

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

**METODOLOGIA PARA AS FASES DE PROJETO  
INFORMACIONAL E CONCEITUAL DE COMPONENTES  
DE PLÁSTICO INJETADOS INTEGRANDO OS  
PROCESSOS DE PROJETO E ESTIMATIVA DE CUSTOS**

**Cristiano Vasconcellos Ferreira**

**Florianópolis, Santa Catarina**

**METODOLOGIA PARA AS FASES DE PROJETO INFORMACIONAL E  
CONCEITUAL DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS INTEGRANDO  
OS PROCESSOS DE PROJETO E ESTIMATIVA DE CUSTOS**

Por

**Cristiano Vasconcellos Ferreira**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de doutor em engenharia mecânica.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:** Projeto de Sistemas Mecânicos

**ORIENTADOR:** Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng.

**CO-ORIENTADOR:** André Ogliari, Dr. Eng.

**FLORIANÓPOLIS, SANTA CATARINA**

**MAIO DE 2002**

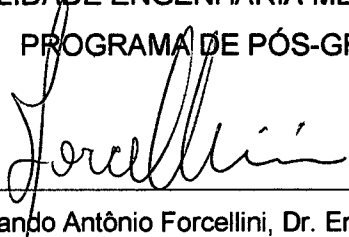
**METODOLOGIA PARA AS FASES DE PROJETO INFORMACIONAL E  
CONCEITUAL DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS INTEGRANDO  
OS PROCESSOS DE PROJETO E ESTIMATIVA DE CUSTOS**

**Cristiano Vasconcellos Ferreira**

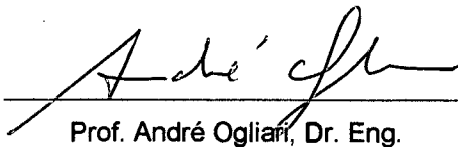
ESTA TESE FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

**DOUTOR EM ENGENHARIA**

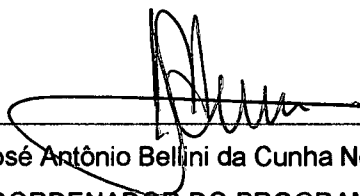
ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng.  
ORIENTADOR



Prof. André Ogliari, Dr. Eng.  
CO-ORIENTADOR

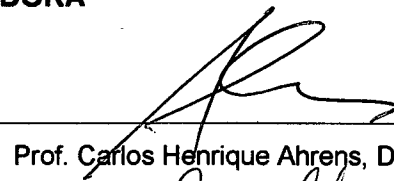


Prof. José Antônio Bellini da Cunha Neto, Dr.  
COORDENADOR DO PROGRAMA

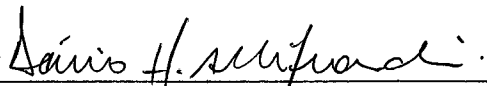
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Aloísio Nelmo Klein, Dr. Eng.  
Universidade Federal de Santa Catarina



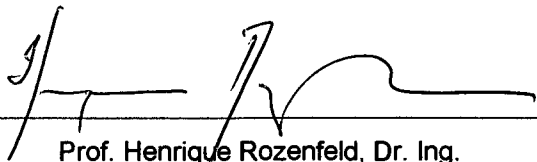
Prof. Carlos Henrique Ahrens, Dr. Eng.  
Universidade Federal de Santa Catarina



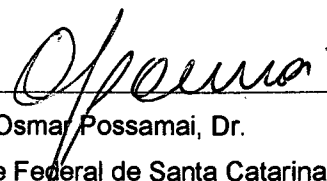
Prof. Dário Henrique Alliprandini, Dr. Eng.  
Universidade Federal de São Carlos



Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng.  
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Henrique Rozenfeld, Dr. Ing.  
Universidade de São Paulo



Prof. Osmar Possamai, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

**Cristiano Vasconcellos Ferreira** é engenheiro mecânico formado em janeiro de 1995 pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Em 1997 defendeu a dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina.

## **DEDICATÓRIA**

Àqueles que, desde os primeiros momentos da minha vida, me acolheram, me educaram para a vida e com quem compartilho minhas conquistas: meus pais, José Olegário Ferreira e Mariene Vasconcellos Ferreira; minha irmã, Viviane Vasconcellos Ferreira. Amores da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

- Ao Professor Fernando Antônio Forcellini, orientador e amigo, que, desde a graduação acreditou na minha pessoa e, que ao longo do tempo, me confiou responsabilidades e me concedeu oportunidades.
- Ao Professor André Ogliari, orientador e amigo que, através da sua serenidade e objetividade, me orientou no desenvolvimento desta Tese.
- Aos Professores Acires Dias e Nelson Back, amigos, que compartilharam momentos da minha caminhada na Universidade.
- Aos meus pais, José Olegário Ferreira e Mariene Vasconcellos Ferreira, e à minha irmã, Viviane Vasconcellos Ferreira, pelos ensinamentos;
- A Angela Beatriz Freitas Goedert, minha namorada, com quem pude compartilhar esta importante conquista da minha vida. E, como disse um dia, "quando o coração se encontra em harmonia, o trabalho evolui com serenidade".
- Aos Amigos do NeDIP, amigos das partidas de futebol, amigos das conversas informais, amigos das rodadas de chimarrão, amigos dos churrascos, amigos das festas, amigos contemporâneos. Amigos que, como diz Milton Nascimento, estarão sempre guardados no lado esquerdo do meu peito.
- Aos bolsistas, Leonardo Soares Paulino, Leila Costa Silva e Luiz Carlos B. Kós Lassance pela dedicação, pelo envolvimento e pelo auxílio no desenvolvimento desta Tese.
- Aos demais colegas que compartilharam conhecimentos, opiniões e sugestões.
- À Intelbras, pela oportunidade de poder realizar estudos e aplicações referentes ao objeto de estudo desta Tese.
- Ao NeDIP, Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos, antigo Laboratório de Projeto, Grupo de Pesquisa, onde tive oportunidade de passar bons anos de minha vida, e vi crescer, amadurecer e consolidar.
- À Universidade Federal de Santa Catarina, Instituição de Ensino, onde desfrutei os melhores momentos da minha vida.
- À Universidade Técnica de Ilmenau - Alemanha, especialmente, aos Professores Günter Höhne e Herfried Schneider por ter me conferido a oportunidade de conhecer e conviver com outras culturas.
- Ao Programa de Pós Graduação de Engenharia Mecânica por ter me acolhido e confiado a oportunidade de aperfeiçoar-me.
- À CAPES / CNPq pelo financiamento do desenvolvimento deste trabalho.

## INDICE

### **CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO**

1.1. Apresentação	1
1.2. Aspectos Gerais do Projeto de Componentes Injetados	1
1.3. Objetivo Geral	4
1.4. Aspectos Específicos do Projeto de Componentes Injetados	5
1.5. Contribuições Esperadas	9
1.6. Organização da Tese	10

### **CAPÍTULO 2 - PROCESSO DE PROJETO DE COMPONENTES INJETADOS: ASPECTOS GERAIS, ANÁLISE CRÍTICA E DISCUSSÕES**

2.1. Introdução	11
2.2. A Visão do Produto como Sistema Técnico e Componente Injetado	11
2.3. A Visão do Processo de Projeto como Sistema Técnico e Componente Injetado	13
2.4. Metodologia de Projeto de Componentes Injetados	15
2.5. Desenvolvimento de Componentes Injetados com base nas Metodologia de Projeto de Sistema Técnicos	18
2.5.1. Fase de Projeto Informacional	18
2.5.2. Fase de Projeto Conceituai	21
2.6. Metodologias de Projeto e sua Implementação Computacional	27
2.7. Considerações Finais	30

### **CAPÍTULO 3. PROCESSO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS DE COMPONENTES INJETADOS**

3.1. Introdução	31
3.2. Generalidades do Processo de Estimativas de Custos	31
3.3. Conceitos Fundamentais e Classificação dos Custos	33
3.4. O Processo de Estimativa de Custos no Desenvolvimento de Componentes Injetados	35
3.4.1. Fase 1: A Preparação de Informações sobre Custos	38
3.4.2. Fase 2: Estimativa de Custos de Componentes Injetados	42
3.5. Métodos de Estimativa de Custos de Componentes Injetados	43
3.5.1. Estimativa do Custo Direto Unitário de Material de Componentes Injetados	43
3.5.2. Estimativa do Custo Direto Unitário do Processo de Injeção de Componentes Injetados	44
3.5.3. Estimativa do Custo Direto Unitário do Molde de Injeção	57
3.6. Considerações Finais.	60

## **CAPÍTULO 6. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO SOFTWARE DA APOIO A ESTIMATIVA DE CUSTO DE COMPONENTES INJETADOS**

6.1. Introdução	152
6.2. O Software SisCusto	152
6.3. Desenvolvimento do SisCusto	153
6.4. Ferramenta de Preparação de Informações de Custo do Componente Injetado	155
6.5. Ferramenta de Estimativa de Custo do Componente Injetado	159
6.5.1. Ferramenta de Estimativa de Custo Direto Unitário do Componente Injetado pelo Método do Ciclo de Vida	160
6.5.2. Ferramenta de Estimativa de Custo Direto Unitário do Componente Injetado pelo Método da Similaridade Vida	164
6.6. Ferramentas de Abordagens de Custo	166
6.7. Base de Dados do SisCusto	166
6.8. Considerações Finais	167

## **7. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE PROJETO E ESTIMATIVA DE CUSTOS DE COMPONENTES INJETADOS**

7.1. Introdução	168
7.2. Aplicação da Metodologia Proposta	168
7.3. Aplicação 1: Desenvolvimento de Guias Para Coletores de Cédulas	169
7.3.1. Fase de Projeto Informacional das Guias do Coletor	171
7.3.2. Fase de Projeto Conceitual das Guias do Coletor	182
7.3.3. Considerações sobre a Aplicação	194
7.4. Aplicação 2: Definição das Especificações de Projeto de um Produto B	196
7.4.1. Considerações sobre a Aplicação	205
7.5. Aplicação 3: Estimativa de Custo da Base de um Conjunto Ótico	207
7.5.1. Considerações sobre a Aplicação	213
7.6. Considerações Finais	214

## **CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

8.1. Introdução:	215
8.2. Conclusões Gerais	215
8.3. Conclusões Específicas	218
8.4. Recomendações para Trabalhos Futuros	222

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>223</b>
-----------------------------------	------------



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1. Classificação da sequência de projeto de produtos. (Jakobsen apud Alting, 1996)
- Figura 2.2. Relação entre o processo de projeto de sistemas técnicos e componentes injetados.
- Figura 2.3. Processo de projeto de componentes injetados (Malloy, 1994).
- Figura 2.4. Projeto original e modificado do componente visando a sua manufatura. (Malloy, 1994)
- Figura 2.5. Transição função-concepção no projeto de sistemas técnicos e componentes injetados.
- Figura 2.7. Custo nas diferentes fases do projeto do produto. (Adaptado de Baxter, 1998)
- Figura 3.1. Composição do custo de componentes injetados. (Adaptada de Ullman, 1992)
- Figura 3.2. Influência das decisões tomadas sobre o custo de produto. (Ferreira, 1997)
- Figura 3.3. Relação entre o processo de projeto e estimativa de custo. (Liebers e Kals (1997)
- Figura 3.4. Origem das informações necessárias para preparar informações de custos de produtos.
- Figura 3.5. Transformações de informações nos métodos de estimativa de custos.
- Figura 3.6. Diagrama ilustrando o ciclo completo de injeção.
- Figura 3.7. Solução gráfica da equação de Fourier para placas planas. (Belofsky, 1995)
- Figura 3.8. Soluções da equação de Fourier, considerando o histórico da temperatura no centro do componente, para as seguintes geometrias: a) placa plana infinita; b) haste retangular infinita; c) cilindro infinito; d) cubo; e) cilindro finito com comprimento igual ao diâmetro; f) esfera. (Belofsky, 1995)
- Figura 3.9. Princípio do método de similaridade para estimar custo de produtos.
- Figura 4.1. Simbologia empregada na descrição da metodologia (Maribondo, 2000).
- Figura 4.2. Metodologia proposta de projeto e estimativa de custos de componentes injetados.
- Figura 4.3. Conceito proposto de especificações de projeto do componente injetado.
- Figura 4.4. Abordagem proposta para geração de alternativas de concepção do componente injetado.
- Figura 4.5. Exemplo de alternativa de concepção e princípio de solução de componentes injetados.
- Figura 4.6. Princípio do processo de estimativa de custos de componentes injetados.
- Figura 4.7. Fase de projeto informacional da metodologia proposta.
- Figura 4.8. Processo de definição do objetivo de projeto do componente injetado.
- Figura 4.9. Processo de definição das fases do ciclo de vida do componente injetado.
- Figura 4.10. Processo de preparação de informações de custo do componente injetado.
- Figura 4.11. Processo de levantamento das necessidades de projeto do componente injetado.
- Figura 4.12. Restrições de projeto do componente injetado.
- Figura 4.13. Princípio de solução do tipo rosca interna adotada no projeto de componentes injetados.
- Figura 4.14. Exemplo de restrição de projeto do molde de injeção - Soluções de projeto para snap a ser injetado em moldes de injeção isentos de gavetas.

- Figura 5.18. Estrutura da ferramenta de estabelecimento dos requisitos de projeto.
- Figura 5.19. Interface para auxiliar a definição dos requisitos de projeto.
- Figura 5.20. Estrutura da ferramenta da Primeira Matriz do QFD.
- Figura 5.21. Interface de análise do projeto atual em relação as necessidades dos clientes.
- Figura 5.22. Interface para análise dos produtos concorrentes em relação aos requisitos de projeto.
- Figura 5.23. Interface de análise do projeto atual em relação aos requisitos de projeto.
- Figura 5.24. Interface de análise de dificuldade de implementação técnica e econômica.
- Figura 5.25. Representação da Casa da Qualidade ou Primeira Matriz do QFD.
- Figura 5.26. Interface de definição especificações de projeto do componente injetado.
- Figura 5.27. Fluxograma estrutural da ferramenta de definição das especificações de projeto.
- Figura 5.28. Fluxograma estrutural da ferramenta de projeto da TRIZ.
- Figura 5.29. Interface da ferramenta de projeto da TRIZ.
- Figura 5.30. Relatório da ferramenta de projeto da TRIZ.
- Figura 5.31. Estrutura da ferramenta de definição das diretrizes de projeto do componente injetado.
- Figura 5.32. Interface de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados.
- Figura 5.33. Interface inicial da ferramenta do check-list da fase de projeto informacional.
- Figura 5.34. Interface com questões do check-list.
- Figura 5.35. Base de dados de material de injeção.
- Figura 5.36. Base de dados de máquinas de injeção.
- Figura 5.37. Base de dados de molde de injeção.
- Figura 5.38. Interface da base de dados de diretrizes de projeto - edição de informações.
- Figura 5.39. Base de dados de diretrizes de projeto - relacionamento das informações.
- Figura 5.40. Base de dados de questões de projeto de componentes injetados.
- Figura 6.1. Diagrama de use case geral do SisCusto.
- Figura 6.2. Exemplo do método "fornecer molde de injeção" da classe produto.
- Figura 6.3. Interface de preparação de informações de custos de componentes injetados.
- Figura 6.4. Interface de entrada de informações sobre a máquina de injeção.
- Figura 6.5. Interface de entrada de informações da alternativa de concepção.
- Figura 6.6. Interface de visualização dos custos dos produtos similares.
- Figura 6.7. Interface de definição do custo do componente injetado.
- Figura 6.8. Interface de desdobramento do custo do componente injetado.
- Figura 6.9. Interface de seleção do método de estimativa de custo do componente injetado.
- Figura 6.10. Interface de estimativa do custo de material.
- Figura 6.11. Interface de estimativa do tempo de injeção.
- Figura 6.12. Interface para estimar o tempo de resfriamento do componente injetado.
- Figura 6.13. Interface de estimativa do custo unitário direto do processo de injeção do componente.
- Figura 6.14. Interface de resultado de custos estimados do componente injetado.

- Figura B.1. Ferramenta de contratação do projeto do produto - identificação das empresas.
- Figura B.2. Questionário de identificação de oportunidades do negócio.
- Figura B.3. Ficha de definição do problema de projeto
- Figura C.1. Informações da ferramenta de definição das fases do ciclo de vida do componente injetado.
- Figura C.2. Ficha de identificação dos clientes atuantes em cada fase do ciclo de vida.
- Figura C.3. Ficha de identificação das atividades, informações e aspectos a serem considerados em cada fase do ciclo de vida do componente injetado definida.
- Figura C.4. Relatório emitido em decorrência do emprego da estrutura de desdobramento do ciclo de vida do componente injetado
- Figura D.1. Formulário de levantamento de informações de produtos similares.
- Figura D.2. Formulário de definição do custo meta do componente injetado.
- Figura D.3. Ferramenta de desdobramento do custo do custo do componente injetado.
- Figura F.1. Configuração esquemática do componente, máquina injetora e molde de injeção.
- Figura F.2. Ficha de definição das restrições de projeto de componentes injetados.
- Figura H.1. Primeira matriz do QDF ou Casa da Qualidade.
- Figura I.1. Quadro de especificações de projeto do componente injetado.
- Figura J.1. Matriz de Contradição da TRIZ – Teoria da Solução Inventiva de Problemas ( Altshuller, 1946)
- Figura L.1. Processo de desenvolvimento da MDDPCI.
- Figura L.2. Associação de informações para composição da Matriz de Diretrizes de Projeto.
- Figura L.3. Representação da matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados através da ferramenta em questão.
- Figura L.4. Relação de princípios de solução de componentes injeitados apresentados na matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados.
- Figura P.1. Fluxograma contendo os elementos constituintes do SISCOI.
- Figura Q.1. Diagrama de Sequência do SisCusto - Software de Apoio à Estimativa de Custos de Componentes Injetados.
- Figura Q.2. Diagrama Conceitual do SisCusto - Software de Apoio à Estimativa de Custos de Componentes Injetados.
- Figura Q.3. Diagrama de Clasee do SisCusto - Software de Apoio à Estimativa de Custos de Componentes Injetados.

- Tabela 7.4. Associação dos requisitos de projeto aos parâmetros de engenharia da TRIZ.
- Tabela 7.5. Associação dos requisitos as informações da matriz de definição das diretrizes de projeto.
- Tabela 7.6. Relação de princípios inventivos da TRIZ para o projeto das guias.
- Tabela 7.7. Relação de diretrizes para o desenvolvimento das guias do coletor de cédulas empregando-se a Matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados.
- Tabela 7.8. Matriz de identificação das funções do componente injetado - projeto do conjunto de guias do coletor de cédulas.
- Tabela 7.9. Lista de funções associadas ao projeto da guia do coletor.
- Tabela 7.10. Princípios de solução excluídos da matriz morfológica.
- Tabela 7.11. Princípios de solução excluídos da matriz morfológica.
- Tabela 7.12. Requisitos de projeto considerados na seleção do conjunto de guias do coletor.
- Tabela 7.13. Descritores dos requisitos de projeto do conjunto de guias do coletor.
- Tabela 7.14. Matriz de juízo de valor do requisito de projeto "número de nervuras".
- Tabela 7.15. Matriz de juízo de valor do requisito de projeto "tolerância de forma".
- Tabela 7.16. Matriz de juízo de valor do requisito de projeto "número de features".
- Tabela 7.17. Matriz de juízo de valor do requisito de projeto "dimensões da guia".
- Tabela 7.18. Matriz de juízo de valor do requisito de projeto "vida útil".
- Tabela 7.19. Matriz de juízo de valor do requisito de projeto "confiabilidade".
- Tabela 7.20. Matriz de juízo de valor do requisito "custo do molde".
- Tabela 7.21. Matriz de juízo de valor do requisito de projeto "volume de produção".
- Tabela 7.22. Nível bom e neutro para cada requisito de projeto.
- Tabela 7.23. Escala de valores do requisito "número de nervuras".
- Tabela 7.24. Escalas de valores do requisito "tolerância de forma".
- Tabela 7.25. Escalas de valores do requisito "número de features".
- Tabela 7.26. Matriz de juízo de valor do requisito "dimensões da guia".
- Tabela 7.27. Escalas de valores do requisito "vida útil".
- Tabela 7.28. Escalas de valores do requisito "confiabilidade".
- Tabela 7.29. Escala de valores do requisito "custo do molde".
- Tabela 7.30. Escala de valores do requisito "volume de produção".
- Tabela 7.31. Exemplo de caracterização das alternativas de concepção do componente injetado.
- Tabela 7.32. Resultado da avaliação global das alternativas de concepção geradas para a guia.
- Tabela 7.33. Síntese do processo de desenvolvimento de produtos na Empresa C.
- Tabela 7.34. Lista parcial de declaração das necessidades dos clientes.
- Tabela 7.35. Informações sobre os componentes injetados similares.
- Tabela E.1. Classificação dos atributos de produtos proposta por Fonseca (2000).
- Tabela E.2. Classificação proposta para os atributos do componente injetado.
- Tabela E.3. Questões orientativas para o levantamento das necessidades dos clientes.

