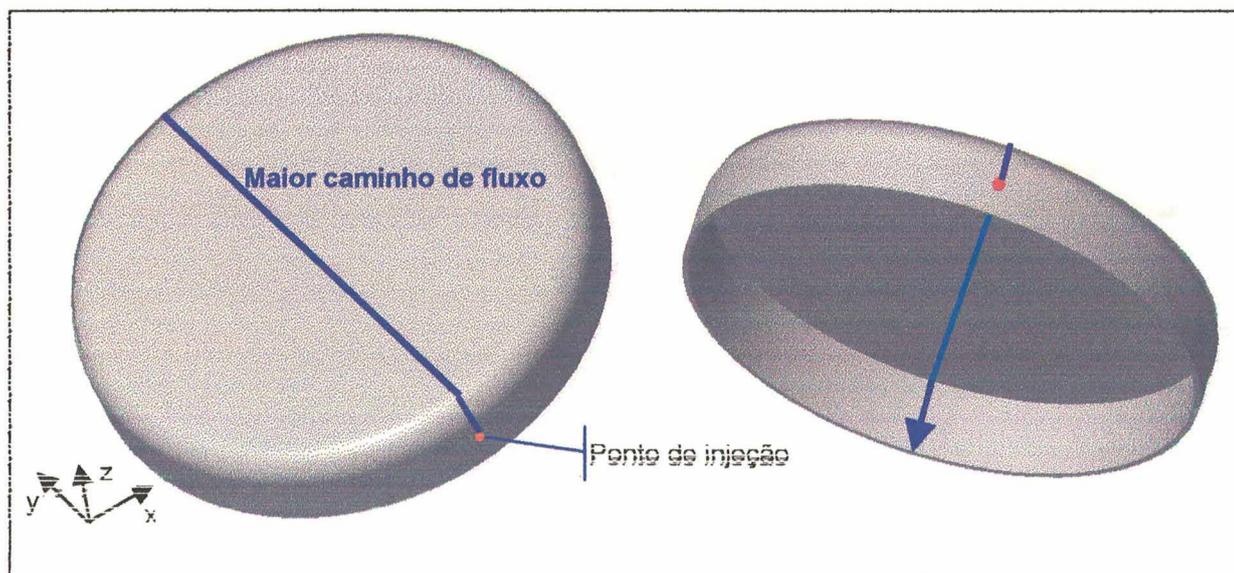


FIGURA 28 – Geometria do componente em estudo

A tabela 07 mostra as especificações técnicas da mesma, os dados de processo e a máquina injetora a ser utilizada.

TABELA 07 – Dados de entrada do sistema

Características	Valores
Peso [g]	15
Diâmetro externo [mm]	90
Altura [mm]	12
Área projetada [mm ²]	6361 (em relação ao plano xy)
Material termoplástico	PP
Maior espessura da peça [mm]	1
Espessura ao longo do caminho de fluxo [mm]	1 – constante
Maior caminho de fluxo [mm]	102
Parâmetros do processo ⁶	Temperatura de injeção [° C] – 250 Temperatura do molde [° C] – 55 Temperatura de extração [° C] – 85

Da mesma forma que no estudo realizado anteriormente, foram fornecidos ao sistema dados referentes à peça, bem como foram utilizadas as informações existentes na base de dados de materiais plásticos, como parâmetros de processamento.

A máquina injetora selecionada, no banco de dados de injetoras do sistema, foi uma Sandretto de 100 toneladas de força de fechamento e capacidade de injeção de 126g de PP. Na figura 29, é mostrada a base de dados de máquinas injetoras com os dados técnicos do equipamento selecionado.

⁶ Parâmetros considerados pelo sistema, sendo que o usuário não tem como alterá-los.

Base de dados de máquinas injetoras

Características Técnicas

Nome do fabricante	sandretto	
Série/modelo	260-100sesalc	
Diâmetro do parafuso injetor [mm]	60	
Volume teórico de injeção [cm ³]	175	Material termoplástico
Capacidade máxima de injeção [g]	126.7	PP
Velocidade máxima de injeção [cm ³ /s]	142	
Capacidade de plastificação [g/s]	19	
Pressão sobre o material [bar]	1487	
Força de fechamento [ton]	100	
Altura mínima/máxima do molde [mm]	100/460	
Dimensões das placas [mm]	560x560	Ajuda
Passagem entre colunas [mm]	370x370	Aplicar
Curso de abertura [mm]	410	
Potência total instalada [kW]	25.3	

Warning: Applet Window

FIGURA 29 – Tela da base de dados com a máquina injetora selecionada.

Após a entrada de todos os dados, necessários para este tipo de estudo, o sistema habilita a tecla **Processar Dados**, para a realização dos cálculos, conforme mostra a figura 30.

Os resultados apresentados pelo INJNET, para este caso mostrado na figura 30, indicaram um número máximo de oito cavidades.