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $\rho$  = densidade do polímero ( $\text{kg/m}^3$ );
- $\mu$  (a) = valor da escala de MACBETH;
- $\alpha$  = coeficiente de difusividade térmica do material ( $\text{m}^2/\text{s}$ );
- $\varphi_{\text{CDU MAN/COMP}}$  = relação de similaridade entre custo direto unitário de manufatura Do componente novo e o similar.
- $\varphi_{\text{CDU mat}}$  = fator de similaridade do custo direto unitário de material;
- $\varphi_1$  = fator de similaridade volumétrico;
- $\varphi_{v3}, \varphi_{12}$  e  $\varphi_{11}$  = fatores de similaridade entre o componente injetado em desenvolvimento e o componente injetado similar;
- $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  e  $\beta_4$  = constantes;
- $\rho_{\text{MAT}}$  = densidade do material a ser injetado ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $\eta_{\text{PROC}}$  = rendimento do processo de injeção do componente injetado (%);
- $\Delta z$  = maior espessura do componente (m);
- $a_3, a_2, a_1$  e  $a_0$  = parcelas do custo direto unitário de cada etapa do ciclo de injeção sobre o custo direto unitário do processo de injeção do componente similar;
- $A_{\text{MAQ}}$  = abertura máxima da máquina de injeção para extração do componente (m);
- $\text{CD}_{\text{PROC/H}}$  = custo direto do processo de injeção por hora (R\$/h);
- $\text{CD}_{\text{PROC/HORA}}$  = custo unitário direto do processo por hora de produção (R\$/h);
- $\text{CD}_{\text{PROC/TEMPO } i}$  = custo direto por unidade de tempo de cada um dos n processo de manufatura adicionais (R\$/s);
- $\text{CDU}_{\text{COMP}}$  = custo direto unitário do componente injetado (R\$);
- $\text{CDU}_{\text{MAN N}}$  = custo direto unitário de manufatura do componente novo (R\$);
- $\text{CDU}_{\text{MAN S}}$  = custo direto unitário de manufatura do componente injetado similar (R\$);
- $\text{CDU}_{\text{MAT N}}$  = custo direto unitário de material do componente injetado novo (R\$);
- $\text{CDU}_{\text{MAT S}}$  = custo direto unitário de material do componente injetado similar (R\$);
- $\text{CDU}_{\text{MAT/COMP}}$  = custo direto unitário do material do componente injetado (R\$);
- $\text{CDU}_{\text{MOLDE}}$  = custo direto unitário do componente injetado devido ao molde de injeção (R\$);
- $\text{CDU}_{\text{MOLDE/COMP}}$  = custo direto unitário do molde de injeção por componente (R\$);
- $\text{CDU}_{\text{PROC}}$  = custo unitário direto do processo de injeção do componente (R\$);
- $\text{CDU}_{\text{PROC ADIC}}$  = custo direto unitário do componente injetado devido aos processos de manufatura adicionais (R\$);
- $\text{CDU}_{\text{PROC INJ } n}$  = custo direto unitário do processo do componente em desenvolvimento (R\$);
- $\text{CDU}_{\text{PROC INJ } s}$  = custo unitário direto da etapa de injeção do componente injetado (R\$);
- $\text{CDU}_{\text{PROC REC } s}$  = custo unitário direto da etapa de recalque do componente injetado (R\$);
- $\text{CDU}_{\text{PROC RESET } s}$  = Custo unitário direto da etapa de reset do componente injetado (R\$);
- $\text{CDU}_{\text{PROC RESF } s}$  = custo unitário direto da etapa de resfriamento do componente injetado (R\$);
- $\text{CDU}_{\text{PROC/h}}$  = custo direto do processo de injeção por hora (R\$/h);

- $t_{\text{manuf } i}$  = Tempo de manufatura necessário para conceber o produto, calculado para cada um dos  $n$  processos de manufatura adicionais;
- $T_{\text{MOLDE}}$  = Temperatura recomendada do molde de injeção durante o resfriamento (°C);
- $t_{\text{REC}}$  = Tempo de aplicação da pressão de recalque do componente (s);
- $t_{\text{RESET}}$  = Tempo de reset da máquina injetora (s);
- $t_{\text{RESF}}$  = Tempo de resfriamento do componente (s);
- $t_{\text{RESF-C}}$  = Tempo de resfriamento no centro do componente injetado (s);
- $t_{\text{RESF-M}}$  = Tempo de resfriamento médio do componente injetado (s);
- $T_x$  = Temperatura do componente num dado tempo  $t$ ;
- $V(a)$  = valor da nova escala;
- $V_{\text{CANAL}}$  = Volume do canal de injeção ( $\text{m}^3$ ), que deve ser considerado se injeção à frio;
- $vc_i$  = peso de importância da  $i$ -ésima necessidade dos clientes;
- $V_{\text{COMP}}$  = Volume do componente injetado ( $\text{m}^3$ );
- $v_{\text{INJ}}$  = Vazão de injeção ( $\text{m}^3/\text{s}$ );
- $V_{\text{inj}}$  = Volume de material injetado, considerando o volume do canal de injeção ( $\text{m}^3$ );
- $V_j$  = Valor do somatório do  $j$ -ésimo requisito de projeto;
- $V_s$  = Volume de material injetado ( $\text{mm}^3$ );
- $X_1$  = Peso do componente injetado novo em relação ao peso do componente injetado similar;
- $X_2$  = Condutividade térmica do material de injeção do componente injetado novo em relação a condutividade térmica do material de injeção do componente similar (número);
- $X_3$  = Capacidade de injeção da máquina do componente injetado novo em relação a capacidade de injeção da máquina injetora do componente similar (número);
- $X_4$  = Tamanho de ferramental do componente injetado novo em relação ao tamanho do ferramental do componente similar (número);

## ABSTRACT

In the means of globalization increment and market integration, the search for quality requirements and manufacturability, the activities related to the product development has acquiring recognition as strategic instrument to promote the industrial competitiveness. This instrument allows the companies to accelerate the capacity to develop products, to optimise parameters related to the productive processes, to minimize costs, to improve the product value and, consequently, to reduce the time to launch the products in the market.

In this means, the injection molded components are a special category of industrial products. The design and cost estimation process of injection molded components has special characteristics, which are studied along this Thesis. In this context, considering the existent lacks, in this Thesis is present a methodology to aid the design and the cost estimation of injection molded components in its initial design phases. This proposal considering the Simultaneous Engineering approach, the information multidisciplinary and the information interdisciplinaridade and the specialists' knowledge in product design, injection mold process, injection mold, injection material and cost.

Another point to be outstanding, refers to the employment of computational programs to aid the design of injection molded components. In this sense, much efforts has been concentrated in the development of software to aid the injection process in the preliminary and detailed design phase, mainly, to aid the injection simulation of the component in the mold cavities. On the other hand, it is observed that there are some lacks in the development of softwares to aid the process to define the design specifications and to estimate the product costs, where there are many information that it should be manipulated simultaneously and in an integrated way.

In this sense, in this Thesis is presented two softwares to aid the process to define injection molded component design specification and to estimate the cost of this product. In this Thesis is present the softwares SISCOI (Software to Aid the Process to Define the Design Specifications of Injection Molded Components) and SisCusto (Software to Aid the Process to Estimate the Cost of Injection Molded Components).

# CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Apresentação

No cenário mundial de progressiva globalização e integração de mercados, de mudanças de padrões de competitividade e crescentes requisitos de qualidade, disponibilidade, flexibilidade, manufaturabilidade e seletividade de mercados, a atividade de desenvolvimento de produtos vem adquirindo reconhecimento como instrumento estratégico de promoção da competitividade industrial. Este instrumento permite acelerar a capacidade das empresas em otimizar os parâmetros associados aos processos produtivos, minimizar custos, agregar valor aos produtos, reduzir o tempo de lançamento de produtos no mercado e, conseqüentemente, elevar o seu potencial de lucratividade.

Neste cenário, os componentes injetados constituem uma categoria especial de produtos industriais que, com relação ao processo de projeto e estimativa de custos, apresentam características peculiares, as quais serão estudadas ao longo desta Tese.

Neste capítulo, inicialmente, são apresentados aspectos relativos ao processo de projeto e estimativa de custos de componentes injetados. Com base nestas informações é determinado o objetivo geral e o domínio de estudo desta Tese. Na seqüência, são descritas informações específicas sobre o tema de estudo e, conseqüentemente são descritos os objetivos específicos da Tese. A seguir, são apresentadas as contribuições esperadas com o desenvolvimento deste trabalho. E, finalmente, será apresentada a estrutura desta Tese.

## 1.2. Aspectos Gerais do Projeto de Componentes Injetados

Segundo Ogliari (1999), o processo de projeto de produtos constitui-se de um conjunto de atividades, procedimentos e regras que devem ser realizadas e aplicadas, sistematicamente, desde a definição do problema de projeto até a solução detalhada do produto.

As informações são a "matéria prima" principal sobre a qual o projetista trabalha e, também, os "resultados" a que ele chega. Por intermédio das informações, os processos e os meios de projeto são executados e aplicados. E, através das estruturas e das formas de representação das informações, as soluções de projeto são formalizadas. As informações estão associadas ao conhecimento de especialistas de distintos campos de conhecimentos envolvidos no projeto e estimativa de custos de componentes injetados. São exemplos destas informações: as necessidades dos clientes, uma lista de requisitos e regras de projeto de componentes, um conjunto de funções e princípios de solução do componente injetado, um catálogo de injetoras, um conjunto de dados de custos, entre outras.

Os meios são o ferramental teórico e prático que, disponibilizados para os projetistas, permitem que o processo de desenvolvimento de componentes injetados possa ser conduzido e operacionalizado, viabilizando e efetivando a obtenção de soluções de projeto. São, portanto, o



"como" o projetista deve fazer para conceber o produto. Os meios podem ser, por exemplo, papel e lápis para representar uma idéia, um programa de computador para realizar cálculos e armazenar os dados de projeto, planilhas da "casa da qualidade" para elaborar as especificações de projeto, método morfológico para a busca sistemática de concepções, entre outros.

A metodologia de projeto de produtos possui elementos metodológicos, estruturados e organizados, de forma à suportar o raciocínio da equipe de projeto quando ela necessita entender e resolver um dado problema de projeto.

Com base nestes conceitos, o processo de projeto de componentes injetados pode ser entendido como sendo um conjunto de procedimentos sistematizados, através dos quais, empregando-se ferramentas adequadas, busca-se uma solução que atenda as necessidades dos clientes e que contemple os aspectos, as recomendações, as imposições, as limitações, as restrições relacionadas aos distintos campos de conhecimento envolvidos nesta atividade. Estes campos são constituídos pelas engenharias responsáveis pelo projeto do componente, seleção e fornecimento de materiais, processo de injeção, desenvolvimento do molde e análises de custos (Ferreira, 1999).

Como será abordado posteriormente, o processo de projeto de componentes injetados envolve as fases de projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado. Na fase informacional são definidas as especificações de projeto. Na fase conceitual ocorre a geração das alternativas de concepção e a seleção da melhor concepção do componente injetado. Por sua vez, na fase de projeto preliminar são realizadas análises de simulação do processo de injeção e inicia-se o desenvolvimento do molde de injeção. E, no projeto detalhado ocorre o refinamento final do projeto do componente, visando o desenvolvimento do molde de injeção. Dentre estas fases, destacam-se as fases de projeto informacional e conceitual, uma vez que através dos conceitos estabelecidos são determinados os desempenhos técnico e econômico do componente ao longo do seu ciclo de vida.

Analisando a atividade de desenvolvimento de componentes injetados, observa-se que esta apresenta uma natureza fragmentada, uma vez que, geralmente, as empresas deste ramo atuam de forma independente (Perera, 1997), indo de encontro aos preceitos da Engenharia Simultânea. Isto é, na maioria dos casos, existe uma empresa responsável pela elaboração do projeto do componente injetado; outra, que realiza o projeto do molde de injeção e, uma terceira, responsável pela injeção do mesmo. Como consequência desta prática, nota-se o surgimento de problemas durante o desenvolvimento do produto, os quais resultam, principalmente no aumento do tempo de projeto e na elevação dos custos do componente injetado.

Segundo Cleetus *apud* Companation e Byrd (1999), a Engenharia Simultânea é definida como sendo "uma abordagem sistemática, integrada e simultânea para o projeto de produtos e para todos os processos relacionados, incluindo a manufatura, com ênfase no atendimento das expectativas dos clientes e cooperação multifuncional, de forma tal que as decisões relacionadas com as etapas do ciclo de vida do produto são feitas de maneira simultânea, sincronizada e consensual, desde as primeiras etapas do desenvolvimento do produto". Com base nas colocações de Miller (1993), Clausing (1994), Prasad (1998) e Guerrero (2001), considerando o desenvolvimento de componentes injetados, os preceitos da Engenharia Simultânea podem ser sintetizados em: antecipar decisões e problemas, processo de desenvolvimento de produto sistematizado, equipes

multifuncionais atuando de forma integrada, disseminação de informações e conhecimento em desenvolvimento do produto.

Com relação as informações envolvidas no desenvolvimento de componentes injetados observa-se que caracterizam-se por uma natureza multidisciplinar e interdisciplinar (Ferreira, 1999).

A natureza multidisciplinar é decorrente do envolvimento de informações provenientes de distintas áreas de conhecimento no projeto de componentes injetados. Esta característica reflete-se na necessidade de considerar, simultaneamente, informações do processo, do molde e do material de injeção no início do projeto de componentes injetados. Por exemplo, ao se gerar uma concepção do componente deve-se pensar em aspectos relativos ao processo de montagem, moldabilidade e manufatura do molde de injeção.

A natureza interdisciplinar é caracterizada pelo fato das informações provenientes de distintas áreas de conhecimento influenciarem, mutuamente e simultaneamente, o projeto de componentes injetados. Esta característica pode ser observada no fato da utilização de um molde sem gavetas influenciar a geração da concepção do produto. Os requisitos de projeto "espessura da parede" e "resistência estrutural do componente" são requisitos dependentes entre si, isto é, se ter aumentada a espessura da parede do componente injetado, a resistência da parede aumentará. Portanto, devem ser considerados simultaneamente no projeto de componentes injetados.

A multidisciplinaridade e interdisciplinaridade das informações podem ser observadas na dependência e interdependência entre os requisitos de projeto, as quais estão associadas a necessidade de satisfazer, integralmente e simultaneamente, os requisitos de projeto. Entretanto, devido as características do projeto de componentes injetados, geralmente, contemplar estes requisitos de forma integral e simultânea não é possível. Nesta situação, a resolução do problema de projeto em questão pode estar numa solução de compromisso que, na maioria dos casos, não é a mais adequada. Por exemplo, considere o caso dos requisitos "resistência estrutural do componente injetado" e "manufaturabilidade do molde de injeção". Para aumentar a resistência do componente, a equipe de projeto pode utilizar a introdução de nervuras no produto. Entretanto, este procedimento dificulta a manufatura do molde de injeção. Como consequência, a equipe de projeto acaba recorrendo a uma solução de compromisso - geralmente, adotam um aumento do número de nervuras do produto - de tal forma a priorizar, somente, um dos requisitos citados. No caso, a resistência estrutural do componente injetado.

Uma outra característica do projeto de componentes injetados é o fato do mesmo ser realizado levando em conta informações estabelecidas com base em regras, recomendações, estratégias e princípios de solução, normalmente, obtidas com base no conhecimento de especialistas. Por outro lado, no projeto do produto, estas informações são consideradas de forma isolada, pois não consideram a natureza multidisciplinar e interdisciplinar das mesmas.

Conforme exposto por Leifer e Hanada (1997), esta constatação pode ser oriunda da pouca disseminação de modelos metodológicos destinados ao projeto de componentes injetados, bem como o seu insuficiente entendimento e aplicação. Este fato decorre, principalmente, devido a maioria das metodologias de projeto disponíveis na literatura, terem sido propostas considerando o domínio de desenvolvimento de sistemas técnicos e não o domínio específico de componentes injetados.

Em termos econômicos, a consideração do custo de componentes injetados, principalmente, ao longo do processo de projeto é uma atividade de vital importância para as empresas poderem lançar produtos competitivos no mercado, identificar potenciais de redução de custos de produtos e implementar diferenciais nos produtos considerando valores adequados de custo. A realização fundamentada de análises de custo no início do processo de projeto permite ganhos maiores, uma vez que os investimentos necessários para desenvolvimento do molde ainda não foram realizados, o potencial de redução de custo do produto é elevado e o custo da mudança do produto é reduzido.

No início do processo de projeto, com base em estudos de mercado ocorre a definição do custo meta do componente injetado, o qual deve ser considerado ao longo do seu desenvolvimento (Ferreira, 1999) (Tanaka *et al*, 1995). Por exemplo, na geração de alternativas de concepção do componente injetado, o custo destas concepções deve ser analisado e estimado. Ainda, no processo de seleção da concepção do produto, o custo da mesma deve ser avaliado em relação ao custo meta.

Em suma, considerando os aspectos descritos anteriormente, observa-se a necessidade da proposição de uma metodologia que auxilie o desencadeamento do processo de projeto e estimativa de custos de componentes injetados, principalmente, nas suas fases iniciais quando da geração da concepção do produto, procurando integrar de forma sistemática, as informações provenientes dos campos de conhecimentos envolvidos, segundo os conceitos da Engenharia Simultânea.

Um outro ponto que merece consideração refere-se ao emprego de programas computacionais auxiliando a atividade de projeto de produtos. Em se tratando de componentes injetados, esforços têm sido concentrados no desenvolvimento de programas para auxiliar a modelagem do produto nas fases de projeto preliminar e detalhado, visando simular a injeção do componente nas cavidades do ferramental. Por outro lado, observa-se que existe uma lacuna para o desenvolvimento de programas computacionais para auxiliar a operacionalização do projeto informacional e estimativa de custos, onde um grande número de informações devem ser manipuladas e consideradas simultaneamente e de forma integrada (Ferreira, 1999).

### 1.3. Objetivo Geral

O estabelecimento do objetivo geral desta Tese é resultado dos aspectos gerais descritos anteriormente, os quais estabelecem os principais problemas envolvidos no desenvolvimento de componentes injetados. Desta forma, constitui o objetivo principal desta Tese:

***"Propor uma metodologia de projeto de componentes de plástico injetado em suas fases iniciais, integrando aspectos de custo, dentro do contexto da Engenharia Simultânea, levando em conta a multidisciplinidade e a interdisciplinaridade das informações provenientes do conhecimento de especialistas de engenharia de projeto, processo de injeção, molde de injeção, material de injeção e custo. A implementação computacional das ferramentas para auxiliar a operacionalização das fases de projeto informacional e conceituai, no referente a estimativa de custo, também constitui o objetivo desta Tese."***

Com a definição deste objetivo, pode ser estabelecido o domínio de estudo desta Tese, que refere-se as fases de projeto informacional e conceitual. E, envolve a proposição e a sistematização do processo de projeto através do desenvolvimento de meios (*ferramentas de projeto*) para integrar o conhecimento (*informações*) provenientes das distintas áreas envolvidas nesta atividade.

#### **1.4. Aspectos Específicos do Projeto de Componentes Injetados**

Nesta seção são descritos os aspectos específicos relacionados ao projeto de componentes injetados e, com base nesta descrição serão definidos os objetivos específicos desta Tese.

O processo de projeto de componentes injetados envolve as fases de projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado (Daré, 2001). A fase de projeto informacional inicia-se com o levantamento das necessidades dos clientes, as quais posteriormente são transformadas em requisitos de projeto. Nesta fase, também são estabelecidos valores e parâmetros para estes requisitos e definidas as especificações de projeto do componente. Estas especificações podem ser vistas como sendo um conjunto de informações, as quais constituem a base para a execução do projeto conceitual do produto (Fonseca, 2000).

Segundo Baxter (1998), estudos apontam que produtos com especificações bem definidas em termos de funções, tamanhos, potências e outros aspectos, têm o triplo de chance de sucesso, em relação aos que apresentam especificações formuladas inadequadamente. Este fato demonstra a importância da existência de meios adequados para suportar o processo de definição das especificações de projeto de componentes injetados considerando as características peculiares associadas ao desenvolvimento deste tipo de produto.

Além disto, no processo de definição das especificações de projeto, especificamente, a atribuição de valores aos requisitos de projeto é executado de forma subjetiva, realizado com base na experiência da equipe de projeto do produto e sem considerar de modo mais efetivos as características do desenvolvimento de componentes injetados. Como consequência, têm-se especificações formuladas inadequadamente que acabam causando problemas no desenvolvimento do componente, tais como: aumento do tempo de desenvolvimento do ferramental, aumento do custo do componente injetado, produtos que não refletem as necessidades dos clientes, dificuldade de injeção, entre outras.

Como colocado, devido a dependência e a interdependência entre os requisitos de projeto de componentes injetados, a equipe projeto tem a necessidade de recorrer a soluções de compromisso para o problema de projeto. Na prática, esta solução pode ser obtida empregando-se o conhecimento de especialistas, representado através de informações provenientes de regras, estratégias, recomendações e princípios de solução. Entretanto, como as empresas do setor atuam de forma independente, o emprego do conhecimento destes especialistas é realizado de forma isolada, causando problemas no desenvolvimento do produto. Por exemplo, uma recomendação, geralmente, empregada para aumentar a resistência de um componente injetado é incrementar o número de nervuras do mesmo. Por outro lado, este incremento pode resultar no empenamento do componente,

em dificuldades na fabricação do molde, no preenchimento inadequado da cavidade do molde de injeção e aumento do custo do produto. Como consequência, faz-se necessário realizar sucessivas alterações no projeto do componente visando minimizar o problema, principalmente, nas fases de projeto preliminar e detalhado, causando aumento no tempo de projeto e perdas financeiras.

Em muitos casos, o projeto de componentes injetados está relacionado ao desenvolvimento de outros produtos (sistemas técnicos) e, nestas situações são introduzidas restrições ao projeto destes componentes. Ainda, em decorrência do projeto de componentes injetados iniciar com um processo de manufatura previamente especificado, também são introduzidas restrições associadas ao processo, molde e material de injeção. Estas restrições podem ser consideradas como sendo condições que devem necessariamente ser contempladas no projeto do componente injetado, independentemente, da concepção adotada. Por outro lado, observa-se que as metodologias de projeto não contemplam estes aspectos, não apresentam ferramentas para auxiliar a identificação destas restrições, deixando uma lacuna para a proposição de sistemáticas que auxiliem a identificação deste tipo de informação.

Em termos econômicos, no início do processo de projeto devem ser considerados os custos do ciclo de vida de produtos (Ferreira, 1999) (Stewart, 1991). Blanchard e Fabrycky (1990) apontam que, nas fases iniciais de projeto são definidos cerca de 70-80 % dos custos do ciclo de vida do produto. Este número mostra a importância da realização da análise, estimativa e avaliação mais detalhada do custo de produtos no início do processo de projeto. Por outro lado, observa-se que, devido ao número baixo de informações concretas disponíveis, assim como o elevado grau de abstração das mesmas, a análise, estimativa e avaliação destes custos nas fases iniciais de projeto tornam-se atividades complexas e com elevado risco.

Também, no início do processo de projeto deve ser definido o valor do custo-meta do produto e, conseqüentemente, as decisões tomadas durante o processo de projeto devem contemplar este valor. Com base neste custo, o projeto do produto deve ser desenvolvido, de forma que o produto obtido tenha a qualidade requerida para satisfazer as necessidades dos clientes e, conseqüentemente, possa gerar o lucro alvo necessário dada as condições de mercado existentes. (Mondem, 1999)

Segundo Ferreira (1997), considerando o desenvolvimento de produtos em geral, na fase de projeto informacional deve ocorrer a preparação de informações de custos do produto, a qual deve envolver a determinação do custo meta e a realização do desdobramento do custo do produto. Em se tratando de componentes injetados também devem ser definidos valores de investimentos disponíveis para desenvolvimento do molde.

Por sua vez, na fase de projeto conceitual devem ser considerados valores de custo na geração e seleção da alternativa de concepção do produto. Por outro lado, analisando as práticas nas empresas do setor, assim como estudando as metodologias de projeto disponíveis na literatura, dado o contexto desta Tese, observa-se que as mesmas não contemplam estes aspectos.

Sendo assim, neste momento, considerando os aspectos descritos, pode-se estabelecer o **primeiro objetivo específico** desta Tese, como sendo:

*"Desenvolver uma sistemática para definir as especificações de projeto de componentes injetados, considerando a multidisciplinaridade e a interdisciplinaridade das informações provenientes dos campos de conhecimento envolvidos nesta atividade, aspectos econômicos, a estrutura fragmentada das empresas do setor, segundo os preceitos da Engenharia Simultânea."*

A fase de projeto conceitual de componentes injetados envolve, basicamente, as etapas de geração de alternativas de concepção, estimativa de custo e seleção da melhor concepção do produto (Daré, 2001). Apesar da semelhança do desencadeamento destas etapas com o projeto de sistemas técnicos, no caso de componentes injetados, este desencadeamento mostra-se bastante complexo e apresenta alguns pontos críticos, os quais serão analisados e discutidos a seguir.

Em se tratando da geração de alternativas de concepção, analisando as informações constantes na literatura e observando as práticas das indústrias do setor de desenvolvimento de componentes injetados, nota-se que esta geração ocorre com base num conjunto de regras, estratégias, recomendações e princípios de solução. Este fato pode ser observado, uma vez que a geração das concepções de componentes injetados, baseia-se, muito mais, no projeto de elementos básicos (ribs, insertos, entre outros) na especificação de material e processo, na consideração de informações sobre forma e na experiência de quem o executa, do que, simplesmente, no desdobramento funcional do produto (Ferreira, 1998). Em outras palavras, os métodos de síntese funcional comumente empregados no projeto de sistemas técnicos não se mostram os mais adequados a serem utilizados no projeto de componentes injetados.