Determinação do número de cavidades

Tipo de estudo	Material:	PP copolimero 20
Características da peça	Pressão de injeção [bar]	134.45
Material Termoplástico	Força de Fechamento [ton.]	11.97
Características do processo	Utilização da f. fechamento [%]	11.97
Características do molde	Utilização da cap. injeção [%]	11.8
Máquinas Injetoras	Maq. Injetoras Seleccionadas	sandretto 260-100sesaic 40
Produção desejada		
Dados de custos		
Processar Dados		
Opções		
Ajuda		
Defeitos de Injeção	Molde	
Progresso [%]	Custo aproximado do molde	
Concluído	Número max. de cavidades	8.0

FIGURA 30 – Tela de resultados do exemplo I.

Os valores calculados pelo INJNET mostram, que para cada cavidade serão necessários 11,9% da capacidade de fechamento e 11,8% da capacidade de injeção da máquina injetora. Para as 8 cavidades serão necessárias 94,4% da capacidade de injeção e 95,7% da força de fechamento. Assim, o critério que determinou o máximo número de cavidades foi a força de fechamento.

5.2 Exemplo II – Seleção de Máquinas Injetoras

A seleção de máquinas injetoras compreende critérios e características do equipamento semelhantes à determinação do número de cavidades, quais sejam [36, 42]:

- a área das placas porta moldes;
- a taxa de plastificação do grupo injetor, e a capacidade de injeção;
- a força de fechamento;
- a máxima distância entre as colunas da máquina injetora;
- o tamanho das placas porta moldes, para as máquinas sem colunas e em situações especiais para as máquinas com colunas;
- o peso do molde;
- a máxima pressão de injeção;
- a tolerância e tamanho do componente;

Adicionalmente, outros critérios são utilizados, que são [28, 38]:

- o material plástico;
- o volume de produção;
- a repetibilidade e estabilidade do equipamento;
- os recursos de regulagem do processo;

Nesta versão do protótipo, o sistema considera os critérios força de fechamento (80% da capacidade nominal) e capacidade de injeção (entre 20 a 85% da capacidade da máquina injetora para o material em estudo).

Para o exemplo II, foi selecionado um recipiente retangular com espessura constante de 0.9 mm, com ponto de injeção central e sendo utilizado o material PP. A figura 31 mostra a geometria da peça, o ponto de injeção e o maior caminho de fluxo.

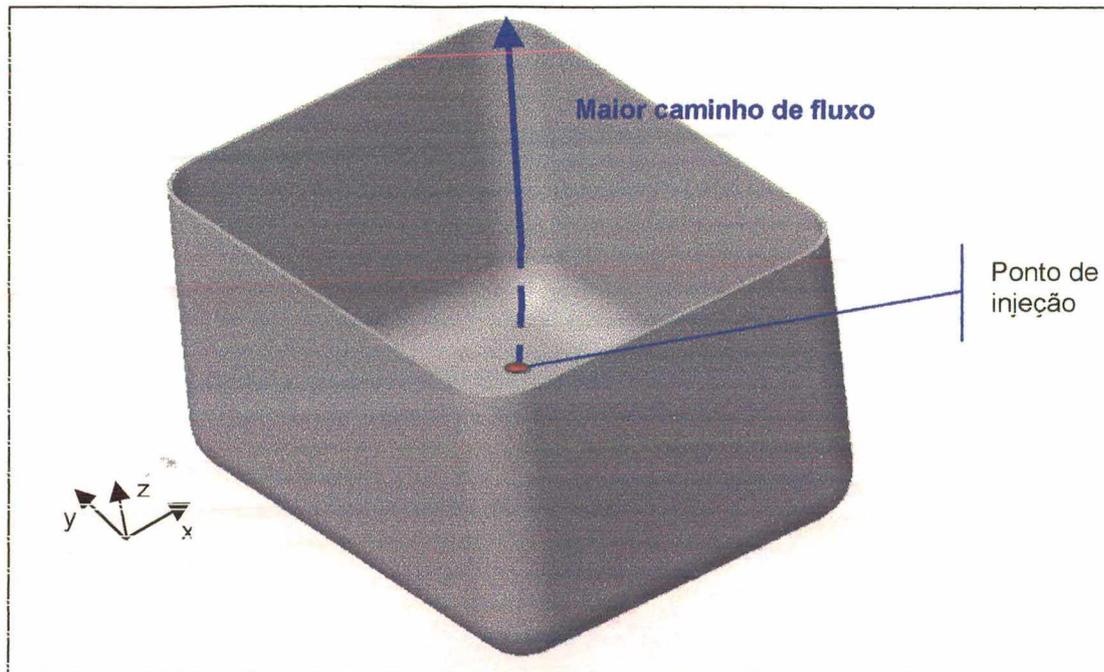


FIGURA 31 – Geometria do componente em estudo

A tabela 08 mostra as especificações técnicas, e número de cavidades do molde de injeção, utilizados como dados de entrada do sistema. Os parâmetros do processo, como as temperaturas de injeção, extração e do molde, são sugeridas pelo sistema, conforme a nota de rodapé 2 do exemplo I.

TABELA 08 – Características geométricas do componente

Características	Valores
Peso [g]	23,88
Dimensões X x Y x Z [mm]	80 x 100 x 64
Área projetada [mm ²]	8000 (em relação ao plano xy)
Material termoplástico ⁷	PP
Maior espessura da peça [mm]	0,9
Espessura ao longo do caminho de fluxo [mm]	0.9 – constante
Maior caminho de fluxo [mm]	145

⁷ Material plástico selecionado a partir da base de dados do INJNET

Os resultados obtidos do estudo com o sistema INJNET, apresentados na figura 32, mostram que para uma cavidade são necessários 130,82 ton de força de fechamento. O sistema apresentou como resultado duas máquinas injetoras, a partir dos equipamentos disponíveis na sua base de dados.

Escolha da Máquina Injetora	
Tipo de estudo	Material: PP copolímero 20
Características da peça	Pressão de injeção [bar] 292.02
Material Termoplástico	Força de Fechamento [ton.] 130.82
Características do processo	
Características do molde	
Máquinas Injetoras	Maq. Injetoras Selecionadas
Produção desejada	orientino1800h75055
Dados de custos	sandretto612.16545
Processar Dados	
Opções	
Ajuda	
Defeitos de Injeção	Molde
Progresso [%] Concluído	Costo aproximado do molde
	Número de cavidades 4

FIGURA 32 – Tela de resultados do estudo

5.3 Exemplo III – Estudo Completo

O referido estudo foi realizado considerando uma caixa com geometria retangular em PP, a ser injetada centralmente, conforme demonstrado na figura 33.

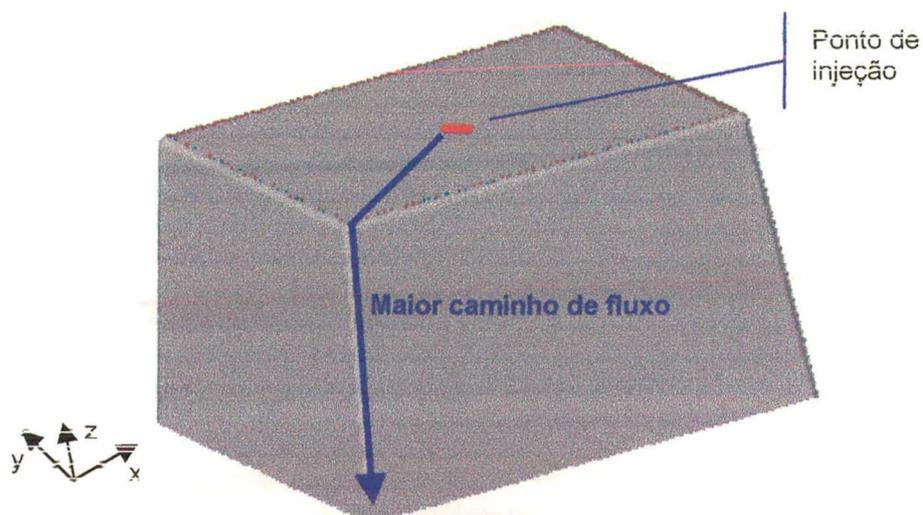


FIGURA 33 – Geometria do componente em estudo.

Na figura 34 são mostradas as características geométricas e o peso do componente.

Características da peça										
Peso [g]	58.6									
Área projetada [mm ²]	Cálculo		6375.0							
Maior espessura da peça [mm]	5									
Maior caminho de fluxo da peça [mm]	147									
Espessura da peça ao longo do maior caminho de fluxo										<input checked="" type="radio"/> Constante <input type="radio"/> Variável
Posição [mm]	0.0	14.7	29.4	44.1	58.8	73.5	88.2	102.9	117.6	132.3
Valor [mm]	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
										<input type="button" value="Ajuda"/> <input type="button" value="Aplicar"/>
Warning: Applet Window										

FIGURA 34 – Entrada de dados da geometria e o peso do componente

O componente possui espessura de 3 mm ao longo do maior caminho de fluxo, que mede 147 mm. O termo maior espessura da peça, que é igual a 5 mm, representa um detalhe na peça que não está situado ao longo do maior caminho

de fluxo. Na tabela 09, são apresentados os dados de entrada com as características do componente.

TABELA 09 – Características do componente, dados de entrada no sistema

Características	Valores
Peso [g]	58.6
Dimensões X x Y x Z [mm]	85 x 75 x 50
Área projetada [mm ²]	6375 (em relação ao plano xy)
Material termoplástico*	PP
Maior espessura da peça [mm]	5
Espessura ao longo do caminho de fluxo [mm]	3.0 – constante
Maior caminho de fluxo [mm]	147

As condições de processamento são fornecidas ao sistema, após a escolha do material plástico, conforme mostra a figura 35.