Para auxiliar a geração de alternativas de concepção, existem inúmeros métodos de criatividade, tais como: métodos sistemáticos (busca na literatura, análise de sistemas naturais, análise de sistemas técnicos, analogias, etc), métodos intuitivos (brainstorming, Delphi, sinergia, entre outros) e métodos discursivos (matriz morfológica e catálogos técnicos, etc). De uma forma geral, em se tratando de componentes injetados, o simples emprego destes métodos na geração das alternativas de concepção não permite assegurar a compatibilidade técnica e econômica entre os princípios de solução, pois não considera a multidisciplinaridade e a interdisciplinaridade das informações associadas ao projeto de componentes injetados.

A consideração de aspectos técnicos e econômicos na geração de alternativas de concepção pode evitar a necessidade de realizar alterações futuras no projeto do produto, além da concepção resultante apresentar características que facilitem o processo de injeção, a manufatura do molde e a consideração do custo do componente. Como resultado, as concepções inadequadas podem ser previamente descartadas. Entretanto, para isto, observa-se a necessidade de se propor uma sistemática que considere informações técnicas e de custo do componente injetado quando da geração das alternativas de concepção de componentes injetados.

Portanto, considerando esta análise tem-se o **segundo objetivo específico** da Tese, como:

*"Desenvolver uma sistemática para auxiliar na geração de alternativas de concepção de componentes injetados, de modo a possibilitar a investigação e a exploração da viabilidade técnica e econômica das concepções geradas e considerar a multidisciplinaridade e a interdisciplinaridade das informações associadas."*

Na geração das alternativas de concepção, ressaltou-se a necessidade da consideração de informações de custos para avaliar aspectos relacionados a exploração da viabilidade econômica das concepções geradas. Para isto, o custo do componente injetado deve ser um requisito de projeto, e não um fator resultante do projeto do produto.

Em se tratando de componentes injetados, a análise, a estimativa e a avaliação de custos mostram-se ainda mais importantes e complexas. A importância refere-se aos elevados investimentos necessários para desenvolver o molde de injeção. A complexidade decorre dos custos de componentes injetados desdobrar-se em custos diretos e indiretos de material, do processo e do molde de injeção.

Para auxiliar a realização destas análises, estimativa e avaliação é importante determinar o valor do custo das alternativas de concepção. Para isto, podem ser empregados os métodos de estimativa de custos, entretanto aqueles disponíveis na literatura e frequentemente utilizados na prática não se mostram os mais adequados para serem aplicados na fase de projeto conceitual de componentes injetados. Com isto, tem-se um espaço a ser preenchido em termos da proposição de ferramentas específicas para serem aplicadas a este domínio de conhecimento.

Em suma, as metodologias de projeto enfatizam a necessidade de se realizar a estimativa e a análise do custo do produto nas fases iniciais de projeto, entretanto, não apresentam como devem ser realizadas. Neste sentido, considerando-se esta situação define-se o **terceiro objetivo específico** desta Tese, como:

*"Desenvolver uma sistemática para estimar e analisar o custo de componentes injetados, considerando o elevado nível de abstração das informações, assim como, a pouca quantidade de informações disponíveis sobre as alternativas de concepção do produto na fase de projeto conceitual."*

A fase de projeto conceitual encerra-se com a etapa de seleção da melhor alternativa de concepção do componente injetado. Para assegurar que a concepção selecionada atenda as reais necessidades dos clientes é importante realizar uma avaliação das mesmas em relação a critérios técnicos e considerando o custo estimado destas concepções, de forma integrada segundo os preceitos da Engenharia Simultânea. Entretanto, observa-se que estes aspectos são contemplados de forma inadequada nas metodologias de projeto de produto.

De uma forma geral, observa-se que as metodologias de projeto apresentadas por diversos autores - Pahl e Beitz (1996), Ullman (1992), Pugh (1990), entre outros - não apresentam procedimentos adequados para explorar e avaliar a viabilidade técnica e econômica de componentes injetados durante o processo de geração das alternativas de concepção sob a abordagem da Engenharia Simultânea. No caso de componentes injetados esta valoração não é uma atividade simples, uma vez que os critérios de avaliação são dependentes. Por exemplo, uma concepção que caracteriza-se pelo elevado número de nervuras apresenta, geralmente, um desempenho técnico elevado para o requisito de projeto "resistência estrutural", por outro lado, esta mesma concepção quando avaliada em relação aos requisitos "moldabilidade do produto" e "manufaturabilidade do molde de injeção" apresenta um desempenho técnico fraco.

A avaliação econômica do componente também deve considerar o valor do custo estimado das alternativas de concepção, assim como o valor do custo-meta do produto definido na fase de projeto informacional. Para isto, o custo estimado da concepção gerada deve ser avaliado em relação ao valor do custo meta e tratado conforme as abordagens propostas por Mondem (1999).

Segundo este autor, dependendo do contexto no qual o produto está inserido, o processo de desenvolvimento de produtos pode ser conduzido segundo a abordagem do Design to Cost (Projeto para o Custo) ou Design to Minimum Cost (Projeto para o Mínimo Custo). Na abordagem de projeto para custo deve-se priorizar aspectos econômicos, visando atingir o valor de custo-meta por meio da manipulação de características do produto. Por sua vez, no projeto para o mínimo busca-se maneiras para minimizar o custo do produto, mesmo que o valor do custo seja inferior ao custo meta estabelecido e procurando satisfazer um desempenho mínimo (Mondem, 1999).

Com base nestas colocações, o **quarto objetivo específico** desta Tese é definido como:

*"Desenvolver uma sistemática para auxiliar na seleção da melhor concepção do componente injetado considerando aspectos técnicos e econômicos, simultaneamente, levando em conta as possíveis abordagens de custo e o valor de custo-meta do produto."*

## 1.5. Contribuições Esperadas

De uma forma geral, o desenvolvimento desta Tese visa contribuir na sistematização das fases iniciais do processo de projeto e estimativa de custos de componentes injetados dentro do contexto da Engenharia Simultânea. Desta forma, espera-se que a metodologia proposta seja um instrumento para assegurar a viabilidade técnica e econômica do componente injetado, permitindo minimizar a ocorrência de problemas no projeto e reduzir o tempo de lançamento deste produto no mercado. Além destes aspectos, espera-se contribuir com a proposição de ferramentas específicas para auxiliar a operacionalização das tarefas propostas para o projeto de componentes injetados, principalmente em suas fases iniciais.

Especificamente, na fase de projeto informacional, constitui uma das principais contribuições esperadas desta Tese, a proposição de uma metodologia e o desenvolvimento de um conjunto de ferramentas computacionais para auxiliar a operacionalização do processo de definição das especificações de projeto de componentes injetados, considerando a multidisciplinaridade e a interdisciplinaridade das informações, a estrutura fragmentada das empresas do setor, o conhecimento de especialistas (regras, recomendações, estratégias e princípios de solução), segundo os preceitos da Engenharia Simultânea.

Na fase de projeto conceitual espera-se contribuir com a proposição de sistemáticas para auxiliar o processos de geração de alternativas de concepção de componentes injetados, estimativa de custos e seleção da concepção do componente injetado.

Na geração de concepções por meio da apresentação de uma sistemática que permita considerar aspectos funcionais relacionados ao componente injetado e explorar a viabilidade técnica e econômica das concepções geradas.



Na estimativa de custos, a contribuição esperada envolve a apresentação de métodos para determinar o custo deste tipo de produto considerando o nível de abstração e a quantidade de informações disponíveis na fase de projeto conceitual.

Também, almeja-se contribuir com a proposição de uma sistemática que considere aspectos técnicos e econômicos, simultaneamente, levando em conta as possíveis abordagens de custo e também o valor de custo-meta, para seleção da alternativa de concepção do componente injetado.

Finalmente, a implementação de ferramentas computacionais visando auxiliar a operacionalização da fase de projeto informacional e do processo de estimativa de custos de componentes injetado constituem contribuições esperadas desta Tese.

## 1.5. Organização da Tese

Esta Tese está estruturada de forma a levar ao entendimento dos aspectos que norteiam os processos de projeto e a estimativa de custos de componentes injetados. Para isto, no **Capítulo 1** são introduzidos os principais pontos referentes a estes processos, ocorrendo a definição dos objetivos e das contribuições pretendidas com o desenvolvimento desta Tese.

No **Capítulo 2** é realizada uma análise crítica do processo de desenvolvimento de componentes injetados considerando a aplicação das metodologias "clássicas" de projeto no domínio de projeto de componentes injetados. Ao final é apresentada uma análise do emprego de ferramentas computacionais no processo de desenvolvimento de componentes injetados.

No **Capítulo 3** é descrito o estado da arte do processo de estimativa de custos, enfatizando os conceitos, classificação, generalidades e morfologia deste processo. Também é realizado um estudo do emprego de métodos genéricos de estimativa de custos de produtos no domínio de projeto de componentes injetados.

Com a introdução dos aspectos inerentes ao projeto e estimativa de custos de componentes inicia-se a proposição da Tese, propriamente dita, no **Capítulo 4**. Neste capítulo corre a apresentação da metodologia proposta para auxiliar o projeto e a estimativa de custos de componentes injetados através do desencadeamento das suas etapas e informações.

A implementação computacional da metodologia proposta é descrita no **Capítulo 5**, por meio da apresentação do software de apoio à definição das especificações de projeto de componentes injetados (SISCOI). No **Capítulo 6** está descrito o software desenvolvido para apoiar o processo de estimativa de custos de componentes injetados (SisCusto).

O **Capítulo 7** retrata a aplicação da metodologia no projeto e estimativa de custos de componentes injetados através da apresentação de casos práticos.

No **Capítulo 8** são apresentadas as conclusões, contribuições obtidas com a elaboração deste trabalho e recomendações para a elaboração de trabalhos futuros.

Na sequência é apresentada a referência bibliográfica desta Tese.

Nos **Anexos** estão apresentadas as ferramentas propostas para desenvolver o componente injetado segundo a abordagem da Tese, assim como demais informações que auxiliam o entendimento deste trabalho.

## **CAPÍTULO 2. PROCESSO DE PROJETO DE COMPONENTES INJETADOS: ASPECTOS GERAIS, ANÁLISE CRÍTICA E DISCUSSÕES**

### **2.1. Introdução**

A competitividade da indústria de produtos de plásticos injetados está intrinsecamente relacionada aos padrões técnicos e econômicos relativos ao produto. Em se tratando de componentes injetados, um estudo elaborado pelo BRDE (1997) sobre a indústria em Santa Catarina revelou as seguintes características de competitividade: diferenciação, custo, desenvolvimento de produto, preço, adequação, uso, qualidade, atendimento às especificações dos clientes, entre outras.

Neste contexto, a atividade de projeto de produtos pode ser considerada como sendo um alicerce para assegurar os padrões de competitividade requeridos pela indústria, uma vez que as decisões tomadas no projeto do produto permitem determinar o desempenho técnico e econômico destes produtos ao longo do seu ciclo de vida. De uma forma geral, o emprego de componentes injetados em substituição a componentes manufaturados por outros processos produtivos tem aumentado. Entretanto, na maioria dos casos, as metodologias de projeto apresentam suas proposições com base na teoria de sistemas técnicos e, devido às características do projeto de componentes injetados, esta abordagem não tem se mostrado a mais adequada.

Neste contexto, o objetivo deste capítulo é descrever distintos aspectos relativos ao projeto de componentes injetados. Ao longo dessa descrição, estes aspectos são analisados considerando o contexto desta Tese, procurando consolidar as justificativas para o desenvolvimento deste trabalho.

Inicialmente, serão definidos os conceitos de produto, visto como sistema técnico e componente injetado. A seguir, com base nestes conceitos são apresentados os aspectos gerais que diferem o projeto de sistemas técnicos e o projeto de componentes injetados. Na sequência, serão avaliados alguns modelos propostos para auxiliar o desenvolvimento de componentes injetados, segundo o contexto desta Tese. Posteriormente, será analisada a aplicabilidade das metodologias de projeto de sistemas técnicos no domínio de componentes injetados. E, finalmente, será avaliado o emprego de alguns sistemas computacionais de apoio ao processo de projeto e estimativa de custos de componentes injetados.

### **2.2. A Visão de Produto como Sistema Técnico e Componente Injetado**

A definição de sistemas técnicos e componentes injetados é fundamental para o desenvolvimento e compreensão da abordagem desta Tese, pois constituem o alicerce para a proposição de uma metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados. Na definição destes termos serão considerados os trabalhos de Blanchard e Fabrycky (1990), Ullman (1992), Ashby (1992), Hubka e Eder (1996), Pahl e Beitz (1996) e Ogliari (1999).



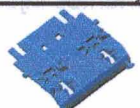

Blanchard e Fabrycky (1990) conceituam *sistema* como sendo um conjunto, formado por componentes interrelacionados que, trabalhando juntos, satisfazem um objetivo comum. E, definem *componente* como uma parte do sistema técnico. Segundo os autores, os componentes apresentam as seguintes propriedades: i) as características e o desempenho de um determinado componente apresentam efeito sobre as características e o desempenho dos demais componentes do sistema; ii) as características e o desempenho de um determinado componente depende das características e do desempenho de pelo menos um dos demais componentes do sistema; e, iii) todo componente de um sistema apresenta as propriedades citadas acima, portanto um componente não pode ser desdobrado em dois sistemas independentes.

Ullman (1992) não apresenta um conceito específico para a palavra *sistema técnico* e *componente*. Entretanto, segundo o autor, um *sistema técnico* pode ser entendido como sendo um conjunto de elementos, o qual pode ser decomposto em outras partes ou sub-sistemas técnicos e, *componente* pode ser compreendido como sendo a menor parte individual de um sistema.

Segundo Ashby (1992), um sistema técnico pode ser visto de duas formas. Na primeira, de acordo com uma visão funcional, como sendo um conjunto de sub-sistemas que transformam informações de entrada em informações de saída, representadas em termos de fluxo de energia, material e sinal. Na outra, segundo uma visão estrutural, o sistema técnico é entendido como sendo um conjunto de componentes montados e arranjados de forma a desempenhar funções.

Ogliari (1999), considerando o domínio de componentes injetados, classifica este tipo de produto em quatro categorias: produto único com somente um componente, produto único com múltiplos componentes, parte de sistema técnico com único componente e parte de sistema técnico com múltiplos componentes. Esta classificação está ilustrada na tabela 2.1.

Tabela 2.1. Classificação dos componentes injetados (Ogliari, 1999)

CLASSIFICAÇÃO DOS COMPONENTES INJETADOS		EXEMPLO
Produto de Plástico Injetado	Produto Único	<p>Único Componente</p>  <p>Botão</p>
	Produto Único	<p>Múltiplos Componentes</p>  <p>Cadeira de crianças</p>
	Produto Parte de Sistema Técnico	<p>Único Componente</p>  <p>Guia de cédulas</p>
		<p>Múltiplos Componentes</p>  <p>Conector de tubos</p>

A definição de sistema técnico segundo Hubka (1995), baseia-se no conceito de modelos de transformação de informações. Desta forma, um sistema técnico pode ser representado através de operadores, os quais sofrem transformações, passando de um estado inicial "A" para um estado final "B". Estes operadores podem ser informações e características do produto de distintas naturezas, por



Nas metodologias propostas por Back (1983), Blanchard e Fabrycky (1990), Hubka (1992), Pahl e Beitz (1988) e Ullman (1992), inicialmente ocorre a definição da função e da forma (princípio de solução) do produto através da execução das fases de definição das especificações de projeto<sup>1</sup> e projeto conceitual. Na sequência, com base nestas informações, no projeto preliminar e detalhado ocorrem as definições de material e processos produtivos, visando o início da manufatura do produto. Como na maioria dos casos, um sistema técnico é constituído por um conjunto de componentes, segundo a concepção dos autores, neste momento, isto é, na fase de projeto conceitual e preliminar do sistema técnico inicia-se o desenvolvimento do componente. Esta relação está representada de forma esquemática na figura 2.2 pelo fluxograma representado em azul.

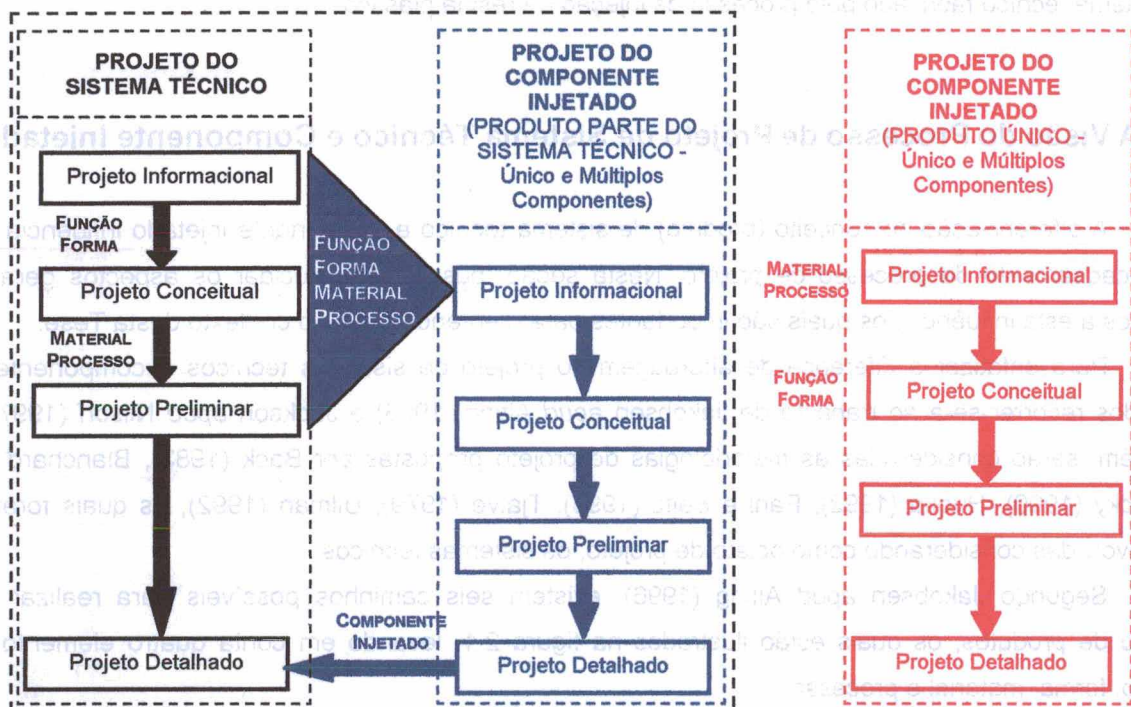


Figura 2.2. Relação entre o processo de projeto de sistemas técnicos e componentes injetados.

Como ilustrado em vermelho na figura 2.2, o projeto de componentes injetados envolve as fases de projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado. Nesta linha encontra-se a metodologia proposta por Daré (2001). As metodologias elaboradas por Back (1983), Blanchard e Fabrycky (1990), Hubka (1992), Pahl e Beitz (1988) e Ullman (1992), também se enquadram nesta linha, entretanto não se mostram as mais adequadas para projetar componentes injetados, uma vez que apresentam dificuldades de:

- i) Considerar e avaliar de forma integrada e sistemática o conhecimento de especialistas;
- ii) Auxiliar o desenvolvimento da concepção (forma) do componente, as quais são determinadas considerando restrições associadas ao sistema técnico e ao processo de manufatura, regras, recomendações e princípios de solução típicos do projeto de componentes injetados, entre outras informações;

<sup>1</sup> Fonseca (2000) definiu a fase de definição das especificação de projeto sob o nome "Fase de Projeto Informacional", a qual vem sendo adotada em trabalhos desenvolvidos no âmbito do NeDIP.

iii) Estimar o custo de componentes injetados, principalmente, nas fases iniciais de projeto devido ao elevado grau de abstração e ao baixo número de informações disponíveis sobre o produto;

iv) Avaliar a viabilidade técnica e econômica das alternativas de concepção, considerando de forma integrada os parâmetros associados ao projeto, processo, molde e material de injeção e, simultaneamente, as possíveis abordagens de custos e o nível de abstração das informações.

Neste item, foram descritos aspectos gerais que diferem o projeto de sistemas técnicos e componentes injetados. Em suma, as principais diferenças envolvem o desencadeamento das fases de projeto informacional e conceitual, principalmente, no tocante aos meios disponíveis (ferramentas de projeto) e a manipulação das informações para auxiliar o projeto de componentes injetados. Estes aspectos específicos serão tratados a seguir.

## 2.4. Metodologias de Projeto de Componentes Injetados

As metodologias específicas para determinados domínios de conhecimento de projeto buscam refletir e considerar de forma mais consistente as características destes setores produtivos. Nesta linha, considerando o projeto de componentes injetados destacam-se as metodologias propostas por Malloy (1994), Defosse *et al* (1997), Back *et al* (1998) e Daré (2001).

A metodologia proposta por Malloy (1994), ilustrada na figura 2.3, busca incorporar, analisar e avaliar no processo de projeto aspectos relacionados à manufatura, molde e material de injeção.

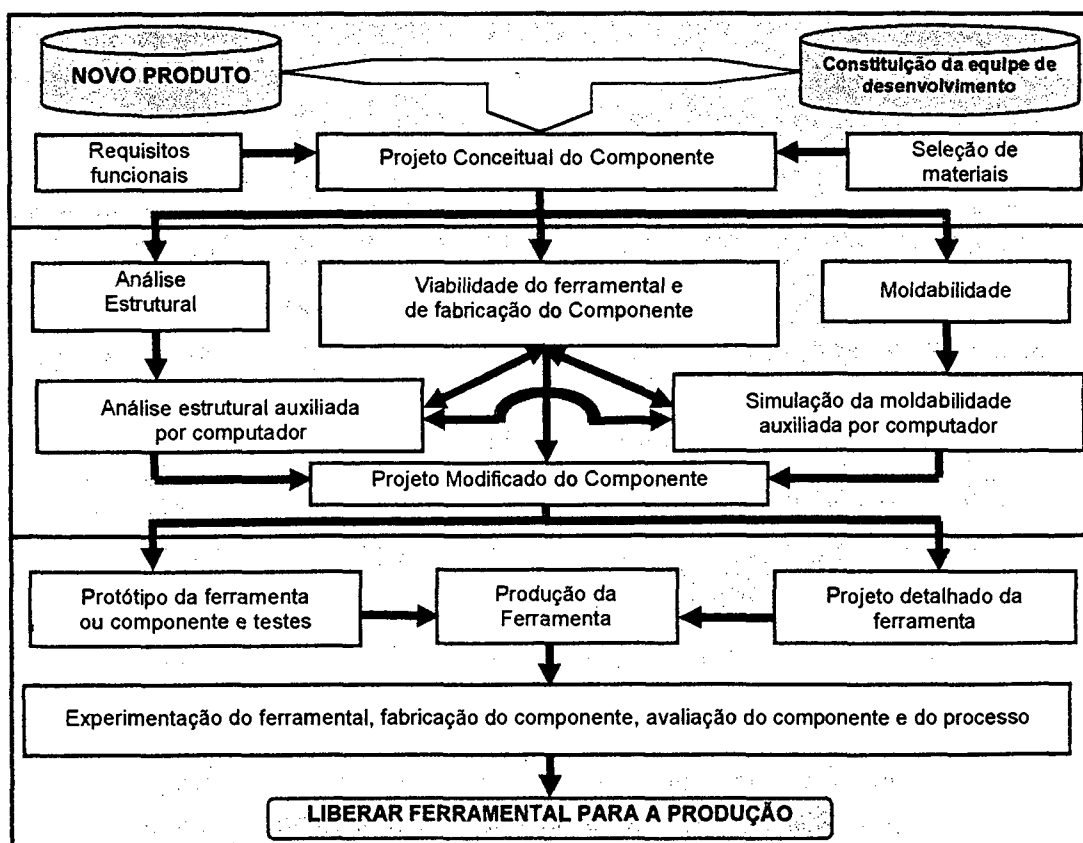


Figura 2.3. Processo de projeto de componentes injetados (Malloy, 1994).