Característica do processo

Matéria-prima utilizada - PP copolímero 20

Temperatura de injeção [C]

Temperatura de extração [C]

Temperatura do molde [C]

Velocidade de injeção [cm³/s]

Tempos do ciclo de injeção

Conhece tempos Descorhece tempos

Tempo de fechamento [s]

Tempo de abertura [s]

Tempo de extração [s]

Tempo de recalque [s]

Warning: Applet Window

FIGURA 35 – Características do processo, dados de entrada

Os tempos do ciclo de injeção correspondentes ao tempo de fechamento, tempo de abertura e tempo de extração, foram fornecidos pelo usuário. O tempo de recalque na figura 35 está com valor zero, significando que o usuário optou pelo valor a ser calculado pelo sistema.

O molde de injeção possui 4 cavidades sendo que o peso de injeção, desconsiderando os canais de alimentação, é de 234,4 g.

A máquina injetora utilizada no exemplo é uma Sandretto 790 – 200 Sesa LC, que possui 200 toneladas de força de fechamento. Na figura 36 são apresentadas as características da máquina injetora, presente na base de dados.

Características Técnicas	
Nome do fabricante	sandretto
Série/modelo	790-200sesalc
Diâmetro do parafuso injetor [mm]	05
Volume teórico de injeção [cm ³]	546
Capacidade máxima de injeção [g]	395,3
Velocidade máxima de injeção [cm ³ /s]	227
Capacidade de plastificação [g/s]	30,7
Pressão sobre o material [bar]	1450
Força de fechamento [ton]	200
Altura mínima/máxima do molde [mm]	210/630
Dimensões das placas [mm]	770x770
Passagem entre colunas [mm]	510x510
Curso de abertura [mm]	550
Potência total instalada [kW]	44,7
Material termoplástico	PP

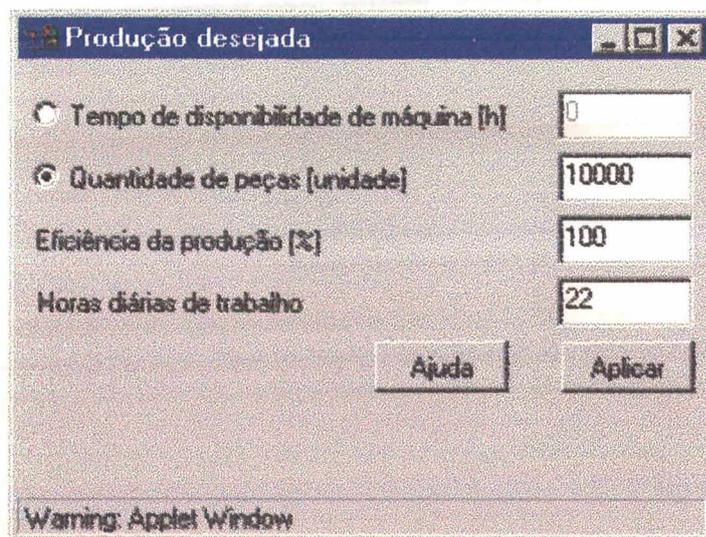
Ajuda
Aplicar

Warning: Applet Window

FIGURA 36 – Máquina injetora selecionada para o exemplo III

Como dados da produção dos componentes neste exemplo, foram considerados 22 horas de trabalho diário da máquina injetora, um lote a produzir

de 10000 unidades e a eficiência da produção como 100%. Na figura 37, é apresentado a interface do sistema para entrada dessas informações no sistema.



Parâmetro	Valor
Tempo de disponibilidade de máquina [h]	0
Quantidade de peças [unidade]	10000
Eficiência da produção [%]	100
Horas diárias de trabalho	22

FIGURA 37 – Entrada de dados relativos à produção desejada.

A partir dos dados de entrada, fornecidos ao sistema, este calcula os tempos do ciclo de injeção (injeção, recalque, resfriamento, plastificação), a pressão e a força de fechamento requeridos, além de dados de alocação do equipamento, através da estimativa da produção por hora.

A figura 42 mostra os resultados apresentados indicando, por exemplo, que o equipamento escolhido, a partir da base de dados de máquinas injetoras, é adequado para injetar a peça, uma vez que o mesmo possui uma capacidade de plastificação de até 395.3 g de PP, suficiente para a produção desta peça, que requer 59,3% da capacidade da máquina. Entretanto, a força de fechamento necessária, apresenta valor baixo, indicando que na regulação do processo há que se ter cuidado com o molde de injeção, para que este não sofra deformações excessivas devido a valores inadequados deste parâmetro.

À produção, peças por hora apresentada pelo software, foi de 272 unidades, estimando a execução do lote de 10000 unidades em 36,7 horas.

Para o cálculo do tempo de ciclo de injeção, neste exemplo, foi considerado o tempo de resfriamento, por ser o mais longo, em detrimento do tempo de plastificação, visto que iniciam simultaneamente e são independentes.

Mediante a apresentação dos dados do ciclo de injeção, o software habilita a opção “dados de custo”. Na figura 38, é apresentada a planilha de custo hora/funcionário.