Segundo Malloy (1994), no início do projeto de componentes injetados deve ser constituída uma equipe multidisciplinar de projeto. Eastman e Smith (1996) colocam que a seleção de fornecedores e a formação de equipes multifuncionais e multiorganizacionais pode acelerar o ciclo de desenvolvimento do produto, assim como as informações podem ser tratadas de forma integrada.

De acordo com Malloy (1994), o desenvolvimento da concepção do componente injetado envolve a definição dos requisitos de projeto, a geração de concepção, a seleção inicial de materiais, a adequação da concepção em relação as propriedades dos materiais candidatos ao projeto e, finalmente, a seleção do material candidato.

Na definição dos requisitos de projeto são levantadas as necessidades dos clientes que, posteriormente, serão convertidas em requisitos e especificações de projeto. Neste momento, devem ser consideradas condições do ambiente de serviço (temperatura, umidade, agentes químicos), características de carregamento (tipos, frequência e cargas), requisitos dimensionais (geometria e tolerâncias), restrições de mercado (produção, tempo de vida útil e preço máximo do produto para o consumidor final), além de fatores estéticos (cores, tamanho e forma). Entretanto, Malloy (1994) não apresenta como os aspectos de custo podem ser considerados no projeto do produto.

A seleção inicial de materiais para o projeto do componente, a partir da identificação dos materiais que apresentam as propriedades técnicas que satisfazem os requisitos de projeto, constitui a próxima etapa da metodologia. Em termos econômicos, Malloy (1994) não apresenta maiores detalhes em sua proposição.

Em se tratando da geração das alternativas de concepção de componentes injetados propriamente dita, Malloy (1994) não apresenta maiores detalhes, apenas indica que deve ocorrer a adequação da concepção do componente em relação às propriedades dos materiais candidatos. Segundo o autor, posteriormente, quando os requisitos de projeto forem especificados e o projeto do componente estiver mais detalhado proceder-se-á a escolha final do material do produto.

Ao final do projeto são introduzidas modificações na geometria do componente injetado, visando melhorar a sua moldabilidade e a manufacturabilidade. Na figura 2.4, tem-se, à esquerda, o projeto inicial do componente e, à direita, o projeto modificado através da alteração dos raios de arredondamento e dos ângulos de saída visando melhorar a sua moldabilidade e ejeção e através da inclusão de uma textura, com o objetivo de melhorar a aparência do componente (Malloy, 1994).

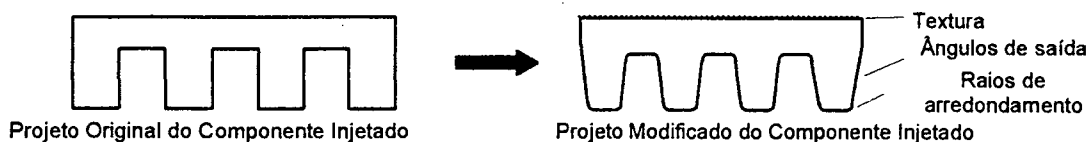


Figura 2.4. Projeto original e modificado do componente visando a sua manufatura. (Malloy, 1994)

O resultado da avaliação teórica do projeto de componentes injetados precisa ser verificado na prática. Para isto, podem ser construídos protótipos do produto visando analisar e identificar possíveis problemas relacionados à manufatura, difíceis de serem identificados nos modelos teóricos. Com a conclusão do projeto do componente, inicia-se o desenvolvimento do molde de injeção e o tray-out da produção.

Defosse *et al.* (1997) apresentam uma série de tarefas, propostas com base nos princípios da engenharia simultânea, visando a redução do tempo de desenvolvimento de componentes injetados. Segundo os autores, este desenvolvimento envolve: i) entendimento do problema de projeto, definição do conceito e características gerais do componente; ii) modelamento da geometria do produto; iii) envolvimento de fornecedores de material; iv) estabelecimento de requisitos funcionais; v) seleção de materiais candidatos; vi) simulação preliminar em sistema CAE do componente; vii) seleção do fornecedor do molde e desenvolvimento inicial do molde de injeção; viii) detalhamento do componente; ix) simulação da moldagem do componente; x) construção de protótipos e envio do projeto do componente ao fornecedor do molde; e, x) desenvolvimento final do molde de injeção (projeto, fabricação, montagem e *try out* do ferramental) e a produção do componente injetado.

Sob os preceitos da Engenharia Simultânea, Back (1998) propuseram uma metodologia de projeto que considera as fases de projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado. Na fase informacional ocorre o estudo do problema de projeto, a definição do ciclo de vida do produto, o levantamento de necessidades dos clientes, a determinação dos requisitos de projeto e a definição das especificações de projeto do componente injetado. No projeto conceitual, realiza-se o modelamento funcional do componente, a seleção preliminar de uma classe de materiais e dos correspondentes processos de fabricação, a elaboração da matriz morfológica, a definição de estruturas de princípios de solução alternativa, a seleção da melhor concepção e a revisão sistemática do projeto conceitual do componente.

Na fase de projeto preliminar deve ser realizada a modelagem geométrica aproximada do produto, simulações de preenchimento do molde de injeção, desenvolvimento de protótipos e avaliação do custo de produção. Finalmente, no projeto detalhado, basicamente, são realizadas as mesmas tarefas do projeto preliminar, entretanto de uma forma mais profunda e precisa.

Com a conclusão do projeto do componente, inicia-se o desenvolvimento do molde de injeção, a partir da determinação das necessidades dos usuários do molde, requisitos e especificações de projeto, desenvolvimento do modelo, geração e seleção da concepção do molde.

Finalmente, Back (1998) coloca que deve ser selecionada a máquina injetora, modelada geometricamente a forma do molde, dimensionadas as placas porta-cavidades e principais elementos do molde, projetados os sistemas de refrigeração e extração do molde e, realizada a revisão e aprovação do projeto detalhado do molde. Ao final, inicia-se a fabricação, teste e avaliação do molde de injeção e planejamento da produção do componente.

Daré (2001) apresenta uma metodologia de projeto de componentes injetados com enfoque na Engenharia Simultânea. Neste modelo, são descritos aspectos gerais do projeto do produto, o qual envolve as fases de projeto informacional (identificação de necessidades, restrições, requisitos e funções), projeto conceitual (geração de alternativas de concepção, seleção de materiais candidatos e da concepção do componente), projeto preliminar (análise das interfaces componente-sistema, seleção do material, análise de resistência mecânica, reológica e térmica do componente, estimativa de custo, elaboração do protótipo e teste funcional do componente) e detalhada a preparação de documentos para produção). Entretanto, o autor não aborda aspectos relativos a como executar estas tarefas, isto é, a operacionalização, principalmente, das fases de projeto informacional e conceitual.



Devido ao carácter genérico das metodologias estudadas, observa-se a necessidade da proposição de uma metodologia de projeto de componentes injetados, composta de meios (ferramentas) adequados que possibilitem a manipulação de conhecimento de especialistas (informação), principalmente, nas fases iniciais de projeto.

## **2.5. Desenvolvimento de Componentes Injetados com base nas Metodologias de Projeto de Sistemas Técnicos**

O estudo da aplicabilidade das metodologias e das ferramentas de projeto de sistemas técnicos no desenvolvimento de componentes injetados constitui o objetivo desta seção. Esta aplicabilidade pode ser entendida como sendo a habilidade, a capacidade, enfim a possibilidade de colocar em prática, manipular, adequar e aplicar os conhecimentos e as informações de um determinado domínio de conhecimento (no caso, o projeto de sistemas técnicos) num campo de conhecimento distinto (no caso, o projeto de componente injetados).

Na literatura são encontradas distintas metodologias destinadas a auxiliar o projeto de sistemas técnicos - Pahl e Beitz (1996), Back (1983), Blanchard e Fabrycky (1990), Hubka e Eder (1992), Ullman (1992), Ferreira (1997), entre outras - as quais são bastantes similares no tocante às suas fases e etapas. Segundo Ogliari (1999), as diferenças ocorrem na terminologia empregada pelos autores e no detalhamento dos processos.

A análise descrita nesta seção, será realizada considerando estas metodologias de forma geral e as observações da atividade de projeto em empresas do setor<sup>2</sup> em questão. Estas informações estão descritas ao longo deste texto e contribuirão para o estabelecimento das justificativas para a proposição da metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados.

### **2.5.1. Fase de Projeto Informacional**

O início do projeto de um componente injetado pode ser fruto do desenvolvimento de um novo componente para um sistema técnico, da necessidade de otimizar um produto existente ou, ainda, do lançamento de um novo produto no mercado. Na maioria dos casos, a demanda pelo projeto do produto é identificada pela área de marketing de uma empresa a fim de atender as necessidades de mercado, fixando valores de custo-meta e *marketshare*. No caso de componentes injetados, geralmente estas necessidades são identificadas pelo contratante do projeto e são repassadas à área de desenvolvimento do produto, que determina a tarefa de projeto.

---

<sup>2</sup> Foram realizadas visitas as seguintes empresas: na Alemanha, Nothnagel Thermoplastsysteme AG, Eugen Helm Formenbau und Thermoplastverarbeitung, Werkzeugbau Langbein & Co e Diton Kunststofftechnik; no Brasil, Plasvale, Vama Industrial, Techno Jung, Multibras e Intelbras.

Em se tratando de componentes injetados, nesta fase deve ocorrer o envolvimento de especialistas relacionados ao projeto do componente, ao processo de manufatura, ao desenvolvimento do molde de injeção e fornecimento de matéria prima, uma vez que, segundo Fonseca (2000), as especificações de projeto constituem a base para a execução do projeto conceitual do produto. Por outro lado, geralmente, estes especialistas encontram-se em diferentes empresas, o que acaba gerando uma dificuldade de integração do conhecimento (informação) de especialistas.

Na fase de esclarecimento da tarefa de projeto<sup>3</sup> são definidos os objetivos a serem alcançados com a elaboração do projeto do produto, realizadas análises de mercado, procuradas e selecionadas idéias de produtos similares, formuladas propostas de produtos, estabelecidas necessidades dos clientes, definidos requisitos e especificações de projeto do produto. Nesta fase, as ferramentas de projeto comumente empregadas, são: questionário estruturado, lista de necessidades, matriz do QFD (Akao, 1990), entre outras. Entretanto, as ferramentas citadas não dispõem de meios adequados para determinar esclarecer a tarefa de projeto, uma vez que:

i) Algumas necessidades dos clientes devem ser satisfeitas em sua plenitude, pois o projeto de componentes injetados inicia considerando informações previamente definidas relacionadas ao processo de manufatura e, em determinados casos ao sistema técnico;

ii) Devido aos especialistas trabalharem de forma isolada, os requisitos de projeto podem não conter informações adequadas ao desenvolvimento do componente injetado. Neste sentido, tem-se a necessidade de avaliar se estes requisitos atendem por completo ao problema em questão. No caso de componentes injetados, esta avaliação é bastante pertinente, pois são levantadas informações de diferentes domínios do conhecimento. Por outro lado, as ferramentas de projeto não colocam como deve ser realizado o levantamento destas informações;

iii) Os requisitos de projeto apresentam uma dependência entre si, resultante da multidisciplinaridade e interdisciplinaridade das informações provenientes do conhecimento de especialistas em desenvolvimento do componente injetado. Em termos práticos, esta dependência resulta em soluções de compromisso para o projeto do produto, as quais nem sempre produzem o resultado desejado, uma vez que, os requisitos de projeto não são contemplados em sua totalidade, simultaneamente. Em outras palavras, devido à dificuldade de interpretar os requisitos de projeto de forma integrada, os especialistas acabam utilizando o seu conhecimento de maneira isolada, estabelecendo soluções que não se mostram as mais adequadas para o projeto do componente injetado. Por sua vez, as ferramentas relacionadas não possuem meios efetivos para integrar o conhecimento desses especialistas;

iv) As regras, estratégias e princípios de solução de componentes injetados, isto é, o conhecimento explícito<sup>4</sup> são bastante genéricos e não prevêem situações particulares de projeto. Boothroyd *et al.* (1994) colocam que, em alguns casos, a utilização incorreta deste conhecimento pode implicar em efeitos negativos sobre a qualidade, custos e funcionalidade do produto. Ainda, Belofsky (1995) coloca que o não cumprimento de uma regra de projeto, em alguns casos, pode

<sup>3</sup> Fonseca (2000) denomina a "Fase de Esclarecimento da Tarefa de Projeto" de "Fase de Projeto Informacional".

significar numa melhor solução para o projeto do produto. Considerando estes conhecimentos e aspectos colocados por Boothroyd *et al.* (1999) e Belosfky (1995), observa-se a necessidade de se dispor de meios para aplicar este conhecimento de forma efetiva e considerando situações particulares de projeto. Entretanto, nota-se que, de uma forma geral, as ferramentas de projeto não permitem tal consideração.

v) As especificações de projeto envolvem a atribuição de valores aos requisitos de projeto, a qual é executada de forma subjetiva pois, geralmente, ocorre com base, somente, na experiência da equipe de desenvolvimento do produto, isto é, o conhecimento tácito<sup>5</sup>. Como as ferramentas de projeto não suportam estes aspectos, têm-se especificações formuladas sem considerar de forma sistemática o conhecimento da área de desenvolvimento de componentes injetados, podendo causar problemas nas fases de projeto conceitual, preliminar e detalhado do produto.

Sob o enfoque econômico, no início do projeto de sistemas técnicos deve ocorrer a preparação de custos do produto, visando a sua estimativa na etapa de projeto conceitual (Stewart, 1991) (Ferreira, 1998). A preparação de informações envolve a determinação do custo meta<sup>6</sup> do produto, o qual pode ser tratado ao longo do ciclo de vida do produto sob duas abordagens:

i) Projeto para o Custo (*Design to cost*): definido no início do processo de projeto, o custo meta do produto é uma orientação para o projeto do mesmo. Assim, podem ser definidas e projetadas novas características no produto de modo que o seu custo alcance o valor do custo meta;

ii) Projeto para o mínimo custo (*Design to minimum cost*): a equipe de projeto busca concepções com menor custo possível. Além disto, ao final do desenvolvimento do produto inicia-se a manufatura do mesmo e, devido ao aprendizado organizacional, pode ocorrer a introdução de pequenas melhorias no produto, visando a redução do seu custo; (Mondem, 1999)

Em se tratando de componentes injetados, a equipe de projeto deve ter em mente as abordagens apresentadas por Mondem (1999), pois as mesmas influenciam nas características a serem implementadas no produto, por exemplo: na escolha de um tipo de acabamento superficial, na seleção de um tipo de princípio de solução, entre outras.

Em suma, considerando a análise descrita neste item e os objetivos estabelecidos nesta Tese, entende-se que deve ser proposta uma metodologia visando o estabelecimento das especificações de projeto de componentes injetados, segundo os preceitos da Engenharia Simultânea, de modo a: i) disponibilizar um conjunto maior de informações de projeto visando minimizar o elevado nível de abstração e maximizar o número de dados disponíveis considerando a multidisciplinaridade e a interdisciplinaridade do conhecimento de especialistas; ii) gerar informações que orientem a execução das fases de projeto conceitual; iii) considerar a dependência entre os requisitos de projeto de forma integrada e buscando, principalmente, soluções que contemplem estes requisitos em sua totalidade, portanto, evitando sempre que possível, as chamadas soluções de compromisso; iv) auxiliar a definição de restrições de projeto; v) prover meios para empregar os

<sup>4</sup> Segundo Nonaka e Takeuchi (1997), os conhecimentos explícitos são aqueles estruturados e capazes de serem verbalizados. Corresponde à parte do conhecimento que pode ser expressa, armazenada e compartilhada em documentos, livros, planilhas, matrizes, sistemas, etc.

<sup>5</sup> Nonaka e Takeuchi (1997) definem o conhecimento tácito como aqueles inerentes às pessoas, ou seja, as habilidades que possuem. Constituem a parcela que não é estruturada do conhecimento, que não pode ser registrada e/ou facilmente transmitida a outras pessoas.

<sup>6</sup> Valor máximo que o produto deve custar ao final do processo de desenvolvimento do produto.

conhecimentos tácito e explícito dos especialistas de forma sistemática, integrada e considerando situações particulares de projeto; e, vi) identificar os pontos nos quais maiores esforços (tempo, recursos técnicos, recursos financeiros) devem ser concentrados.

### 2.5.2. Fase de Projeto Conceitual

De uma forma geral, no projeto de sistemas técnicos, tomando como base as especificações de projeto, na fase conceitual realiza-se a estruturação funcional do produto, geração de alternativas de concepção e seleção da concepção do produto em desenvolvimento.

Na geração da estrutura funcional do sistema técnico, basicamente, realiza-se o modelamento do produto utilizando funções, as quais são representadas em termos de fluxo de energia, material e sinal. Os métodos de modelagem funcional de produto mais difundidos na literatura são o método da síntese funcional e a lista de funções de produtos.

No método da síntese funcional, segundo Pahl e Beitz (1999), a equipe de projeto, a partir da definição do problema busca estabelecer uma função global baseada em fluxos de energia, material e sinal e, desdobrá-la através de diagramas de blocos de funções parciais, que expressam relações de entrada e saída de energia, material e sinal. No caso de componentes injetados, estabelecer uma estrutura funcional é um processo complexo e de difícil aplicação, uma vez que o processo de geração das concepções destes componentes baseia-se, muito mais, no desenvolvimento de elementos básicos (ribs, insertos, etc), nas especificações de material e do processo de injeção, na consideração de informações sobre forma (regras de projeto) e na experiência de quem o executa do que, simplesmente, no desdobramento funcional do produto (Ferreira, 1998).

Em se tratando de componentes injetados, é importante observar as seguintes categorias: i) *O componente injetado é parte do sistema técnico*, portanto desempenha uma das funções parciais da estrutura funcional do produto ou sistema. Em outras palavras, a função do componente injetado é determinada por uma das funções parciais do sistema técnico. São exemplos de produtos desta categoria, os pára-choques de automóveis, gabinetes de celulares e outros. ii) *O componente injetado é um produto único e desempenha uma função global*, a qual é composta por um conjunto de funções parciais. Nesta categoria, podem ser identificadas distintas funções parciais do componente a partir da função global do mesmo. Nesta situação, enquadram-se produtos como, por exemplo, recipientes de condicionamento de líquidos, bandejas e outros.

Como pode ser observado, a identificação do fluxo de energia, material e sinal para auxiliar na geração de alternativas de concepção de componentes injetados não se mostra a abordagem mais recomendada, pois num único componente podem ser identificadas múltiplas funções que, na maioria dos casos, são independentes entre si.

Com o objetivo de identificar funções típicas desempenhadas por componentes injetados, Wood (1996) consultando pesquisadores e profissionais da área, identificou a existência de um conjunto de funções comumente empregadas no projeto deste tipo de produto. Além disto, observa-se que, embora os pesquisadores da área coloquem que o desenvolvimento da estrutura funcional de produto deve ser realizado com base nas especificações de projeto, na prática não existe um meio

(ferramenta de projeto) adequado para se considerar efetivamente as informações das especificações de projeto na geração da estrutura funcional de produtos.

Considerando estes aspectos, observa-se que é necessária a integração de uma forma mais eficaz das informações provenientes das especificações de projeto no processo de modelagem funcional do componente injetado. Sob este pensamento, uma proposição inicial é apresentada por Ogliari (1999) através da introdução do conceito de ícones de projetos.

Segundo Ogliari (1999), os ícones de projeto constituem-se em parcelas de conhecimento sobre elementos de dado domínio de aplicação, tais como objetos, processos, agentes, fenômenos, entre outros, na forma de episódios, procedimentos, regras, entre outros tipos de conhecimentos, que auxiliam no reconhecimento das relações entre necessidades dos clientes e requisitos de projeto, com as funções do produto. Os ícones constituem-se em "conceitos de transição" entre as declarações de necessidades dos clientes, os requisitos de projeto e, as funções do produto.

Uma característica importante dos ícones de projeto, segundo Ogliari (1999) é que deve consistir na generalidade de suas formulações, ou seja, devem ser desprovidas de soluções concretas conhecidas ou detalhes de projeto, com o propósito de promover uma identificação "isenta" das funções do produto. E, também, que a utilização e a implementação desse conceito pressupõe a sistematização de uma base de ícones relacionadas ao domínio de aplicação, no caso, o projeto de componentes injetados. O autor salienta que esta tarefa não é simples, devido à complexidade de fatos, procedimentos, episódios e regras a serem considerados. Desta forma, nesta Tese propõem-se diretrizes gerais visando a constituição de uma base de ícones de projeto de componentes injetados, o que pressupõe a associação desta base de ícones a informações relacionadas ao processo, material, molde de injeção e custo, obtidos através das especificações de projeto.

Neste contexto, devido à multidisciplinaridade e a interdisciplinaridade do projeto de componentes injetados e considerando a abordagem da Engenharia Simultânea, ao se identificar as funções dos componentes, é importante "pensar" nas funções associadas ao produto (sistema técnico, se for o caso), ao processo, ao molde e ao material de injeção. Por exemplo, considerando o projeto de um snap, uma função associada ao molde de injeção é prover a abertura na base desse snap de modo a permitir a extração do produto sem a necessidade da existência de gavetas no molde sendo uma função associada ao produto prover um encaixe rápido.

No projeto de sistemas técnicos, com a conclusão da estruturação funcional inicia-se a geração de alternativas de concepção. Em se tratando do desenvolvimento de componentes injetados, o processo de geração das concepções pode ser considerado um dos pontos mais complexos. Em consulta a empresas deste setor, comprovou-se a colocação de Leifer e Hanada (1997), isto é, constatou-se que existe pouca disseminação de modelos metodológicos para auxiliar a geração de concepções de componentes injetados. Também, observou-se que os esforços de pesquisas e trabalhos concentram-se, em sua maioria, na sistematização das fases de projeto preliminar e detalhado do produto, quando são realizadas simulações computacionais do processo de injeção. Entretanto, nestas fases as possibilidades de se melhorar o desempenho técnico e econômico do produto são limitadas, além do que o custo das alterações a serem realizadas no componente injetado podem se tornar inviáveis.

Para auxiliar na operacionalização do processo de geração de alternativas de concepções, Pahl e Beitz (1996), Back (1983), Blanchard e Fabrycky (1990), Hubka (1992), Ullman (1992), entre outros autores, recomendam o emprego de métodos sistemáticos e intuitivos de criatividade, os quais foram propostos considerando o domínio de projeto de sistemas técnicos. Neste momento, considerando o contexto desta Tese, buscar-se-á analisar o emprego destes métodos (ferramentas de criatividade) no processo de geração de alternativas de concepções de componentes injetados.

Entre os métodos de criatividade, um dos mais difundidos e empregados no projeto de sistemas técnicos é a matriz morfológica. Este método, basicamente, busca associar princípios de solução para cada função da estrutura funcional, permitindo combiná-los de modo a gerar as alternativas de concepção.