Dias do ano	365	Domingos/feriados	64
Dias úteis anualmente	301	Dias úteis mensalmente	25
Jornada de trabalho semanal	44	Horas de trabalho por dia	7
Horas úteis mês	183	Percentual de horas improdutivoas	10
Estimativa de horas improdutivoas	18	Horas de trabalho efetivos	164
Número de funcionários empregados na produção	10		
Total de horas produtivas	1649		
Folha de pagamento dos funcionários e encargos sociais	4000		
Custos gerais relativos aos funcionários	0		
Custo hora/funcionário	2.42		

FIGURA 38 – Planilha de cálculo do custo hora/funcionário para o exemplo III

Para o custo hora/máquina o sistema necessita de dados da máquina injetora como a potência demanda [kW]. Quando da seleção da máquina injetora na base de dados, o sistema alimenta a planilha de custo hora/máquina, por estarem integradas, fornecendo a informação necessária. Dados relativos à potência instalada de refrigeração e demais itens necessitam ser fornecidos pelo usuário. Na figura 39, são apresentados os dados da planilha custo hora/máquina para este exemplo de aplicação.

Custo hora máquina

Injetora: sandretto 750-200ccsal: 55

Potência demandada (kW)	34.0	Custo de um funcionário (R\$/h)	2.42
Potência instalada refrigeração (kW)	29.0	Eficiência do equipamento (%)	95.0
Custo energia elétrica (R\$/kWh)	0.09	Tempo morto em geral (%)	3.0
Valor da máquina (R\$)	200000	Custo mant. em relação hora máq. (%)	40.0
Tempo de amortização (anos)	4.0	Custo hora máquina (R\$/h)	20.41

Volta Aplica

Warning: Applet Window

FIGURA 39 – Dados de entrada da planilha custo hora/máquina

Os custos do processo, tendo por base a produção de um lote de mil unidades do componente em estudo, estão apresentados na figura 40. O tempo do ciclo de injeção e o número de cavidades foram inseridos nos respectivos campos pelo sistema, tendo por base os cálculos anteriores realizados.

Custos do processo

Injetora e o molde de injeção

Custo do molde (R\$)	25000	Tempo de ciclo (s)	53.03
Amortização		Número de cavidades	4
Tempo (anos)	4	Tempo mont. e embalagem (s)	8
Ciclos (número)		Perdas (%)	0
Custo de manutenção (%)	40	Custo hora molde (R\$/h)	2
Custo hora molde (R\$/hora)	1.8	Custo hora máquina (R\$/h)	20.41
Valores iniciais		Custo do processo (R\$/milh.)	78.84
Tempo de setup do molde (min)	0		
Tempo de mocho p/ milheto (min)	0		
Funcionários			
Número de funcionários dedicados	1		
Custo dos funcionários (R\$/milheto)	8.91		

Volta Aplica

Warning: Applet Window

FIGURA 40 – Planilha de cálculo custo do processo, para o exemplo III.

Na planilha custo dos insumos são calculado os custos referentes ao material plástico e aditivos, conforme mostra a figura 41.

	Descrição	Quantidade	Custo unitário [R\$]
Material plástico [Kg]	Polipropileno	58,6	3,50
Pigmento [%]	vermelho	2	10
Outros aditivos [%]	talco	10	2
Custo dos insumos [R\$milheiro]		228,54	

FIGURA 41 – Cálculo do custo do material plástico e aditivos.

Na tabela 10, são apresentados, resumidamente, os dados necessários para a estimativa de custos do componente.

TABELA 10 – Resumo dos dados de custos considerados no exemplo III

Custo hora funcionário [R\$/h]	2,42
Custo material, pigmento e aditivo [R\$/kg]	3,50, 10,00 e 2,00
Custo hora/máquina [R\$/h]	20,41

A partir dos dados inseridos no sistema, são apresentados os custos referentes ao processo, aos insumos e à mão de obra.

Mediante a apresentação de uma seqüência de dados e gráficos na tela do computador, através da janela do navegador Internet que foi carregado, os resultados do estudo são fornecidos ao usuário (ver figura 42).