A diferença do processo de geração de alternativas de concepção de sistemas técnicos e componentes injetados está ilustrada na figura 2.5. No caso de sistemas técnicos, empregando-se métodos de criatividade, a equipe de projeto deve associar princípios de solução para cada função da estrutura funcional. No caso de componentes injetados, principalmente, considerando as regras e as recomendações típicas de projeto destes produtos são gerados os princípios de solução.

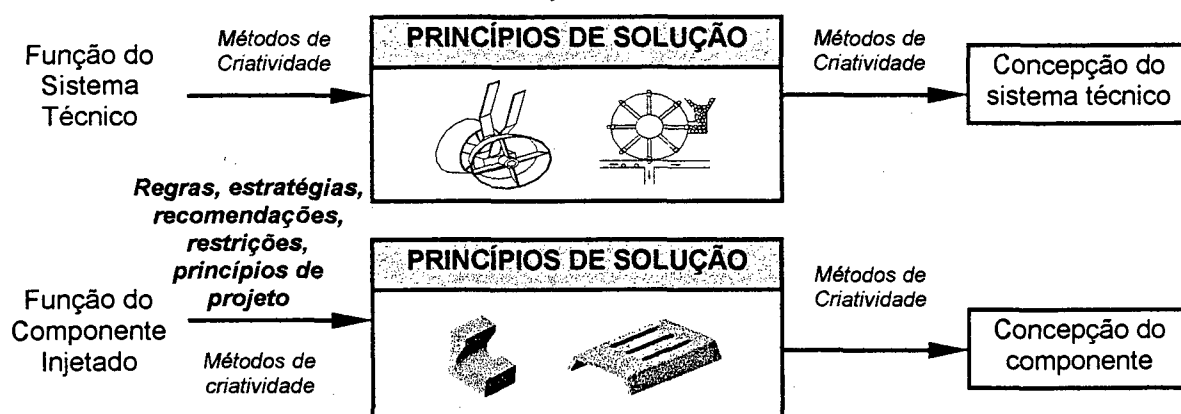


Figura 2.5. Transição função-concepção no projeto de sistemas técnicos e componentes injetados.

Em se tratando de componentes injetados, Beiter *et al* (1995) enfatizam a necessidade da proposição de modelos de processo e informações que preencham os vazios existentes entre as regras de projeto destes produtos e os sistemas de simulação computacional. Os autores colocam que, para gerar a concepção de componentes injetados de forma mais consistente devem ser consideradas informações do processo, do molde e de materiais de injeção de forma integrada. Ainda, neste processo de geração é importante considerar a dependência entre os requisitos de projeto, aspectos relacionados a facilidade de injeção, manufatura do molde, restrições, regras e estratégias típicas de projeto destes produtos.

Sob este preceito, pesquisas tem sido desenvolvidas no sentido de facilitar e sistematizar a transição da "função" para a "forma" de componentes injetados. Nestas pesquisas, tem-se utilizado o conceito de *features* para facilitar esta transição.

Segundo Wood (1996), o conceito de *features* é definido como sendo um elemento básico (forma geométrica) de um componente, que satisfaz requisitos funcionais. O autor, assim como para as funções, considerando resultados de pesquisas realizadas junto a especialistas e profissionais da

área, obteve um conjunto de *features* tipicamente empregadas no projeto de componentes injetados. E, também estabeleceu uma relação entre estas *features* e as funções desempenhadas pelos componentes injetados. Um resultado parcial deste estudo está sintetizado na tabela 2.2.

Tabela 2.2. Relações entre features e funções estabelecida por Wood (1996).

FEATURE	FUNÇÃO
Discos (disks)	Alinhar, espaçar, reduzir, reforçar e suportar.
Encaixes (slots)	Guiar, manter, posicionar e transferir.
Furos (holes)	Acoplar, montar e posicionar.
Linguetas de encaixe (snps)	Acoplar, manter e segurar.
Nervuras (ribs)	Guiar, reforçar, resistir e suportar.

O trabalho elaborado por Wood (1996) é importante devido à identificação das relações entre features e função de componentes. Por outro lado, observa-se a necessidade de ampliar este estudo buscando associar um maior número destas relações e, principalmente, propor recursos para utilizar estas informações de forma integrada aos demais métodos de criatividade.

Outro aspecto a ser analisado, refere-se à consideração de aspectos econômicos na geração de alternativas de solução do componente injetado. Neste sentido, a equipe de projeto deve dispor de meios para analisar e avaliar os custos do ciclo de vida do produto durante a sua geração. Como consequência, pode-se ter um ganho de recursos e tempo no desenvolvimento do produto. Entretanto, de um modo geral, as metodologias de projeto apresentam apenas recomendações superficiais para se considerar aspectos econômicos no processo de geração das alternativas de concepção.

Em suma, a análise do processo de geração de alternativas de concepção de componentes injetados pode ser sintetizada nos seguintes pontos, os quais constituem justificativas para a proposição de uma metodologia que apoie o processo de geração de alternativas de concepção: i) as informações levantadas na fase de projeto informacional devem ser consideradas de forma integrada e sistematizadas adequadamente, de modo a reduzir a lacuna existente entre esta fase e o projeto conceitual de componentes injetados, principalmente quando da identificação de funções e geração de princípios de solução para o produto; ii) o estabelecimento da relação entre função e forma do componente injetado deve ser realizado de forma integrada, considerando informações relacionados ao processo, molde, material de injeção e custo; iii) informações de custo devem ser consideradas para gerar alternativas de concepção do componente injetado considerando aspectos econômicos.

O projeto conceitual de sistemas técnicos encerra-se com a seleção da concepção mais adequada. Na literatura podem ser encontrados alguns métodos para auxiliar nesta seleção. Pugh (1990) apresenta uma matriz onde as alternativas de concepção são avaliadas em relação aos requisitos de projeto. Ferreira (1997) propôs uma sistemática para avaliar as concepções em relações a aspectos técnicos e econômicos, simultaneamente. Ullman (1992) apresenta uma sistemática composta de quatro etapas: julgamento de viabilidade, avaliação da disponibilidade tecnológica, exame passa não passa e matriz de avaliação da concepção do produto.

Existem outros métodos para auxiliar no processo de tomada de decisão disponíveis na literatura, dentre os quais mencionamos: comparação com soluções ideais hipotéticas, entre outros.

Nesta linha, Ensslin (1997) coloca a dificuldade da passagem de uma escala semântica, que expressa o julgamento ou a preferência da equipe de projeto em relação as alternativas de concepção, para uma escala numérica. Com o intuito de minimizar este problema, Ensslin (1997) apresenta a metodologia multicritério de apoio ao processo de tomada de decisão denominada MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Technique*), a qual foi elaborada por Bana e Costa (1992).

A proposta da metodologia MACBETH é que, a explicação da intensidade de preferência que o decisor possui em relação às alternativas de concepção seja realizada através da expressão de julgamentos de diferenças de atratividade entre duas ações. Desta forma, o procedimento não tenciona obter a escala dos decisores, mas construí-la a partir de seus julgamentos de valor. Em outras palavras, não será imposto ao decisor nenhuma preferência mas, simplesmente, serão retratadas aquelas preferências que os decisores forneceram (Ensslin, 1997).

No caso de componentes injetados, Chin e Wong (1996) colocam que, os problemas relativos à seleção da concepção envolvem a inadequada exploração da viabilidade de todas as alternativas de concepção, a ineficiente consideração dos critérios de avaliação do produto em relação a facilidade de fabricação e aos custos de produção, a inadequada consideração das influências mútuas entre a fabricação do molde, o processo de moldagem e a pobre coordenação entre os especialistas envolvidos no desenvolvimento do produto.

Portanto, em termos técnicos, deve ser avaliada a influência das principais características das alternativas de concepção do componente injetado sobre os requisitos associados ao processo, ao molde e ao material de injeção. Em outras palavras, é importante identificar, considerar, julgar e quantificar como as informações provenientes destes campos de conhecimento influenciam o desempenho técnico do componente injetado.

Em termos econômicos, Ferreira (1997) coloca que, neste processo de decisão, devem ser considerados os custos do ciclo do produto, os quais devem ser comparados ao custo meta, especificado no início do processo de desenvolvimento do produto. Entretanto, para isto, os custos do ciclo de vida devem ser estimados<sup>7</sup>.

Como colocado, o processo de desenvolvimento pode ser conduzido segundo as abordagens de "projeto para custo" e "projeto para mínimo custo". Portanto, estas abordagens devem ser consideradas na seleção da concepção do componente injetado.

Neste sentido, Tanaka *et al* (1995) desenvolveram estudos pioneiros relacionados à abordagem do "projeto para o custo". Nesta linha, Schneider *et al.* (1998) apresentam ferramentas para estimar o custo do sistema técnico, a partir do conhecimento dos custos de suas funções e componentes. Os autores, inicialmente, apresentam uma matriz de valoração para definir o valor do custo meta dos componentes do sistema técnico a partir do conhecimento do custo meta do sistema e suas funções. Os autores também mostram que conhecendo o custo dos componentes é possível estimar o custo do sistema técnico. E, com base no resultado destas análises, a equipe de projeto pode decidir por utilizar componentes de qualidade superior ou inferior com o objetivo de satisfazer os preceitos da abordagem de "projeto para custo".

---

<sup>7</sup> No Capítulo 3 são discutidos aspectos referentes a estimativa de custos de componentes injetados.



Considerando o foco da Tese, as abordagens propostas por Tanaka *et al* (1995) e Schneider, *et al* (1998) não se mostram as mais adequadas, pois o custo do componente não pode ser estimado a partir das suas características e propriedades do processo de manufatura, somente, permite determinar o custo-meta dos componentes.

No "projeto para o mínimo custo" no processo de seleção da concepção do produto, basicamente, busca-se satisfazer duas condições. Na primeira, o custo estimado do produto deve ser menor ou igual ao custo-meta. Na segunda, procura-se a melhor relação custo-benefício para o produto, ou seja, deseja-se obter um produto que atenda às necessidades funcionais dos clientes com um valor de custo o mais baixo possível.

A abordagem de "projeto para mínimo custo", também conhecida como custo kaizen, preocupa em estabelecer formas de reduzir o custo do produto na etapa de manufatura. Segundo Mondem (1999), esta abordagem pode ser empregada em três situações.

i) Compensar os resultados dos produtos que não atingiram o custo meta, empregando-se a análise de valor. Os patamares de redução de custo estabelecidos devem ser atingidos, de modo que o valor de custo estimado do produto esteja próximo ao custo meta.

ii) Recuperar a lucratividade dos produtos que apresentem pouca rentabilidade, através da elaboração de estudos visando reduzir de forma mais drástica o custo do produto.

iii) Reduzir o custo de submontagens ou componentes de produtos. Empregando-se ferramentas específicas - por exemplo, engenharia e análise de valor - são estabelecidos meios de reduzir o custo do produto. Conforme ilustrado na figura 2.6, os maiores potenciais de redução de custos de produtos encontram-se nas fases de projeto informacional e conceitual..

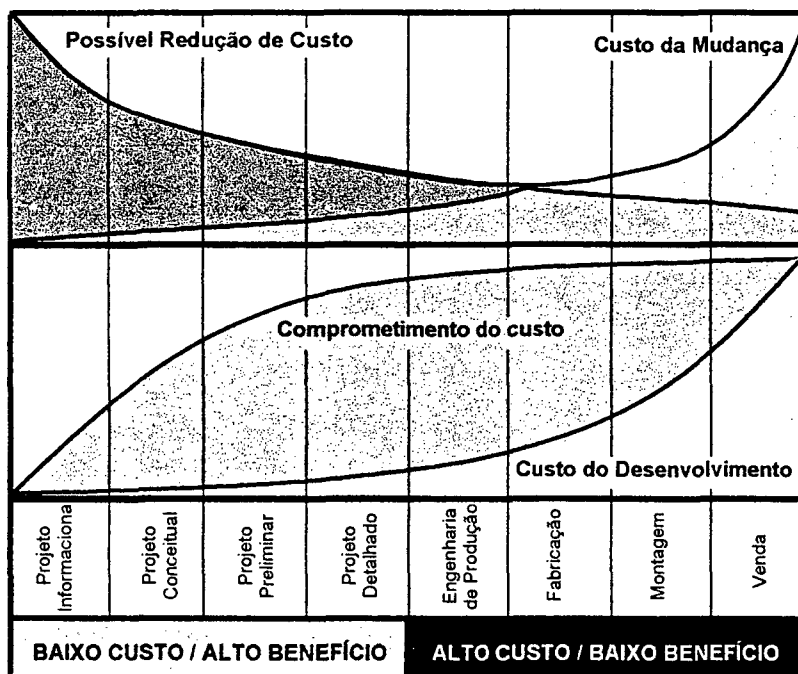


Figura 2.6. Custo nas diferentes fases do projeto do produto. (Adaptado de Baxter, 1998)

A avaliação do custo do componente injetado na fase de projeto conceitual é bastante pertinente, uma vez que o potencial de redução do custo do produto é elevado, o custo da alteração

do produto é pequeno e, principalmente, porque o ferramental não se encontra desenvolvido. Por outro lado, na maioria dos casos, os especialistas não possuem um conhecimento adequado sobre como os diversos aspectos relacionados ao processo, ao molde e aos materiais de injeção podem influenciar o custo do componente injetado.

Em suma, conforme exposto ao final deste item, a proposição de uma sistemática para auxiliar no processo de tomada de decisão, visando auxiliar a seleção da concepção do componente injetado, considerando a multidisciplinaridade e a interdisciplinaridade das informações, aspectos técnicos e econômicos, simultaneamente, é necessária e fundamental.

## 2.6. Metodologias de Projeto e sua Implementação Computacional

O desenvolvimento tecnológico está fazendo com que as empresas repensem as técnicas empregadas no desenvolvimento de produtos. Neste contexto, o papel da informática é fundamental. No caso de componentes injetados, o uso de sistemas computacionais pode vir a facilitar a operacionalização e apoiar o processo de projeto e estimativa de custos devido ao elevado número de informações a serem manipuladas e a rapidez com que as decisões devem ser tomadas.

Ferreira (1999) pesquisou o emprego de sistemas computacionais de apoio ao processo de projeto e estimativa de custos de componentes injetados, procurando avaliar a sua funcionalidade, identificar suas potencialidades e lacunas existentes para o desenvolvimento de novos trabalhos, considerando o contexto desta Tese. É importante salientar que a maioria destes programas são protótipos ou resultados parciais de pesquisas e, não programas disponíveis no mercado. Os resultados deste estudo estão apresentados na tabela 2.3.

Tabela 2.3. Síntese dos sistemas empregados para auxiliar o projeto e a estimativa de custos de componentes injetados. (Ferreira, 1999)

AUTOR	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DO SISTEMA COMPUTACIONAL	APOIO AO PROCESSO	ASPECTOS NEGATIVOS	ASPECTOS POSITIVOS
Menges et all (1998)	Apoia o processo de projeto a partir da análise dos requisitos técnicos e das restrições de material do componente.	Projeto	Não é estimado o custo do componente.	Avalia o produto desde o início do seu projeto.
Ravi e Srinivasan (1989)	Busca desenvolver o componente a partir da utilização de banco de dados, os quais contêm informações geométricas, topológicas e tecnológicas sobre o componente	Projeto	Não é estimado o custo do componente.	Estabelece uma série de critérios técnicos para avaliar o produto.
Wallace e Jakiela (1991)	Visa desenvolver os componentes arranjando e alocando tridimensional elementos, os quais estão disponíveis em catálogos.	Projeto	Preocupação com a estética sem considerar aspectos técnicos.	Tratar o projeto do componente de forma concatenada.
Vajna et all (1989)	O FEMEX foi elaborado considerando as fases de projeto, segundo a VDI 2221. O sistema parte do princípio que é possível fazer uma associação entre as features do componente e os requisitos de projeto e, na sequência, associá-las as funções, aos princípios funcionais, as alternativas de concepção, a solução conceitual, a concepção preliminar e, finalmente, ao produto detalhado.	Projeto	A estimativa de custo é realizada segundo um processo que não é adequado ao domínio de componentes injetados	O desenvolvimento do produto é realizado segundo o processo metodológico, desde a fase de projeto conceitual.
Li e Seinkels (1997)	Sistema composto de quatro módulos, sendo: Mod. 1) modela o componente em CAD; Mod 2) realiza o projeto em CAD do molde; Mod. 3) executa o planejamento da manufatura do molde e; Mod 4) realiza a inspeção e a análise do componente.	Projeto	Não apresenta informações sobre o processo de estimativa de custo de componentes.	Avalia o componente no projeto conceitual e considera o projeto do molde.

Tabela 2.3. Síntese dos sistemas empregados para auxiliar o projeto e a estimativa de custos de componentes injetados. (Ferreira, 1999) (continuação)

AUTOR	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DO SISTEMA COMPUTACIONAL	APOIO AO PROCESSO	ASPECTOS NEGATIVOS	ASPECTOS POSITIVOS
Trabasso e Pedrotti (1997)	O sistema, durante o projeto, avalia as features do produto em relação aos dados do processo de manufatura, equipamentos, capacidade de processo, tolerâncias e compatibilidade de material. Caso haja compatibilidade de informações, tem-se um produto desenvolvido; caso contrário, o sistema apresenta o problema e sugere algumas alternativas de solução.	Projeto	Não é possível estimar o custo do componente. A capacidade de análise depende da quantidade de informações disponíveis.	No projeto do componente são avaliados aspectos do processo de manufatura, tolerâncias e outras.
Reischel et al (1997)	Sistema de suporte ao projeto, elaborado para obter um produto adequado a um custo-meta. Parte do princípio que o produto é composto de features armazenadas no banco de dados e, por outras que não o são. O sistema realiza a estimativa do custo das features do primeiro grupo e, na sequência, das demais.	Projeto e Estimativa de Custo	Permite somente a avaliação das etapas de projeto preliminar e detalhado;	Avaliar o componente em relação a um determinado custo-meta;
Stoßer (1997)	O sistema de apoio as fases de projeto conceitual, preliminar e detalhado, fornece informações aos usuários, para que seja possível desenvolver um produto adequado a um determinado custo-meta. No primeiro módulo é realizado o desdobramento do custo do produto. No segundo é realizada a estimativa do custo das partes que compõem o produto. No terceiro módulo, o sistema apresenta os resultados da análise e da estimativa de custo do produto. No quarto módulo é realizado o projeto preliminar e detalhado em CAD.	Projeto e Estimativa de Custo	Capacidade de modelar e incorporar a sua base de dados o conhecimento humano. O programa foi desenvolvido considerando o projeto de produtos.	Realizar a avaliação de custo nas fases de projeto conceitual, preliminar e detalhado do componente.
Chen e Wei (1997)	Descrevem e representam o produto através de modelos analíticos, expressos em termos de equações de restrições de projeto. À medida que o produto é desenvolvido, novas restrições são introduzidas e modeladas analiticamente. Na sequência, é obtida a solução dos problemas, o que significa ter obtido uma solução preliminar do produto. Desta forma, ao final do processo de projeto, tem-se um produto desenvolvido dentro das restrições e das especificações de projeto.	Projeto e Estimativa de Custo	Elevados custos para solucionar os modelos analíticos. A solução destes modelos dependem das condições iniciais de projeto e da habilidade modelar o produto.	O produto desenvolvido apresenta-se dentro das restrições de projeto do produto.
Ching e Wong (1997)	O sistema compõem-se de dois módulos, O primeiro, ESMATL, é um sistema de apoio à seleção do material plástico. O segundo, ESMOLD, é um sistema ao projeto do molde. O processo de seleção do material é realizado tendo como base a análise dos requisitos de projeto. Selecionado o material, as informações sobre os requisitos de projeto formam um conjunto de informações de entrada do ESMOLD, onde são geradas as features do molde, empregadas na elaboração do seu projeto detalhado, na estimativa do custo e no planejamento do processo de manufatura.	Projeto	Não realiza a estimativa de custo. É um sistema complexo, ficando a dúvida com relação a sua facilidade de aplicação.	Permitir a avaliação das concepções; Possibilitar a determinação dos elementos do molde; Realizar o planejamento do processo de manufatura do molde; Estimar o custo do molde de injeção.
Manocheri (1994)	O sistema incorpora conhecimentos sobre moldabilidade e resistência do componente e dados sobre processo, material e projeto do molde. O conhecimento dos especialistas são modelados através de regras heurísticas e procedurais.	Projeto	Não realiza a estimativa de custo. O sistema não avalia o componente deste o início do seu projeto.	O conhecimento humano esta incorporado a sua base de conhecimento; Avaliação técnica.
Bock e Bock (19--)	Estima o custo através da busca de similaridade. Primeiramente, estima-se o custo das partes similares. Na sequência, são calculados os custos das variantes do componente. O custo do componente é dado pela soma destes valores. Na etapa seguinte, de estruturação funcional, caso os resultados da etapa anterior não tenha sido bons, tentar-se-á executar os mesmos procedimentos para as funções, os princípios de solução e as operações de montagem do produto. Assim, pode ser obtido um custo estimado do componente, dado custo por função ou partes.	Projeto e Estimativa de Custo	Para estimar o custo do componente, as suas dimensões devem estar especificadas. A precisão dos resultados depende da existência de similaridade entre as partes e os sistemas do produto / componente.	Avalia o componente desde a fase de projeto conceitual.

Tabela 2.3. Síntese dos sistemas empregados para auxiliar o projeto e a estimativa de custos de componentes injetados.(Ferreira, 1999) (continuação)

AUTOR	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DO SISTEMA COMPUTACIONAL	APOIO AO PROCESSO	ASPECTOS NEGATIVOS	ASPECTOS POSITIVOS
Zender (1993)	Estima o custo do produto a partir da estimativa do custo de material e dos processos de manufatura. Para estimar o custo de material, estes são especificados em termos de classes gerais e estas são especificadas de acordo com a sua influência sobre os custos dos processos de manufatura. Estas informações são empregadas para planejar e estimar o custo do processo de manufatura.	Projeto e Estimativa de Custo	Não apresentar os resultados da aplicação do sistema e não avaliar o componente na fase de projeto conceitual.	Possibilitar realizar a estimativa do custo de material e do processo.
Nedeß e Jacob (1997)	Sistema composto de dois módulos. O primeiro, sistema de suporte à decisão, fornece apoio a seleção de princípios funcionais do componente, classificando-os de acordo com as especificações de projeto, a experiência da equipe e tendo como base as características do atual desenvolvimento. Na sequência, o programa sugere os princípios que devam compor a estrutura funcional. No segundo, sistema de diagnóstico, são analisado, avaliados e diagnosticados os problemas de processo de manufatura, empregando-se os conhecimentos heurísticos da equipe de projeto e de manufatura, as informações da base de dados do sistema, além de estratégias de análise. Estas estratégias buscam, diagnosticar e apresentar uma solução para o problema.	Projeto	Não realiza a estimativa do custo do componente.	Avaliar o projeto desde a fase conceitual em um ambiente integrado, buscando informações relevantes ao projeto do produto a partir da modelagem do conhecimento humano e em sistemas CAE/CAD/CAM.
Hanada e Leifer (199-)	O sistema consiste de um ambiente CAD e uma base de conhecimento. O sistema CAD está conectado a um banco de dados de geometria e a base de conhecimento, a qual possui dados de projeto, material de injeção, features de manufatura e processo de injeção.	Projeto	Não realiza a estimativa do custo do componente.	Apoiar o projeto desde a fase conceitual em um ambiente de engenharia simultânea.
Fabricsius (1997)	O sistema para estimar os custos indiretos e de produção, em três passos: o primeiro, estabelece uma relação entre os custos indiretos e os custos de produção de uma empresa e as características do produto. Na sequência, estas relações obtidas são quantificadas sobre a forma de números. E, por último, é estabelecida a relação entre o projeto atual e os existentes na empresa, com o objetivo de identificar o custo do produto a ser projetado.	Estimativa de Custo	A precisão do sistema depende do nível de similaridade do produto; Tratar o problema sob o enfoque de produto e não de componente.	Permite avaliar o custo indireto e de produção do produto.
Software Injection Molding 2.0 ®	Estima o custo de material, do processo de injeção e do molde de componentes injetados. A estimativa envolve as etapas de seleção do material do componente, definição do seu envelope e espessura da parede, especificação das dimensões do componente, adição de informações sobre acabamento superficial, valores de tolerância e material do molde. Permite especificar o número de cavidades do molde visando a minimização do custo do componente e adicionar novas operações de manufatura.	Estimativa de Custo	Necessitar que as dimensões do componentes estejam determinadas para estimar o custo.	Facilidade de operação, recursos disponíveis, mostra o custo de forma desdobrada.

No âmbito do NeDIP, vem-se trabalhando com o intuito de desenvolver sistemas computacionais capazes de fornecer suporte ao projeto de produtos. Nesta linha, destacam-se os softwares: o SACPRO, o qual constitui um sistema de apoio a concepção de produtos, desenvolvido como resultado do trabalho de Ogliari (1999); o WinQFD 1.0 para apoiar a definição das especificações de projeto de produtos em geral (Fonseca, 2000); e o SISMOD, sistema de apoio ao projeto de produtos modulares, elaborado como resultado do trabalho de Maribondo (2000).

Analisando o resultado deste estudo, nota-se que apesar da existência de diversos sistemas computacionais, a maioria deles não permite apoiar o processo de projeto e estimativa de custos de forma adequada e segundo uma abordagem integrada. Os poucos sistemas que apresentam estas

características, possuem a desvantagem de possuir uma pequena capacidade de representar o conhecimento de especialistas e não consideram as peculiaridades associadas ao desenvolvimento de componentes injetados. Neste sentido, o desenvolvimento de ferramentas computacionais de apoio ao projeto e estimativa de custos que considerem as peculiaridade descritas ao longo deste capítulo é bastante pertinente.

## **2.7. Considerações Finais**

A diferenciação do objeto de projeto, componente injetado e sistema técnico constituiu um importante aspecto na análise crítica desenvolvida sobre as metodologias de projeto de produtos. Como resultado, o desenvolvimento de componentes injetados pode ser visto como sendo parte do projeto de sistemas técnicos ou, ainda como projeto de um produto único.

Como o desenvolvimento de componentes injetados inicia-se com um processo de manufatura especificado, esta diferenciação mostrou-se importante e pertinente pois impacta sobre as informações a serem consideradas no projeto de componentes injetados.

Em decorrência de necessidades do mercado e devido a elevados investimentos para aquisição do ferramental, informações de ordem econômica também devem ser consideradas no projeto de componentes injetado.

Por outro lado, observa-se que as metodologias estudadas não contemplarem estes aspectos, deixando uma lacuna para a proposição de uma metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados.

## **CAPÍTULO 3. PROCESSO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS DE COMPONENTES INJETADOS**

### **3.1. Introdução**

A estimativa de custo de produtos ao longo do processo de projeto, é uma atividade de vital importância para as empresas lançarem produtos competitivos no mercado, identificar potenciais de redução de custos e implementarem diferenciais nos produtos considerando um valor de custo adequado.

O objetivo deste capítulo é apresentar os vários aspectos que norteiam o processo de estimativa de custo de componentes injetados, procurando estabelecer uma relação com o processo de projeto, descrever as possíveis abordagens de custos durante o processo de projeto, apresentar os métodos existentes para estimar o custo de produto e sua aplicabilidade no domínio de componentes injetados.

Inicialmente, serão descritos os aspectos gerais do processo de estimativa de custos, os conceitos fundamentais e sua classificação. Na sequência, será mostrada a relação entre o processo de estimativa de custos e o processo de projeto de produtos. Finalmente, serão descritos os métodos disponíveis para estimar os custos de produtos, procurando avaliar a sua aplicabilidade no desenvolvimento de componentes injetados. Nesta apresentação, procurar-se-á, a partir das informações genéricas encontradas na literatura e por meio do estudo da prática de projeto e estimativa de custo, focar o objeto de estudo desta Tese, os componentes injetados.

As abordagens de projeto para o custo e projeto para o mínimo custo já tratadas no capítulo anterior, não serão aqui contempladas.

### **3.2. Generalidades do Processo de Estimativa de Custos**

A estimativa de custos de produtos permite às empresas tomarem decisões estratégicas e, assim, estabelecer caminhos a serem seguidos ao longo do processo de desenvolvimento de produtos. Devido à sua importância, este processo deve ser conduzido de modo sistematizado, criterioso, fundamentado e integrado ao projeto de produtos.

Em decorrência das exigências de mercado, do surgimento de novas tecnologias e da competitividade industrial, o estudo sobre o assunto tomou-se ainda mais relevante para as empresas. Inicialmente, pesquisadores da área administrativa das empresas estudaram sobre o assunto, principalmente, procurando destacar aspectos gerenciais da contabilidade de custos. Atualmente, pesquisadores, em diferentes linhas de trabalho, têm estudado os diversos aspectos que norteiam o processo de estimativa de custos, ao longo do desenvolvimento de produtos.

Ferreira (1997) *apud* Stewart (1991) coloca que existem cinco elementos básicos, necessários, para se propor uma metodologia de estimativa de custo de produtos. São eles:

**i) Equipe de estimadores de custos:** deve ser composta por especialistas dos diversos campos de conhecimento envolvidos nesta atividade. Esta equipe deve ser liderada por um coordenador, responsável pelo planejamento e organização deste processo, que possua experiência no processo de estimativa de custos e também conhecimento geral sobre o produto a ser projetado. Este coordenador não necessita possuir conhecimento específico sobre os processos produtivos, pois a estimativa de custos deve ser conduzida com apoio de especialistas das demais áreas.

No desenvolvimento de componentes injetados, geralmente, estão envolvidas mais de uma empresa, as quais, na maioria dos casos, não trabalham de forma integrada. Neste cenário, a ocorrência de problemas relacionados ao projeto e à estimativa de custo tornam-se mais frequente. Para minimizar esta vulnerabilidade faz-se necessário propor uma sistemática e desenvolver ferramentas que auxiliem a integração dos membros da área de projeto e de custos das empresas.

**ii) Processo adequado de estimativa de custos** – O custo de componentes injetados deve ser estimado, procurando contabilizar os custos ocorridos no processo de manufatura, no desenvolvimento do molde de injeção e no consumo de material de injeção, além dos custos de overhead. O resultado desta estimativa deve ser preciso e confiável, entretanto, faz-se necessário a existência de ferramentas adequadas. Como será abordado, este estudo tratará somente dos custos diretos do produto, os quais são influenciados por decisões tomadas ao longo do processo de projeto do produto.

Considerando que a estimativa de custos deve ser realizada na fase de projeto conceitual, pois os potenciais de redução de custo do produto são maiores e o custo das alterações é reduzido, as ferramentas disponíveis devem permitir determinar o custo do componente injetado considerando o elevado nível de abstração e a quantidade de informações disponíveis.

**iii) Conhecimentos e informações sobre projeto, processo e produto** - Podem ser adquiridos com base em informações provenientes de manuais, catálogos, recomendações e regras de projeto de componentes injetados (conhecimento explícito de especialistas) e, também da experiência de especialistas (conhecimento tácito).

**iv) Capacidade computacional** - O custo do componente pode ser estimado manualmente, entretanto, a sua automatização é fundamental. A utilização de softwares possibilita a manipulação de um maior número de informações e a obtenção de resultados mais rapidamente. Com relação à informatização do processo de estimativa de custos de componentes injetados serão consideradas as diretrizes apresentadas por Ogliari (1999), que foram descritas no segundo capítulo desta Tese.

**v) Capacidade de obter e registrar informações fidedignas** - Os processos administrativos e produtivos de uma empresa que geram custos diretos e indiretos ao produto devem ser contabilizados. Para auxiliar a obtenção e o registro destas informações podem ser empregados os sistemas de gerenciamento de custos. Como consequência, as atividades requeridas para prover o produto, assim como, os respectivos custos destas atividades podem ser registrados a fim de criar dados históricos, facilitando a estimativa do custo de produtos em desenvolvimento.

### 3.3. Conceitos Fundamentais e Classificação dos Custos

Os conceitos fundamentais são definições apresentadas com o intuito de facilitar o entendimento das informações relativas ao assunto **custo**, uma vez que, na maioria dos casos este tema não é de comum conhecimento aos engenheiros.

A literatura não apresenta um conceito universal para a palavra custo. Entretanto, considerando as colocações de diversos autores - Thuesen e Fabrycky (1989), Martins (1996) e Helmkamp (1987) - o termo custo pode ser entendido como sendo o valor dos bens e serviços consumidos ou encargos incorridos na empresa para produzir outros produtos, bens e serviços.

Estudando as colocações desses autores, observa-se que os custos do produto podem ser classificados em quatro grupos. São eles:

i) **Grau de Média**: de acordo com a quantidade de produtos relacionados a um determinado custo, são definidos os seguintes custos:

- **Custo Total**: é o valor dos esforços (bens e/ou serviços) consumidos para fabricar um conjunto de unidades do produto.
- **Custo Unitário**: é o valor dos esforços (bens e/ou serviços) consumidos para fabricar uma unidade do produto. Este custo é obtido dividindo o custo total pelo número de unidades produzidas em um determinado período.

ii) **Critério de Proporcionalidade com a Quantidade Produzida**: são classificados de acordo com o seu comportamento, em face aos diferentes volumes de produção (Pahl e Beitz, 1996). Os custos são classificados em função da sua variação em relação à quantidade de produtos manufaturados.

- **Custo Variável**: é aquele que é constante por unidade produzida, mas que varia no seu total, em forma proporcional às variações do volume de atividades. Exemplos: custo de material, custo de fabricação e outros.

- **Custo Fixo**: permanece constante e indiferente, no curto prazo, aos diferentes volumes de unidades produzidas. Em valores unitários por produto, o custo fixo varia de maneira inversa ao volume de produção. Ex: salário de gerentes, custo de molde de injeção.

A tabela 3.1 apresenta um exemplo do comportamento do custo variável e fixo, face aos diferentes volumes de produção, considerando um componente injetado qualquer.

Tabela 3.1. Exemplo do custo variável e fixo face a diferentes volumes de produção do componente.

CUSTO VARIÁVEL			CUSTO FIXO		
Custo de material do componente			Custo do molde de injeção		
Unidades produzidas	Custo Unitário de Material	Custo Total de Material	Unidades produzidas	Custo do Molde de Injeção	Custo do Molde por Unidade
1	20	20	1	100.000	100.000
10	20	200	10	100.000	10.000
100	20	2.000	100	100.000	1.000
1.000	20	20.000	1.000	100.000	100



Com base nos dados apresentados na tabela 3.1, observa-se que o custo de material do componente, classificado como custo variável, é constante para cada unidade produzida mas, aumenta, proporcionalmente, com o incremento do volume de produção. Por sua vez, o custo do molde de injeção, classificado como custo fixo, permanece constante face aos diferentes volumes de produção mas, apresenta variação inversamente proporcional ao aumento do volume produzido.

**iii) Facilidade de Atribuição:** são classificados considerando se um determinado custo pertence ou não ao produto.

- **Custo Direto:** é aquele que é facilmente atribuível a um determinado produto. Por exemplo: custo de material, usinagem do componente, entre outros.
- **Custo Indireto:** é aquele que não é atribuído diretamente a um determinado produto. Por exemplo: custo de armazenagem ou iluminação, entre outros.

**iv) Momento do Cálculo:** são classificados de acordo com o momento de sua contabilidade ou cálculo.

- **Custo Histórico:** É aquele calculado após ter ocorrido, ou seja, quando um determinado recurso foi consumido. Tem por objetivo avaliar inventários, os produtos fabricados, os produtos vendidos e apurar o resultado obtido pela empresa num determinado período.
- **Custo Pré-determinado:** É estabelecido antes da sua ocorrência e objetiva auxiliar a administração no planejamento e controle das atividades empresariais. São custos estimados.

Os conceitos apresentados anteriormente são importantes e facilitam o entendimento prático do processo de estimativa de custos. Em se tratando do desenvolvimento de componentes injetados é importante conhecer os seguintes conceitos, estabelecidos com base na abordagem de Blanchard e Fabrycky (1996), os quais serão considerados na proposição da metodologia de projeto e estimativa de custos. Nesta definição, os custos serão classificados segundo o grau de média e a facilidade de atribuição:

- **Custo direto unitário de manufatura do componente injetado** - corresponde ao custo de manufatura de uma unidade deste produto. Envolve os custos diretos, unitários, de material, do processo de injeção, do molde de injeção e nos processo de manufatura adicionais. Não envolve os custos de overhead.

- **Custo direto unitário de aquisição do componente injetado** - é o custo direto unitário do componente injetado, calculado considerando os custos de desenvolvimento do componente e o custo direto unitário de manufatura do componente. Não envolve os custos de overhead.

- **Custo direto unitário de utilização do componente injetado** - é o custo direto unitário do componente injetado, calculado considerando os custos diretos de operação, manutenção, retirada e descarte do componente. Na maioria dos casos, o custo de manutenção deste produto envolve os encargos com a sua substituição, uma vez que dificilmente permite reparo. Em algumas situações, quando o material permitir reciclagem, o custo de descarte pode apresentar um valor agregado. Não envolve os custos de overhead.

Também, no caso do projeto do componente injetado estar associado ao desenvolvimento do sistema técnico, este custo pode ser entendido ou quantificado pelo modo (valor) no qual impacta sobre o custo de operação, manutenção, retirada e descarte do sistema técnico.

- **Custo direto unitário do ciclo de vida do componente injetado** - é o custo direto unitário do componente injetado durante todas as etapas do seu ciclo de vida, ou seja, é a soma do custo direto unitário de aquisição e de utilização do componente injetado. Não envolve os custos de overhead.

- **Custo de overhead** - envolve todos os custos ocorridos no ciclo de vida do componente, exceto os custos diretos de aquisição e utilização. Por exemplo: custos de lubrificantes, custos de mão de obra indireta, impostos, etc.

- **Custo-meta unitário direto do componente injetado** - é o valor meta ou alvo do custo direto unitário do componente injetado, determinado no início do processo de projeto. Não envolve os custos de overhead.

- **Preço do componente injetado** - é o valor do custo direto unitário do componente, incluindo os custos de overhead mais o lucro; necessário para remunerar o capital da empresa.

A composição do custo do componente injetado, segundo a classificação apresentada é proposta na figura 3.1. Esta representação foi proposta com base no trabalho de Ullman (1992).

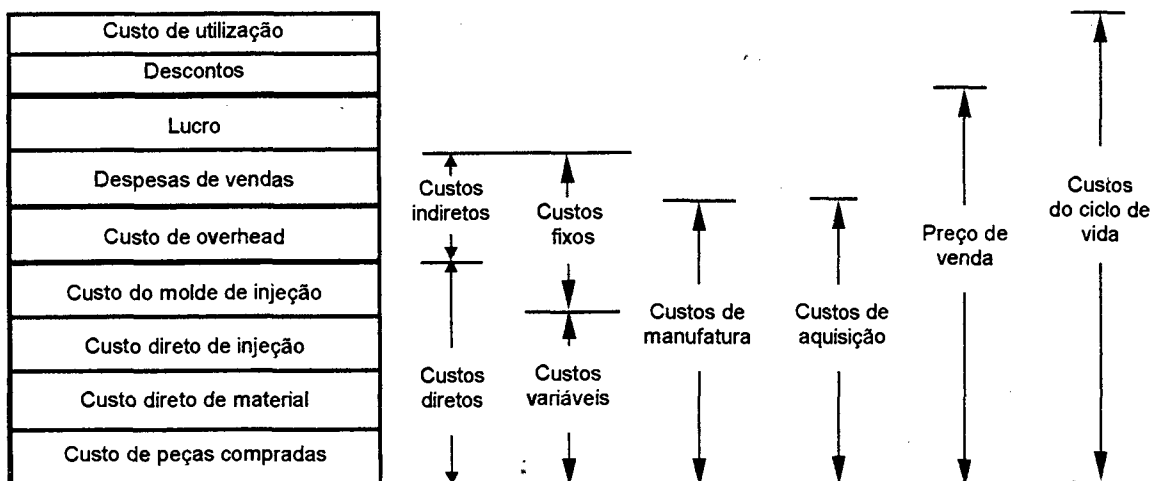


Figura 3.1. Composição do custo de componentes injetados. (Adaptada de Ullman, 1992)

### 3.4. O Processo de Estimativa de Custos no Projeto de Componentes Injetados

A dissociação do processo de estimativa de custo do processo de projeto do produto não é apropriada, ou seja, ambas atividades devem ser executadas de forma integrada e simultânea. No âmbito empresarial, os custos de produtos são afetados por decisões administrativas e por aquelas tomadas ao longo do processo de projeto de produtos.

A figura 3.2 apresenta quais custos são afetados por decisões tomadas na esfera administrativa da empresa e no âmbito de projeto do produto (Ferreira, 1997).

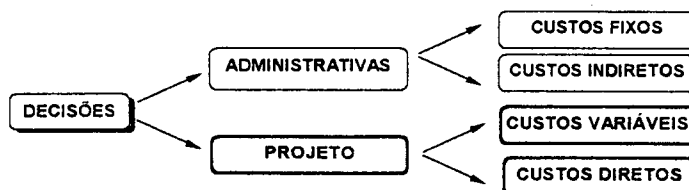


Figura 3.2. Influência das decisões tomadas sobre o custo de produto. (Ferreira,1997)

As decisões administrativas estão relacionadas, principalmente, ao modo de condução dos processos administrativos da empresa e influenciam os custos indiretos ou fixos do produto. Como, por exemplo, os custos de movimentação, armazenagem, despesas de administração, depreciação de equipamentos, energia, salários, aluguel e outros. (Stewart, 1991)

As decisões tomadas ao longo do processo de desenvolvimento de produto influenciam o custo direto do produto, além do seu desempenho técnico. Caso as decisões sejam tomadas com base em critérios puramente subjetivos e de forma inadequada, o produto pode apresentar um custo elevado e um desempenho técnico insatisfatório.

Portanto, a estimativa do custo do produto deve ser realizada simultaneamente ao processo de projeto e, se possível, no início deste processo, uma vez que as empresas têm disponível os recursos para: i) planejar produtos com a qualidade necessária para satisfazer ao consumidor; ii) determinar o custo meta para o novo produto, de modo que este gere o lucro alvo necessário a médio ou longo prazo, dadas as condições do mercado concorrente; iii) promover maneiras de fazer com que o projeto do produto atinja o custo meta, ao mesmo tempo em que satisfaça as necessidades do consumidor, com qualidade e dentro do prazo; iv) identificar previamente as concepções com custos elevados e aquelas economicamente inviáveis; e, v) reduzir o custo do produto.

Liebers e Kals (1997) apresentam um modelo que busca estabelecer uma relação entre o processo de estimativa de custo e desenvolvimento de produtos, considerando um ambiente produtivo. Este modelo, ilustrado na figura 3.3, compõe-se de quatro módulos, sendo eles:

**i) Módulo de estimativa de custo:** calcula os custos de produtos em produção pela empresa, empregando-se informações provenientes dos métodos de estimativa de custos e dos direcionadores de custos (*cost drivers*). Estes direcionadores podem ser entendidos como sendo aquelas características do produto que possuem notável influência sobre o seu custo e são empregados para alocar os custos decorrentes do processo de manufatura ao produto. Por exemplo, o volume e o tipo de material do componente injetado são direcionadores de custo, uma vez que auxiliam na estimativa do custo de material do produto;

**ii) Módulo de monitoramento do custo:** realiza a aquisição de dados sobre os tempos e os custos incorridos no processo de manufatura do produto. Para auxiliar a realização deste monitoramento podem ser empregados os recursos provenientes dos sistemas de gerenciamento de custos, tais como, ABC (Activity Based Costing), centros de custo, entre outros;

**iii) Módulo de diagnóstico e cálculo do custo,** analisa os dados obtidos no módulo de monitoramento e calcula o custo do produto com base em dados atuais, posteriormente;

iv) **Módulo de modelagem do custo.** Os dados obtidos e interpretados no módulo de diagnóstico e cálculo são empregados para gerar modelos de custo do produto, os quais procuram estabelecer uma relação entre os custos decorrentes do processo produtivo e os direcionadores de custo. Para viabilizar esta modelagem faz-se necessário realizar um *feedback*, o qual está ilustrado na figura 3.3, pela interação 1. Neste feedback, são comparados os valores de custo estimado (módulo de estimativa de custo) e aqueles calculados no módulo de diagnóstico e cálculo de custo. O resultado desta comparação pode ser analisada quanto à precisão dos resultados obtidos e, conseqüentemente, pode-se realizar correções para que a estimativa futura seja mais precisa.

Stewart (1996) coloca que o processo de estimativa de custo envolve as fases de preparação de informações e estimativa de custos. No modelo apresentado por Liebers e Karis (1997), a preparação de informações ocorre nos módulos de monitoramento e modelagem de custo e, a estimativa realiza-se nos módulos de diagnóstico, cálculo e estimativa de custos.

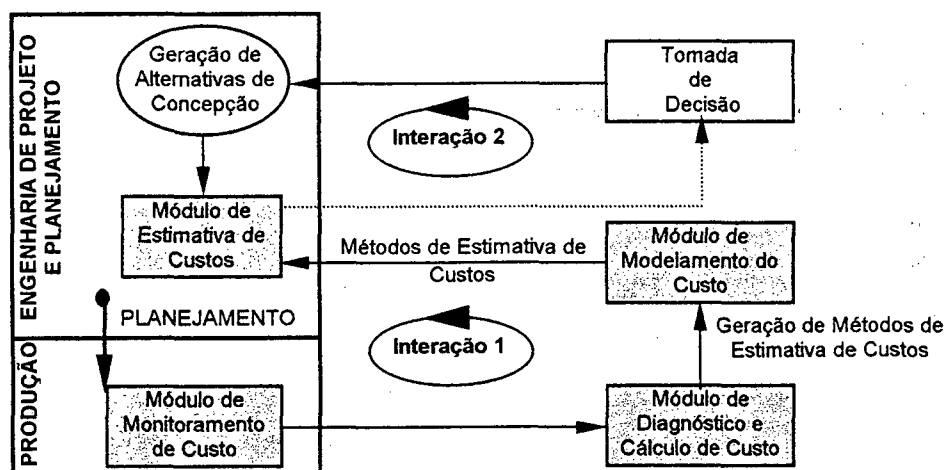


Figura 3.3. Relação entre o processo de projeto e estimativa de custo. (Liebers e Kals (1997))

No modelo proposto por Liebers e Kals (1997) a relação entre o processo de projeto do produto e o processo de estimativa de custos pode ser observada na "interação 2". Assim, considerando-se que, na geração de alternativas de concepção do produto, devem ser tomadas decisões que considerem aspectos econômicos, as informações provenientes do módulo de estimativa de custos podem ser empregadas.