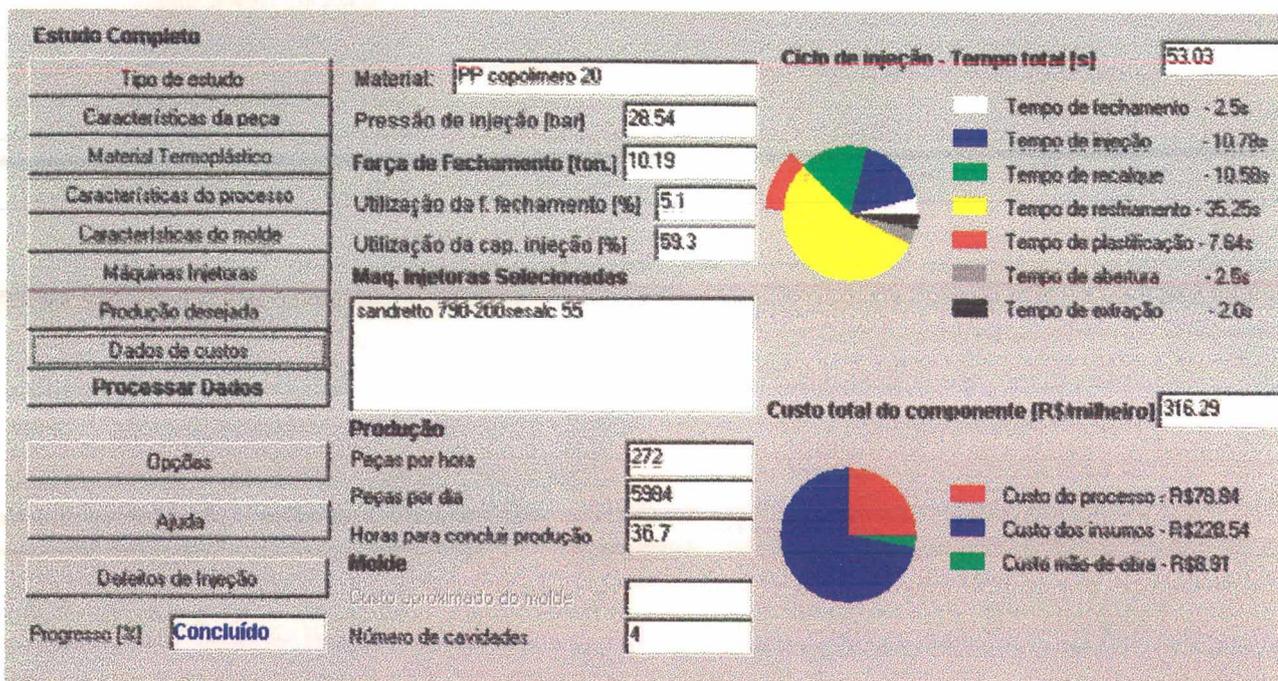


FIGURA 42 – Tela de resultados do exemplo III

CAPÍTULO 6

Conclusões e Recomendações

6.1 – Conclusões

O protótipo, desenvolvido para aplicação via Internet, possui informações relativas as áreas de material plástico, processo de injeção, moldes de injeção e custos, segundo os meios de disponibilização de informações denominados base de dados e cálculos matemáticos.

Muitos dos sistemas computacionais usualmente disponíveis no mercado conseguem auxiliar os profissionais da área de maneira muito específica, uma vez que se baseiam fundamentalmente na representação geométrica da peça ou do molde, tornando a tarefa de tomar decisões, muitas vezes, demorada, dependente de especialistas e sem informações relativas à produção. Em relação aos sistemas “locais” analisados, estes possuem ferramentas que contemplam poucas áreas relacionadas ao projeto e não são integrados.

O protótipo desenvolvido neste trabalho se difere dos sistemas avaliados, principalmente, por disponibilizar as informações somente na Internet, integrando as 4 áreas de conhecimento relacionados ao projeto, quais sejam: material plástico, processo de injeção, moldes de injeção, custos. Contudo, o protótipo contempla somente dois dos meios de disponibilização de informações quais sejam: base de dados e cálculos matemáticos.

Através da análise dos sistemas disponíveis via Internet, pode se perceber que o número de aplicativos vem tendo crescimento e aumentando a sua importância como meio de difusão e acesso à informações. Outro ponto a ser considerado diz respeito aos primeiros desenvolvimentos comerciais de sistemas integrados, utilizando um misto de sistemas “locais” e via Internet, dando maior ênfase aos conceitos de engenharia simultânea. Com esses sistemas, informações outrora fragmentadas começam estar reunidas e integradas.

Conforme apresentado nos exemplos de aplicações muitos são os critérios para determinação do número de cavidades e seleção de máquinas injetoras, sendo que os critérios adotados no protótipo são os principais e mais comuns utilizados na prática. Com isso é possível concluir que, muitas vezes, essas tomadas de decisões não são otimizadas e os exemplos mostram que através do sistema computacional proposto várias alternativas para o projeto podem ser estudadas.

Devido as características das decisões e informações necessárias, o modelo proposto se aplica ao projeto de componentes injetados na fase de projeto preliminar.

O protótipo é a base de um sistema onde informações, relativas as áreas de conhecimentos relacionadas ao projeto de componentes injetados, possam estar integradas e disponíveis a equipes de desenvolvimento em um ambiente de engenharia simultânea, auxiliando a tomada de decisões. A disponibilização do software via Internet permite a utilização independente da localização do usuário.