Segundo Ferreira (1999), no início do processo de projeto deve ocorrer a preparação de informações sobre o produto, uma vez que são levantadas as informações relativas às necessidades dos clientes, obtidos dados de concorrentes, enfim, definidas as especificações de projeto. Portanto, em se tratando de componentes injetados, devem ser providos recursos para se considerar informações de carácter econômico, associadas ao processo de manufatura (por exemplo, custos de operação de equipamento, montagem, distribuição, entre outros), informações provenientes do mercado (por exemplo, preço de venda do componente), dados de projeto (por exemplo, características e custos de produtos similares, custo-meta e estrutura de custo do componente) e dados estratégicos da empresa (por exemplo, recursos disponíveis para aquisição do molde).

Ferreira (1999) coloca que na fase de projeto conceitual, o custo das alternativas de concepção deve ser estimado. Em se tratando de componentes injetados, devem ser estimados os custos associados ao consumo de material e ao processo de injeção, assim como, o custo do molde de injeção, considerando o nível elevado de abstração das informações disponíveis. Para auxiliar esta atividade podem ser empregados vários métodos de estimativa de custos.

Como colocado, o processo de estimativa de custos envolve as fases de preparação de informações e de estimativa de custos do produto. A seguir, considerando o desenvolvimento de componentes injetados, estas fases serão tratadas e estudadas de forma mais detalhada e criteriosa.

### 3.4.1. Fase 1: A preparação de Informações sobre Custos de Produtos

Na preparação de informações sobre custos busca-se identificar e levantar informações relacionadas ao processo de manufatura, ao mercado, ao projeto do produto e a dados estratégicos, conforme ilustrado na figura 3.4. Esta preparação visa formar uma base de dados consistente, de modo a possibilitar a estimativa de custo do produto, posteriormente.

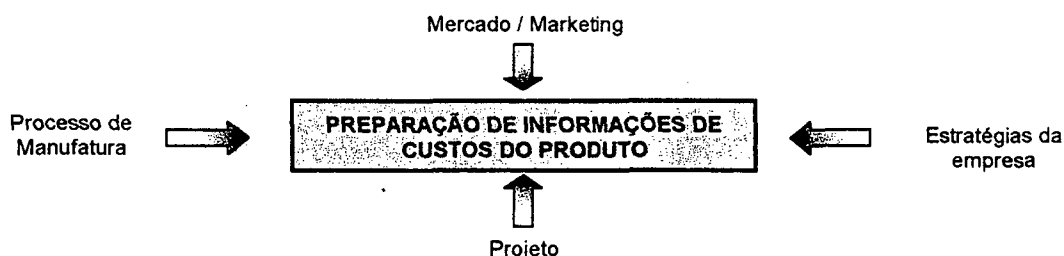


Figura 3.4. Origem das informações necessárias para preparar informações de custos de produtos.

As informações provenientes do processo de manufatura de componentes injetados, referentes ao conhecimento dos tempos e dos custos associados ao ciclo de injeção de produtos similares, podem auxiliar na estimativa de custos de componentes em desenvolvimento (Pahl e Beitz, 1996). Estas informações podem ser obtidas através dos sistemas de gerenciamento de custos e de programas de simulação do processo de injeção.

Kaplan e Cooper (1998) colocam que o ambiente empresarial atual demanda informações mais relevantes relacionadas a custos e desempenho de atividades, processos, produtos, serviços e clientes. Para isto, estas empresas utilizam sistemas de gerenciamento de custos, visando: i) projetar produtos e serviços que correspondam às expectativas dos clientes e possam ser produzidos e oferecidos com lucro; ii) sinalizar onde é necessário realizar melhoramentos contínuos ou descontínuos em qualidade, eficiência e rapidez; iii) auxiliar os funcionários ligados à produção nas atividades de aprendizagem e aprimoramento contínuo; iv) orientar o mix de produtos e decidir sobre investimentos; v) escolher fornecedores; vi) negociar preços, características dos produtos, qualidade, entrega e serviços com clientes; e, vii) estruturar processos eficientes e eficazes de distribuição e serviços para os mercados e públicos alvo. Além disto, como colocado por Liebers e Kals (1997), no módulo de monitoramento de custo, as informações provenientes dos sistemas de gerenciamento de

custos podem ser usadas para calibrar, aplicar e validar os resultados obtidos, empregando-se os métodos de estimativa de custos.

As informações provenientes do mercado, analisadas pelo departamento de marketing e considerando os aspectos estratégicos da empresa, podem ser usadas para determinar o preço de venda, o lucro desejado e o custo meta do componente injetado e, também para definir os recursos disponíveis para aquisição do molde de injeção.

A determinação do custo meta do componente deve considerar as informações referentes ao preço de mercado e ao lucro da empresa, além das características desejadas pelo próprio produto. Ferreira (1999) considerando o estudo de Mondem (1999) descreveu alguns procedimentos para determinar o custo meta do produto, levando em conta a abordagem descrita. Este procedimento envolve as seguintes etapas:

- **Etapa 1: Planejamento do ciclo de vida para um novo produto específico** - consiste na definição dos planos de desenvolvimento do produto, de produção em escala total e de mudança de modelo nos anos posteriores. Envolve a estimativa de custos relacionados ao pessoal de projeto, desenvolvimento de protótipo, setup de produção, equipamentos e matéria prima. Com a conclusão desta atividade, desenvolve-se um plano de lucro provisório baseado no ciclo de vida do produto.

- **Etapa 2: Planejamento de lucro de médio e longo prazos e plano geral de novos produtos** - envolve a determinação de planos de lucro de médio e/ou longo prazo, além de planos e financiamentos para toda a empresa. Neste momento, devem ser determinados os alvos de lucros considerando a vida do modelo para cada linha de produção, a perspectiva de lucro e financiamento. Também devem ser definidos os planos de vendas, de investimentos iniciais, de pessoal, de obtenção de fundos, entre outros.

- **Etapa 3: Pesquisa de mercado** - Realizada com o objetivo de compreender as necessidades do usuário, analisar a tendência entre concorrentes e identificar questões relacionadas com a qualidade baseada no feedback do mercado. Estas informações auxiliam a determinar as metas e os conteúdos específicos dos próximos modelos de produto.

- **Etapa 4: Conceituação do produto e proposta de desenvolvimento** - como resultado das análises anteriores, a gerência da empresa busca definir o conceito do produto. São determinadas informações sobre os propósitos do produto, o potencial de mercado, a imagem de estilo, as principais funções, entre outras informações.

- **Etapa 5: Determinação do preço de venda** - Inclui a determinação do preço de venda alvo, parte constituinte do processo de planejamento do desenvolvimento detalhado do produto. Para isto, a equipe de planejamento do produto, estuda os preços de vendas reais de produtos similares, de correntes, assim como as funções destes produtos.

O preço de um produto é resultado da interação entre a sua demanda e a respectiva oferta. As decisões sobre o preço, na maioria dos casos, são baseadas em expectativas sobre a demanda e a oferta do produto. Portanto, no processo de projeto devem ser providos recursos que auxiliem a determinar o preço do componente injetado considerando a análise da concorrência, aspectos

mercadológicos, estratégias definidas pelo departamento de marketing, assim como informações obtidas através dos sistemas de gerenciamento de custos. (Horngren et al, 1999)

Para se determinar o preço de venda unitário, podem ser empregados dois métodos, sendo a sua escolha dependente de características do produto em desenvolvimento e do mercado.

O método baseado no mercado é mais adequado para os produtos que não apresentam diferenças importantes com os concorrentes, em termos de função e qualidade. O preço de venda é determinado considerando que, o preço de mercado é o máximo que o cliente paga pelo produto. Neste método, a empresa examina o preço dos produtos competidores no mercado e estabelece preços similares para os seus produtos. O problema deste método é que a empresa destina menor atenção aos seus custos, no que se refere à formação de preço. (Monden, 1999) (Silva, 2000)

No método baseado no custo, adequado aos demais tipo de produtos, a determinação do preço é realizada considerando os custos de despesas com pessoal, instalações, depreciações, material, serviços e outros. Neste caso, o preço de venda do produto é calculado com base nos custos diretos do produto acrescentando-se uma margem de lucro direta. Neste método, acrescenta-se uma margem de lucro sobre o custo total ou sobre os custos variáveis para obter o preço de venda do produto. O inconveniente deste método é que o mercado pode não aceitar a cobrança desse preço calculado sem levar consideração aos preços dos produtos concorrentes (Monden, 1999) (Silva, 2000).

- **Etapa 6: Estabelecimento do custo-meta para o produto** - Corresponde ao custo que o novo produto deve atingir para alcançar o lucro-alvo. Considerando os métodos propostos para determinar o preço de venda-alvo, a definição do custo meta do produto pode ser realizada empregando-se estes métodos. No método baseado no mercado, o custo unitário direto do componente é determinado subtraindo-se o lucro unitário direto do preço de venda. E, no método baseado no custo, o custo meta unitário direto do componente é obtido somando o lucro unitário direto ao valor do custo direto, o qual é obtido com base nos produtos similares. Portanto, neste momento, com base nesta proposição, tem-se disponível o custo meta unitário do componente.

No desenvolvimento de componentes injetados, um importante aspecto a ser considerado envolve a disponibilidade de recursos da empresa para adquirir o molde de injeção que, em muitos casos, pode ser elevado devido à complexidade do produto. Neste sentido, no início do processo de projeto, a equipe de desenvolvimento do componente injetado deve conhecer os reais valores disponibilizados pela direção da empresa para aquisição do ferramental. Como consequência, podem ser projetadas aquelas características no produto adequadas aos recursos disponibilizados para adquirir o molde de injeção. Entretanto, para isto, torna-se necessário dispor de um mecanismo que avalie como as características de componentes injetados podem afetar o custo do molde. Entretanto, coloca-se que este mecanismo é complexo, principalmente, devido ao elevado número de variáveis que devem ser consideradas.

Em muitos casos, a preparação das informações necessárias para estimar o custo de componentes injetados pode tornar-se complexa, uma vez que torna-se difícil para a equipe de projeto visualizar os distintos fatores que compõem o custo do ciclo de vida do produto. Para auxiliar

esta visualização pode-se empregar a ferramenta de projeto denominada estrutura de desdobramento de custos. Esta ferramenta fornece uma visão global de como os departamentos de uma empresa, as atividades de uma indústria e, principalmente, as funções e as partes do produto influenciam o seu custo. (Ferreira, 1998)

Sheldon *et al.* (1991) propõem a classificação das estruturas de desdobramento de custos, segundo a natureza da informação, em: i) **processo**, desdobram o custo do produto segundo as atividades executadas nos processos produtivos e administrativos necessários para concebê-lo; ii) **física**, desdobram o custo do produto segundo os elementos constituintes do mesmo; iii) **funcional**, desdobram o custo do produto segundo as funções desempenhadas pelo sistema; e, iv) **organizacional**, desdobram o custo do produto de acordo com os departamentos da empresa.

Entre as estruturas de desdobramento de custos disponíveis na literatura destaca-se aquela apresentada por Blanchard e Fabrycky (1990). Esta estrutura, baseada nos processos produtivos da empresa, considera os custos do ciclo de vida do produto, desde a fase de projeto até o descarte. Com base no modelo de Blanchard e Fabrycky (1990), Ferreira (1997) propôs uma estrutura de desdobramento de custo aplicada ao domínio de produtos em geral. Entretanto, devido às características do desenvolvimento de componentes injetados, esta estrutura apresenta algumas inadequações, uma vez que não contemplam os seguintes aspectos:

- Os custos diretos associados ao processo de injeção, ao molde de injeção, ao material de injeção, os quais compõem o custo direto de aquisição do componente injetado;
- O custo direto de manutenção de componentes injetados, na maioria dos casos, é nulo. Isto ocorre, uma vez que, quando danificado o componente, faz-se necessário a sua reposição completa. Por outro lado, no caso do componente injetado estar montado em sistemas técnicos, este custo pode ser quantificado pela influência no valor do custo de manutenção do sistema técnico.
- O custo direto de operação de componentes injetados, no caso do mesmo estar montado em sistemas técnicos, pode ser quantificado pela influencia no valor do custo de manutenção do sistema técnico.
- O custo direto de retirada e descarte de componentes injetados, na maioria dos casos, é praticamente nulo. Entretanto, em algumas situações, quando o material do componente é reciclável, o custo de descarte pode apresentar um valor intrínseco. Estes custos devem ser detalhados na estrutura de desdobramento de custos considerando o domínio de estudo em questão;
- O molde de injeção, devido à sua capacidade produtiva e ao seu tempo de vida útil, requer uma manutenção periódica gerando custos indiretos ao componente injetado.

Em suma, observa-se que, considerando o projeto de componentes injetados, as ferramentas que se propõem a apoiar a preparação de informações de custos o fazem de maneira pouco adequada, pois não consideram as características inerentes ao desenvolvimento deste tipo de produto. Como consequência, devem ser propostos procedimentos e ferramentas que tratem a preparação de informações de custos de forma integrada e simultânea ao processo de projeto.

A seguir, será descrita a fase de estimativa de custos de produtos, considerando o desenvolvimento de componentes injetados.



### 3.4.2. Fase 2: Estimativa de Custos de Componentes Injetados

Nesta fase, segundo Stewart (1996), a equipe de projeto deve determinar os custos do ciclo de vida do produto. Em se tratando de componentes injetados, devem ser estimados os custos diretos unitários associados ao processo de manufatura (injeção, montagem, processos adicionais), ao consumo de matéria prima, além dos, respectivos, custos de overhead.

O custo de componentes injetados pode ser estimado empregando-se ferramentas denominadas de métodos de estimativa de custos. Estes métodos, vistos como um processo de transformação de informações, conforme ilustrado na figura 3.5, buscam a partir de um conjunto de informações de entrada, estimar o custo do produto. Estas informações de entrada são, basicamente, características sobre o componente, parâmetros relativos ao processo de manufatura e dados oriundos das empresas envolvidas no desenvolvimento do produto. Como resultado, podem ser obtidos os custos de material, do processo, do molde de injeção e do próprio componente injetado.

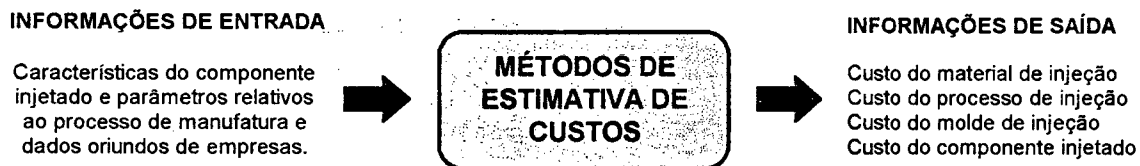


Figura 3.5. Transformações de informações nos métodos de estimativa de custos.

A estimativa do custo do componente injetado deve ser realizada, preferencialmente, na fase de projeto conceitual, quando a concepção do produto está sendo desenvolvida. Desta forma, com o conhecimento do valor do custo estimado do componente, devido ao baixo custo das alterações de projeto do produto, podem ser realizados estudos visando a redução do custo e o aumento do desempenho do componente injetado. Além disto, com o custo estimado das alternativas de concepção é possível selecionar a concepção mais adequada ao projeto do componente, levando em conta, simultaneamente, aspectos técnicos, o valor de custo meta e as abordagens de custo.

O emprego dos métodos de estimativa de custos, principalmente, nas fases iniciais de projeto é complexa, devido ao elevado grau de abstração das informações disponíveis e ao pouco conhecimento das características do produto a ser projetado. Portanto, a disponibilidade de um método de estimativa de custo adequado é fundamental, caso contrário o resultado obtido pode ser impreciso e, portanto, errôneo.

Na literatura são apresentados alguns métodos para estimar o custo de produtos, os quais foram propostos de forma genérica. Como consequência, a utilização de método mais adequados dependerá do tipo de informações de entrada disponível e do custo que se deseja estimar.

Neste sentido, Ferreira (1998) considerando o domínio de projeto de componentes injetados desenvolveu um estudo buscando avaliar a aplicabilidade dos métodos disponíveis na literatura e realizados na prática. A seguir, serão descritos os métodos destinados a apoiar a estimativa do custo de componentes injetados.

### 3.5. Métodos de Estimativa de Custos de Componentes Injetados

O custo direto unitário estimado do componente injetado pode ser entendido como sendo o valor dos bens consumidos associados à matéria prima, processo e molde de injeção, num determinado período de tempo, necessários para produzir uma unidade do produto.

Do ponto de vista contábil, a estimativa do custo do produto envolve os custos diretos e indiretos. (Pahl e Beitz, 1996). Entretanto, como as decisões tomadas ao longo do processo de projeto influenciam o custo direto do produto, somente estes serão abordados nesta Tese. Em outras palavras, a estimativa dos custos de overhead, determinados por decisões administrativas, não será foco de estudo desta Tese.

Desta forma, o custo unitário direto do componente injetado pode ser estimado empregando-se a equação (3.1):

$$CDU_{COMP} = CDU_{MAT/COMP} + CDU_{PROC/COMP} + CDU_{MOLDE/COMP} \quad (3.1)$$

onde:  $CDU_{COMP}$  = Custo direto unitário do componente injetado (R\$);

$CDU_{MAT/COMP}$  = Custo direto unitário do material do componente injetado (R\$);

$CDU_{PROC/COMP}$  = Custo direto unitário do processo de injeção do componente (R\$);

$CDU_{MOLDE/COMP}$  = Custo direto unitário do molde de injeção por componente (R\$);

A seguir, serão descritos métodos que podem ser empregados para estimar estes custos.

#### 3.5.1. Estimativa do Custo Direto Unitário de Material de Componentes Injetados

O custo direto unitário de material, segundo Rosato e Rosato (1995), pode ser estimado com base na determinação do volume de material constituinte do componente, no volume de canal de injeção, número de cavidades do molde e nas perdas de material relativas ao processo de injeção, as quais estão relacionadas à quantidade de material necessária para preencher os canais de injeção, conforme apresentado nas equações (3.2) e (3.3).

$$CDU_{MAT/COMP} = P_{COMP} \cdot C_{MAT/kg} \cdot (1 + P_{PERDAS}) \quad (3.2)$$

$$CDU_{MAT/COMP} = \left( \frac{V_{CANAL}}{n_{CAV}^o} + V_{COMP} \right) \cdot \rho_{MAT} \cdot C_{MAT/kg} \quad (3.3)$$

onde,  $CDU_{MAT/COMP}$  = Custo direto unitário de material do componente injetado(R\$);

$P_{COMP}$  = Peso do componente injetado (kg);

$C_{MAT/kg}$  = Custo de material do componente injetado por kg (R\$/kg);

$\rho_{MAT}$  = densidade do material a ser injetado (kg/m<sup>3</sup>);

$P_{PERDAS}$  = Perdas de material associada ao processo de injeção do componente (%), em relação ao peso do componente;

$V_{COMP}$  = Volume do componente injetado ( $m^3$ );

$V_{CANAL}$  = Volume do canal de injeção ( $m^3$ ), que deve ser considerado se injeção à frio;

$n^{\circ}_{CAV}$  = Número de cavidades do molde de injeção (número);

O valor de custo de material do componente injetado por kg ( $C_{MAT/kg}$ ) pode ser determinado com base em cotações disponíveis no mercado.

No processo de injeção à quente, as perdas de material são praticamente nulas. Por sua vez, na injeção a frio, as perdas podem ser consideráveis, dependendo da configuração, da posição e do tamanho dos canais de injeção do molde de injeção.

Ainda, segundo Pahl e Beitz (1999), o custo de material do produto pode ser estimado empregando-se tabelas de custos elaboradas para diferentes configurações de produtos. Como se sabe, na fase de projeto conceitual, a determinação do custo de componentes injetados através da estimativa do volume pode se tornar uma tarefa complexa devido ao elevado nível de abstração das informações disponíveis. Sob esta abordagem, visualiza-se a possibilidade de desenvolver uma base de dados com o objetivo de elaborar modelos comparativos entre características de produtos em desenvolvimento e similares, visando auxiliar a estimativa do custo do primeiro produto.

Outro método empregado para estimar o custo de componentes injetados é apresentado por Rosato e Rosato (1995). Segundo os autores, as empresas do setor usualmente estimam o custo destes produtos multiplicando o seu custo de material por um fator numérico qualquer, estabelecido com base na experiência de quem o executa. Esta característica também foi identificada em algumas empresas consultadas durante a realização deste trabalho. Entretanto, devido ao elevado carácter subjetivo do método, os erros obtidos na estimativa de custos situam-se em torno de  $\pm 30\%$  (Rosato e Rosato, 1995).

### **3.5.2. Estimativa do Custo Direto Unitário do Processo de Injeção de Componentes Injetados**

A estimativa do custo direto unitário do processo de injeção de componentes injetados está associada à determinação dos tempos relativos ao ciclo de injeção deste produto, os quais estão ilustrados na figura 3.6.

- Tempo de ciclo-seco vazio: é o tempo total necessário para a máquina abrir e fechar o molde. Envolve a soma do tempo de abertura e fechamento do molde. Atualmente as máquinas rápidas possuem ciclos-secos da ordem de 1 a 3 segundos.
- Tempo de abertura: é usualmente muito rápido. A extração deve preferivelmente ser efetuada neste período, de modo a reduzir ou eliminar qualquer tempo de molde aberto. Ocasionalmente, pode ser necessário que a velocidade de abertura do molde seja reduzida para adequar-se ao método de extração do componente.

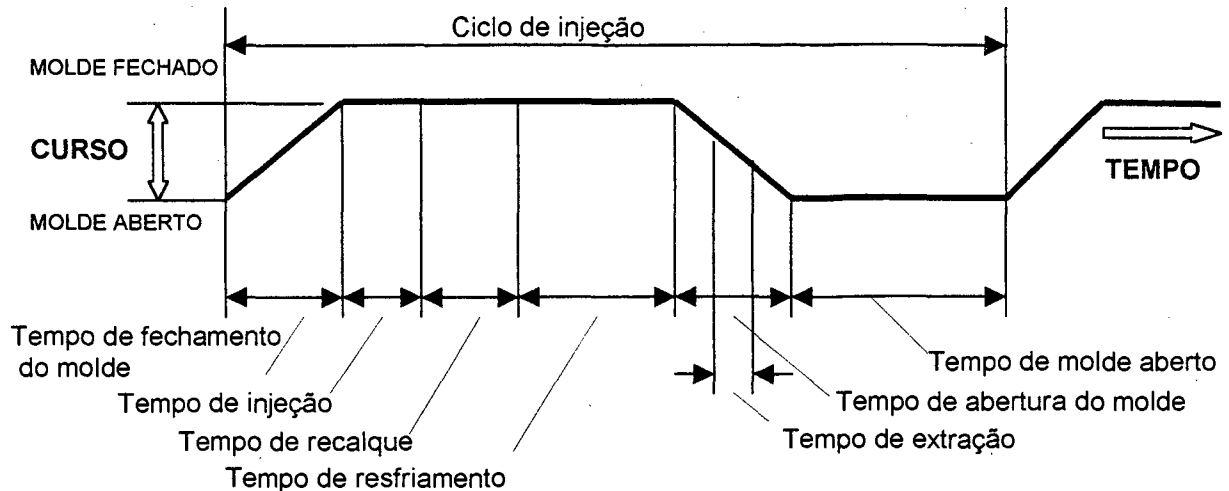


Figura 3.6. Diagrama ilustrando o ciclo completo de injeção.