6.2 – Recomendações de Trabalhos Futuros

Para a continuidade do desenvolvimento do modelo proposto, sugere-se para os trabalhos futuros:

- Aplicar o INJNET para diversas geometrias de componentes injetados, tendo-se o enfoque de validação experimental do sistema, focalizado no modelo de simulação do processo de injeção. Nessa validação, é proposta a comparação entre os resultados apresentados pelo sistema e aqueles obtidos de ensaios em uma máquina injetora para as seguintes variáveis: velocidade de injeção, pressão de injeção e força de fechamento. A partir dos resultados experimentais, o sistema pode ser ajustado;
- Desenvolver um pós-processador para o comando da máquina injetora disponível no EMC/UFSC, tendo como base, os resultados fornecidos pelo sistema. Estes resultados seriam uma pré-regulagem do processo de moldagem;
- Ampliar os recursos do sistema para estudos mais aprofundados, permitindo por exemplo, a leitura de desenhos gerados em sistema CAD;
- Ampliar os recursos do sistema para escolha de máquinas injetoras, considerando, por exemplo, custo hora/máquina, espaço fabril, tamanho de placas, distância entre colunas, características de controle de processo do equipamento e tolerância especificada da peça, assim como o aumento de critérios para determinação do número de máquinas injetoras e informações cadastradas no banco de dados.

- Ampliar os recursos do sistema para a determinação do número de cavidades do molde de injeção, considerando, por exemplo, aspectos de custo do molde, custo do componente, ciclo de injeção, adequação da máquina injetora disponível, tempo de produção de um lote componente;
- Desenvolver um módulo de estimativa do custo de moldes de injeção;
- Disponibilizar no sistema os outros dois tipos de meios de disponibilização de informações propostos, quais sejam: literatura internet e sistemas especialistas;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRITO, A. M. C. G. “**Simulação do escoamento de termoplásticos em placas moldadas por injeção**”, Tese (Doutorado em engenharia de materiais); Departamento de Polímeros da Universidade do Minho, Guimarães, 1995.
- [2] WOMACK, James P.; Jones, Daniel T.; Roos, Daniel. **A máquina que mudou o mundo**. [S.l.] : [s.n.], 1992.
- [3] C-MOLD KNOWHOW, **White paper**. disponível na internet.
http://www.cmold.com/knowhow_info/whitepaper.pdf. Agosto de 1999
- [4] MALLOY, Robert A. **Plastic part design for injection molding – an introduction**. 1. Ed. München : Hanser Gardner, 1994.
- [5] **GE Engineering Thermoplastics – Design guide**, GE Plastics. Junho de 1997
- [6] GORDON, Joseph. **Total quality process control for injection molding**. 1. Ed. München : Hanser Gardner, 1993.
- [7] BACK, Nelson; FORCELLINI, Fernando A.; **Projeto de produtos**, Apostila da disciplina projeto de produtos, curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, 1998.
- [8] OGLIARI, André. **Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetadas**. Florianópolis, 1999. Tese (doutorado em engenharia mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.
- [9] **Miniflow**, Disponível na Internet.
<http://www.m-base.de/products/index/simul.htm>. Janeiro de 2001

- [10] POUZADA, António Sérgio. **Projecto de peças em plástico** – Textos de apoio à disciplina projecto de peças. Universidade do Minho, departamento de engenharia de Polímeros. Guimarães, 1997.
- [11] **Design for Manufacture: Injection Molding 2.0** . Boothroyd Dewhurst Inc. 1997
- [12] **CAMPUS**. Disponível na Internet. <http://www.campusplastics.com/>. Janeiro de 2001
- [13] **Dupont Camdo**, <http://www.rapra.net/software/camdoreview/camdo.html>
Janeiro de 2001
- [14] **MPA – Moldflow Plastics Advisers**, Moldflow Corporation, disponível na Internet www.moldflow.com/products/MPA em fevereiro/2001
- [15] Tecnologia del Plástico; **CAD y CAE Aplicados al diseño de moldes**; n. 113, febrero 2001.
- [16] DUFF, Albert L. “**Increased Speed to Market Usign CAE Simulation for Injection Molded Plastics Parts**”, Moldflow Corporation, Antec 2000. May, 2000
- [17] KAZMER, David. **Cost Estimator**. Disponível na Internet [.http://www.ecs.umass.edu/mie/faculty/kazmer/imcost/imcost.html](http://www.ecs.umass.edu/mie/faculty/kazmer/imcost/imcost.html), Janeiro de 2001
- [18] **COLE-PARMER: Chemical Resistance Database**. Disponível na Internet. <http://www.coleparmer.com/techinfo/chemcomp/icrd2.asp>. Setembro de 2001.
- [19] **GE Plastics Design Tools**, disponível na Internet. <http://www.gepolymerland.com/design/toolbox.html>. janeiro de 2001
- [20] **Ticona Material Selector**, disponível na Internet. <http://www.ticona-us.com/Selection/Query.cfm?INITIAL=TRUE&RESET=ISO#>. Janeiro de 2001

- [21] **Rapra KBS**, disponível na Internet. <http://www.rapra.net/kbsreview.htm>.
Janeiro de 2001
- [22] **C-Mold KMS**. Disponível na Internet.
http://www.cmold.com/knowhow_info/knowhow.html. Janeiro de 2001
- [23] TURNG, Lih-Sheng.; LOTTEY, John.; MAHISHI, Manjunath.; YILDIRIM, Nur.; DAMLE, Mandar N.; GUPTA, Bharat. “**Application of Internet and Web Technologies for Management of Molding Know-How**”, C-Mold, Ithaca, New York, USA, Antec 2000. May, 2000
- [24] BERNHARDT, Anne.; BERTACCHI, Giorgio.; KASSA, Natalia. “**The Challenges Facing CAE of Injection Molding as We Enter The Next Millenium**”, Plastics & Computer Inc., Antec 2000. May, 2000
- [25] MARTINS, Alejandro.; BARCIA.; Ricardo M. PACHECO.; Roberto C. S. STEIL, Andrea.; LEE, Rosina Webe. “**Desenvolvimento de um ambiente para assessoria e suporte empresarial virtual através de Internet**”, Curso de pós-graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 1998
- [26] ENGELSTEIN, Geoffrey. ‘**Portals to the millenium: Internet’99**. ANTEC’99. New York City, 1999
- [27] D’ÁVILA, Akira Marcos. **Processo de Moldagem por Injeção de Polímeros Semicristalinos – Caracterização e simulação assistida por computador**. Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina
- [28] SMITH, Alan. “**How to choose a plastics injection moulding machine**”, 1. ed. Bristol : AMI Business Publishing, 1995.
- [29] **How to select a plastics injection moulding machine**. Tat Ming Engineering Works Ltd. Disponível na Internet
<http://www.catalog.com.hk/tatming/index.html>. Abril de 1999.
- [30] Manual máquinas injetoras Semeraro, comando SEF 100. 1996

- [31] **Prospector Web**. Disponível na Internet.
<http://PrWeb.idesinc.com/tools/tshoot4.htm>. Março de 1998
- [32] OPP. **Boletim técnico nº 005 - Moldagem por injeção problemas, causas e soluções**. 1998
- [33] MARAGHI, Ron. **Defeitos de moldagem na injeção de plásticos**. Salvador: Plassoft, 1997
- [34] Apostila Sebrae. **Vendas indústria e custos indústria**, Sebrae/SC, 1998?
- [35] Ferreira, Cristiano, V.; **Metodologia de desenvolvimento e estimativa de custos de componentes injetados**. Exame de qualificação, 1999 – trabalho não publicado.
- [36] MENGES, Georg; MOHREN, Paul. **How to make injection molds**. 2. Ed. München : Hanser Gardner, 1993.
- [37] **How to select a plastics injection moulding machine**. Tat Ming Engineering Works Ltd. Disponível na Internet
<http://www.catalog.com.hk/tatming/index.html>. Abril de 1999.
- [38] HELLERICH, Walter; HARSCH, Günther; HAENLE, Siegfried; **Guía de materials plásticos – Propriedades, ensayos, parámetros**. 1 Ed. Barcelona : Hanser Gardner, 1992.
- [39] **Catálogo Técnico Termotec**, Termotec Termoplásticos Técnicos Ltda.
- [40] Catálogo de máquinas injetoras Semeraro, Série Otto - Advanced Technology, março, 1996
- [41] GASTROW, Hans. **Injection molds – 108 Proven designs**. München : Hanser Gardner, 1993.
- [42] REES, Herbert. **Mold engineering**. 1 ed. München : Hanser Gardner, 1995.
- [43] Manual de máquinas injetoras Arbug, 04/1997

ANEXO

Equações utilizadas para o cálculo de tempos do ciclo de injeção

$$t_{\text{recalque}} = 0,3 * t_{\text{resfriamento}} \quad [43]$$

$$t_{\text{injeção}} = \frac{V}{v_{\text{injeção}}}$$

$$t_{\text{plastificação}} = \frac{m * 3600}{C_{\text{injeção}}} \quad [37]$$

$$t_{\text{resfriamento}} = \frac{s^2 * \ln\left(\frac{8}{\pi^2} * \frac{(T_m - T_w)}{(T_e - T_w)}\right)}{\pi * a} \quad [36]$$

$$t_{\text{ciclo}} = t_{\text{recalque}} + t_{\text{injeção}} + (\text{o maior valor entre } t_{\text{plastificação}} \text{ e } t_{\text{resfriamento}}) + t_{\text{abertura}} + t_{\text{extração}} + t_{\text{fechamento}}$$

Legenda:

t_{ciclo}	tempo do ciclo de injeção [s]
t_{recalque}	tempo de recalque [s]
$t_{\text{plastificação}}$	tempo mínimo de plastificação [s]
$t_{\text{resfriamento}}$	tempo de resfriamento [s]
t_{abertura}	tempo de abertura [s]
$t_{\text{extração}}$	tempo de extração [s]
$t_{\text{fechamento}}$	tempo de fechamento [s]
V	volume [cm ³]
$v_{\text{injeção}}$	velocidade de injeção [cm ³ /s]
m	massa do componente [g]
$C_{\text{injeção}}$	capacidade de plástificação [g/s]

s	espessura [mm]
T_m	temperatura de injeção [°C]
T_w	temperatura do molde [°C]
T_e	temperatura de extração [°C]
a	condutividade térmica do material plástico