A terminologia apresentada na figura 3.6 está especificada abaixo:

- Tempo de fechamento: usualmente muito rápido, exceto para a aproximação final antes do fechamento completo do molde, de modo a permitir que o sistema de proteção tenha tempo suficiente para operar, antes da ocorrência de um possível dano mais sério no molde. Tanto o tempo de abertura quanto o tempo de fechamento, são relacionados às máquinas, as quais possuem regulagens para as velocidades. De uma forma geral, estes tempos são tempos perdidos, e quanto maiores forem, menor será a produtividade;
- Tempo de molde aberto: é um tempo perdido, o qual deverá ser sempre o menor possível, até mesmo nulo. É relacionado ao projeto do molde;
- Tempo de molde fechado: é o tempo que vai desde o momento em que o molde é fechado até a sua reabertura. Compreende os tempos de injeção, recalque e resfriamento do componente;
- Tempo de injeção: é o tempo necessário para preencher o molde com o material (geralmente com alta pressão de injeção);
- Tempo de recalque ou segunda pressão: é o tempo no qual é mantida uma pressão no material de injeção dentro da cavidade, de modo que a cavidade continue a ser preenchida quando o produto se contrai dentro da cavidade;
- Tempo de resfriamento: é o tempo gasto após o término da pressão de injeção (ou retenção) até quando o molde começar a abrir. Entretanto, deve ser observado que o resfriamento começa a ocorrer quando o material de injeção entra no molde;
- Tempo de extração: é o tempo necessário para ejetar os componentes da área do molde, de modo que este possa ser fechado novamente sem prender o componente. Preferivelmente, deve ocorrer durante o tempo de abertura do molde, para eliminar a necessidade de um tempo de molde aberto adicional. Entretanto, em alguns moldes a ejeção será feita durante o tempo de molde aberto;
- Tempo de reset: envolve os tempos de abertura do molde, extração do componente injetado do molde e fechamento do molde de injeção.

A essência da estimativa do custo do processo de injeção envolve, basicamente, a determinação do custo direto de operação da máquina injetora por unidade de tempo e a estimativa dos tempos associados ao ciclo de injeção do componente. O valor do custo do processo de injeção por unidade de tempo pode ser obtido através de informações provenientes dos sistemas de gerenciamento de custos, conforme descrito no item 3.4. Por sua vez, a estimativa dos tempos de injeção pode ser obtida por métodos específicos, os quais estão descritos a seguir.

Para um molde de injeção de uma cavidade, para estimar o custo direto unitário do processo de injeção do componente injetado ( $CDU_{PROC/COMP}$ ), primeiramente, é necessário determinar o custo direto de operação da máquina injetora por unidade de tempo ( $CD_{PROC/H}$ ) e, posteriormente, estimar os tempos associados a cada etapa do ciclo de injeção, como mostrado na equação (3.4):

$$CDU_{PROC/COMP} = \frac{CD_{PROC/H}}{3600} * (t_{INJ} + t_{REC} + t_{RESF} + t_{RESET}) \quad (3.4)$$

onde,  $CDU_{PROC/COMP}$  = Custo direto unitário do processo por componente injetado (R\$);

$CD_{PROC/H}$  = Custo direto do processo de injeção por hora (R\$/h);

$t_{REC}$  = Tempo de aplicação da pressão de recalque do componente (s);

$t_{INJ}$  = Tempo de injeção do componente (s);

$t_{RESF}$  = Tempo de resfriamento do componente (s);

$t_{RESET}$  = Tempo de reset da máquina de injeção (s);

Na tabela 3.2 está exemplificada a aplicação deste método de estimativa de custo para um componente qualquer. Como pode ser observado, na coluna da esquerda estão listadas as etapas do ciclo de injeção do produto e o respectivo tempo estimado. Na próxima coluna está descrito o valor de custo direto de produção por segundo proveniente dos sistemas de gerenciamento de custos. Na coluna da direita é apresentado o resultado do custo direto unitário estimado do componente injetado por etapa do ciclo de injeção que, somados, compõem o custo direto unitário do componente injetado.

Tabela 3.2. Exemplo de estimativa do custo de componente injetado.

Etapas do processo de injeção do componente	Tempo de processo (s)	Custo direto de produção por unidade de tempo (R\$/s)	Custo direto unitário de cada etapa do processo de injeção (R\$)
Injeção do componente	30	0,20	6,00
Aplicação da pressão de recalque	9	0,20	1,80
Resfriamento do componente	100	0,20	20,00
Reset da máquina	5	0,20	1,00
* Dados ilustrativos	<b>Custo Estimado Direto Unitário de Injeção do Componente Injetado (R\$)</b>		<b>28,80</b>

Um método mais elaborado para estimar o custo direto do processo de injeção envolve a consideração do número de cavidades do molde e as perdas associadas ao processo de injeção

(Ress, 1995). Desta forma, o custo direto unitário do processo de injeção do componente ( $CDU_{PROC/COMP}$ ) pode ser estimado considerando o custo do processo por hora ( $CD_{PROC/H}$ ), o rendimento do processo de injeção ( $\eta_{PROC}$ ), o número de cavidades do molde ( $n^{\circ}_{CAV}$ ) e os tempos associados ao ciclo de injeção, conforme descrito nas equações (3.5) e (3.6).

$$CDU_{PROC/COMP} = \frac{CD_{PROC/H}}{3600} \cdot \frac{1}{\eta_{PROC}} \cdot \frac{1}{n^{\circ}_{CAV}} \cdot (t_{REC} + t_{INJ} + t_{RESF} + t_{RESET}) \quad (3.5)$$

$$\eta_{PROC} = \frac{\text{Número total de horas de produção de componentes adequados}}{\text{Número total de horas que a injetora está disponível para o molde de injeção}} \quad (3.6)$$

onde:  $CDU_{PROC/COMP}$  = Custo direto unitário do processo por componente injetado (R\$);

$CD_{PROC/H}$  = Custo direto do processo por segundo de produção (R\$/h);

$\eta_{PROC}$  = Rendimento do processo de injeção do componente (%);

$n^{\circ}_{CAV}$  = Número de cavidades do molde de injeção (número);

$t_{REC}$  = Tempo de aplicação da pressão de recalque do componente (s);

$t_{INJ}$  = Tempo de injeção do componente (s);

$t_{RESF}$  = Tempo de resfriamento do componente (s);

$t_{RESET}$  = Tempo de reset da máquina de injeção (s);

Como pode ser observado, o problema da estimativa do custo do processo de injeção envolve a estimativa dos tempos associados ao ciclo de injeção. Para determinar estes tempos, geralmente são empregados programas de simulação do processo de injeção. Todavia, a utilização destes programas requer que a concepção do produto seja detalhada. Em outras palavras, a utilização destes programas nas fases iniciais do processo de projeto mostra-se inadequada.

Em suma, o desafio é determinar os tempos associados ao ciclo de injeção na fase de projeto conceitual. Boothroyd *et al.* (1994), Belofsky (1995), Malloy (1994) e Rosato e Rosato (1989) realizaram uma série de estudos visando o desenvolvimento de modelos matemáticos para estimar estes tempos nas fases de projeto preliminar e detalhado, isto é, os tempos de aplicação da pressão de recalque, injeção, resfriamento e reset do molde.

A estimativa destes tempos está descrita a seguir.

O tempo de aplicação da pressão de recalque ( $t_{REC}$ ) pode ser estimado com base no tempo de injeção de material na cavidade do molde. Especialistas colocam que, conforme descrito na equação (3.7), o tempo de aplicação da pressão de recalque pode ser estimado na faixa de 20 a 30 % do tempo de injeção.

$$t_{REC} \cong 0,3 \cdot t_{INJ} \quad (3.7)$$

onde:  $t_{INJ}$  = Tempo de injeção do componente (s);

$t_{REC}$  = Tempo de aplicação da pressão de recalque do componente (s);

Para estimar o **tempo de injeção do componente** ( $t_{INJ}$ ) deve ser considerado o fluxo de material através do canal de injeção e da(s) cavidade(s) do molde. Boothroyd *et al.* (1994) e Smith (1999), considerando que, no início do processo de injeção, a máquina injetora está operando com a sua potência máxima e que a pressão de injeção é aquela recomendada para o material injetado, chegaram a equação (3.8) para estimar o tempo de injeção do componente.

$$t_{INJ} = \frac{2 \cdot V_s \cdot p}{P} \quad (3.8)$$

onde,  $t_{INJ}$  = Tempo de injeção do componente (s);

$V_s$  = Volume de material injetado ( $m^3$ );

$P$  = Potência da máquina injetora (W);

$p$  = Pressão de injeção ( $N/m^2$ ).

Por exemplo, considere um componente injetado em ABS do tipo disco de 0,150 m de diâmetro e injetado num molde de 6 cavidades com uma máquina cuja potência é 90 kW. Deseja-se determinar o tempo de injeção do componente. A partir de dados fornecidos por Boothroyd *et al.* (1994), o volume de injeção requerido é de  $0,489 m^3$  e a pressão de injeção recomendada é de  $100 MN/m^2$ . Desta forma, empregando a equação (3.9), o tempo de injeção deste disco é igual a:

$$t_{INJ} = (2 \cdot 489 \times 10^{-6} \cdot 100 \times 10^6) / (90 \cdot 10^3) = 1.09 \text{ s} \quad (3.9)$$

O tempo de injeção também pode ser estimado considerando o volume do componente e a vazão de injeção da máquina injetora, conforme exposto por Belofsky (1995) e apresentado na equação (3.10).

$$t_{INJ} = \frac{2 \cdot V_s}{v_{INJ}} \quad (3.10)$$

onde:  $t_{INJ}$  = Tempo de injeção do componente (s);

$V_s$  = Volume de material injetado, calculado considerando o volume do canal de injeção ( $m^3$ ). No caso de canal frio deve-se adicionar o volume do canal. No caso de injeção a quente, não é necessário realizar esta adição;

$v_{INJ}$  = Vazão de injeção ( $m^3/s$ );

Para estimar o **tempo de resfriamento do componente injetado** ( $t_{RESF}$ ), Boothroyd *et al.* (1994) assumem que as trocas de calor entre o componente e o molde de injeção ocorrem somente pelo processo de condução. As trocas de calor por convecção podem ser desprezadas, pois são pequenas para fluidos viscosos. O mesmo ocorre com relação as trocas de calor por radiação, pois o resfriamento do componente ocorre quando o molde está fechado e, nesta situação, as perdas de calor por radiação também são baixas.

Segundo Belofsky (1995), a análise completa do processo de resfriamento do componente injetado envolve a consideração do fluxo de calor através do filme de material que se solidifica, inicialmente, na parede da cavidade do molde e depois através da espessura do componente. As trocas de calor que ocorrem no interior do componente embora apreciáveis são usualmente ignoradas para fins de simplificação. Em muitos casos, segundo os autores, estas simplificações também ocorrem em softwares computacionais, caso contrário seria necessário análises matemáticas complexas, dados da condutividade de polímeros, que varia de acordo com a temperatura de resfriamento. Como o objetivo é realizar estas análises na fase de projeto conceitual, as simplificações apresentadas por Boothroyd *et al.* (1994) e Belofsky (1995) são pertinentes.

O tempo de resfriamento do componente, conforme Belofsky (1995) pode ser estimado considerando-se a temperatura de injeção do material, a temperatura do molde de injeção, a temperatura de extração do componente, a espessura máxima da parede do componente, a condutividade térmica do material ( $k$ ), o calor específico do material ( $C_p$ ) e a densidade do mesmo ( $\rho$ ). Os parâmetros relacionados ao material injetado podem ser agrupados no coeficiente de difusividade térmica ( $\alpha = k/\rho \cdot C_p$ ). O modelo de resfriamento do material na cavidade do molde pode ser descrito pela equação diferencial de Fourier, onde o fluxo de calor unidimensional entre duas placas pode ser representado pelas equações (3.11) e (3.12), onde  $T$  representa a temperatura,  $t$  refere-se ao tempo de resfriamento e  $x$  corresponde à distância, ao longo da espessura do componente injetado.

$$\rho \cdot C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (3.11)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad (3.12)$$

As soluções para a equação de Fourier são dadas em forma de séries infinitas, as quais podem ser obtidas em livros de transferência de calor utilizando gráficos de forma. Estes gráficos são elaborados em termos de dois grupos adimensionais, denominados número de Fourier ( $F_o$ ) e gradiente de temperatura ( $\Delta T$ ), definidos da forma expressa nas equações (3.13), (3.14) e (3.15). A figura 3.7 mostra a solução para a equação de Fourier para o caso de uma superfície delgada e placa lisa ou chapa infinita. Neste caso, foram desprezadas as trocas de calor superficiais do produto. Neste estudo,  $T_m$  representa a temperatura de injeção do material,  $T_d$  refere-se à temperatura do molde de injeção e  $T_x$  representa a temperatura de extração do componente.

$$\rho \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dx} = \frac{d}{dx} \left( k \frac{dT}{dx} \right) \cong k \frac{d^2T}{dx^2} \quad (3.13)$$

$$F_o = \frac{\alpha \cdot t}{x^2} \quad (3.14)$$

$$\Delta T = \frac{T_x - T_d}{T_m - T_d} \quad (3.15)$$



onde,  $T_m$  = Temperatura de injeção do material;  
 $T_d$  = Temperatura do molde de injeção;  
 $T_x$  = Temperatura do componente num dado tempo  $t$ ;

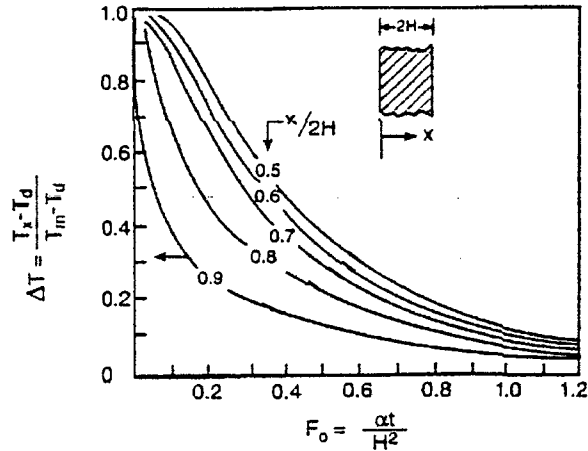


Figura 3.7. Solução gráfica da equação de Fourier para placas planas. (Belofsky, 1995)

Na estimativa do custo de componentes injetados, tem-se interesse em determinar o tempo de resfriamento ( $t$ ), necessário para que a temperatura do componente ( $T_x$ ) se iguale à temperatura recomendada para sua extração do molde de injeção. Esta temperatura varia em função do tipo de material. Assim, considerando um dado produto com geometria semelhante àquela ilustrada na figura 3.7, entrando no gráfico com o valor de  $\Delta T$  e o ponto do componente que se deseja obter a dada temperatura ( $x/2H$ ), como informação de saída, tem-se o número de Fourier e, conseqüentemente, pode-se calcular o tempo de resfriamento ( $t$ ) em um dado ponto do componente.

Um análise semelhante pode ser elaborada para diferentes geometrias de produtos, conforme ilustrado na figura 3.8. Neste estudo, elaborado por Belofsky (1995), considerou-se que as resistências térmicas da superfície dos componentes foram negligenciadas e que a temperatura do molde de injeção é maior do que  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . Neste gráfico,  $T$  é equivalente a  $T_x$  da equação (3.15).

Belofsky (1995) apresenta um exemplo da aplicação deste método na determinação do tempo de resfriamento de um cubo de 7 mm de diâmetro. Os parâmetros relacionados ao processo são: temperatura de injeção do material ( $T_m$ ) de  $180\text{ }^\circ\text{C}$ ; temperatura do molde ( $T_d$ ) de  $60\text{ }^\circ\text{C}$ ; e, temperatura de extração do componente ( $T_x$ ) de  $110\text{ }^\circ\text{C}$ . O coeficiente de difusividade térmica do material ( $\alpha$ ) é igual a  $10^{-1}\text{ mm}^2/\text{s}$ . Assim, aplicando o método proposto por Belofsky (1995) tem-se:

$$F_o = \frac{\alpha \cdot t}{(d/2)^2} = \frac{0,1 \cdot t}{3,5^2} = 0,0082 \cdot t \quad (3.16)$$

$$\Delta T = \frac{T_x - T_d}{T_m - T_d} = \frac{110 - 60}{180 - 60} = 0,417 \quad (3.17)$$

Considerando o valor de  $\Delta T$  no gráfico ilustrado na figura 3.8, para a curva "d" obtém-se o valor de Fourier ( $F_0$ ) igual a 0,20. Da equação (3.16), cálculo do tempo de resfriamento do componente tem como resultado 24,4 s.

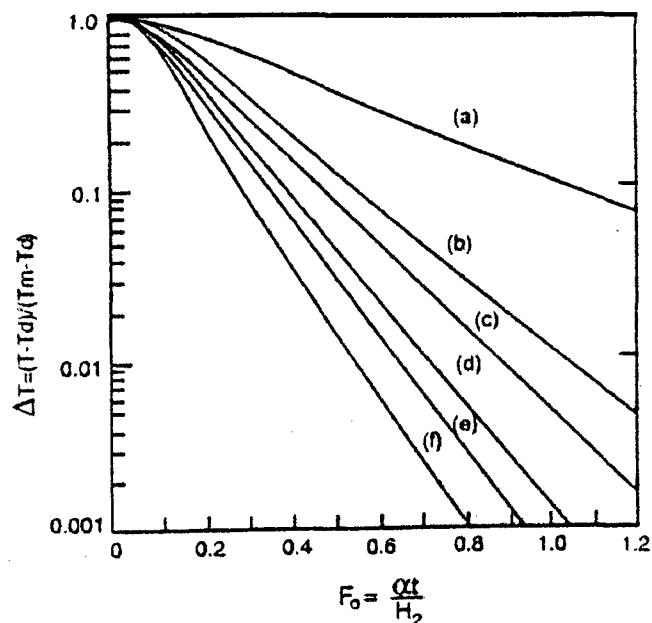


Figura 3.8. Soluções da equação de Fourier, considerando o histórico da temperatura no centro do componente, para as seguintes geometrias: a) placa plana infinita; b) haste retangular infinita; c) cilindro infinito; d) cubo; e) cilindro finito com comprimento igual ao diâmetro; f) esfera. (Belofsky, 1995)

Analisando o método descrito por Belofsky (1995), observa-se que devido à sua simplicidade, pode ser empregado na fase de projeto conceitual de componentes injetados. Entretanto, para isto, faz-se necessário que sejam desenvolvidos estudos e gráficos semelhantes àqueles apresentados nas figuras (3.7) e (3.8) para distintas geometrias (formas) de componentes injetados.

Malloy (1994) desenvolveu um modelo analítico para placas retangulares e cilindros com o objetivo de calcular o tempo médio de resfriamento e o tempo de resfriamento no centro do produto. Estes modelo está descrito nas equações (3.18), (3.19), (3.20) e (3.21).

- **Para uma placa retangular:**

- Tempo de resfriamento no centro da placa:

$$t_{\text{RESF-C}} = \frac{h_{\text{max}}^2}{\pi^2 \cdot \alpha} \cdot \ln \left[ \frac{4 \cdot (T_{\text{INJ}} - T_{\text{MOLDE}})}{\pi \cdot (T_{\text{EXT}} - T_{\text{MOLDE}})} \right] \quad (3.18)$$

- Tempo de resfriamento médio da placa:

$$t_{\text{RESF-M}} = \frac{h_{\text{max}}^2}{\pi^2 \cdot \alpha} \cdot \ln \left[ \frac{8 \cdot (T_{\text{INJ}} - T_{\text{MOLDE}})}{\pi^2 \cdot (T_{\text{EXT}} - T_{\text{MOLDE}})} \right] \quad (3.19)$$

- **Para um cilindro:**

- Tempo de resfriamento no centro do cilindro:

$$t_{\text{RESF-C}} = 0,173 \cdot \frac{r^2}{\alpha} \cdot \ln \left[ 1,6023 \cdot \frac{(T_{\text{INJ}} - T_{\text{MOLDE}})}{(T_{\text{EXT}} - T_{\text{MOLDE}})} \right] \quad (3.20)$$

- Tempo de resfriamento médio do cilindro:

$$t_{\text{RESF-M}} = 0,173 * \frac{r^2}{\alpha} * \ln \left[ 0,6916 * \frac{(T_{\text{INJ}} - T_{\text{MOLDE}})}{(T_{\text{EXT}} - T_{\text{MOLDE}})} \right] \quad (3.21)$$

onde:  $t_{\text{RESF-C}}$  = Tempo de resfriamento no centro do componente injetado (s);

$t_{\text{RESF-M}}$  = Tempo de resfriamento médio do componente injetado (s);

$h$  = Espessura da parede da placa do componente (m);

$R$  = Raio do cilindro do componente (m);

$T_{\text{INJ}}$  = Temperatura de injeção do material de injeção (°C);

$T_{\text{MOLDE}}$  = Temperatura recomendada do molde de injeção durante o resfriamento (°C);

$T_{\text{EXT}}$  = Temperatura de extração do componente (°C);

$\alpha$  = Coeficiente de difusividade térmica do material (m<sup>2</sup>/s);

Um modelo simplificado para estimar o tempo de resfriamento de componentes injetados, considerando a maior espessura de material e as propriedades do material injetado é empregado no programa MoldFlow<sup>®</sup> e está descrito nas equações (3.22) e (3.23).

$$t_{\text{RESF}} = \frac{(\Delta z)^2}{4 \cdot \alpha} \quad (3.22)$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad (3.23)$$

onde:  $t_{\text{RESF}}$  = Tempo de resfriamento do componente (s);

$\Delta z$  = Maior espessura do componente (mm);

$\alpha$  = parâmetro do material (m<sup>2</sup>/s);

$k$  = condutividade térmica do material (W/m.s);

$\rho$  = densidade do material (kg/m<sup>3</sup>);

$C_p$  = Calor específico do material (J/kg.C);

O modelo analítico apresentado por Malloy (1995) permite que o tempo de resfriamento do componente seja estimado considerando, somente, a espessura máxima do componente, temperatura do molde e propriedades do material de injeção. A mesma análise se estende para o modelo apresentado nas equações (3.22) e (3.23), empregados no programa MoldFlow<sup>®</sup>.

A conclusão da estimativa dos tempos associados ao ciclo de injeção do componente ocorre com a determinação do **tempo de reset da injetora ( $t_{\text{RESET}}$ )**, o qual engloba os tempo de abertura do molde, de extração do componente e fechamento do molde. Boothroyd et all (1994) mostram na equação (3.24), um modelo para estimar o tempo de reset da injetora.

$$t_{\text{RESET}} = 1 + 1,75 \cdot t_d \cdot \left[ \frac{(2 \cdot D + 50)}{L_s} \right]^{1/2} \quad (3.24)$$

onde:  $t_{\text{RESET}}$  = Tempo de reset da máquina injetora (s);  
 $t_d$  = Tempo de ciclo seco, proveniente das especificações de máquinas injetoras, em função da sua força de fechamento (s);  
 $D$  = Máxima profundidade do componente (mm);  
 $L_s$  = Abertura máxima da máquina de injeção para extração do componente (mm);

De forma geral, a aplicação dos modelos matemáticos descritos nesta seção requerem que características associadas ao produto e ao processo de injeção estejam especificadas. Considerando que, segundo o contexto desta Tese, deseja-se estimar esses custos na fase de projeto conceitual, a utilização desses modelos com base em informações subjetivas, pode tornar-se uma atividade complexa e que conduz a resultados pouco expressivos e confiáveis. Por outro lado, pesquisas na literatura e consultas às empresas do ramo mostram que os métodos disponíveis auxiliam a estimativa do custo do componente injetado somente nas fases de projeto preliminar e detalhado, principalmente, quando são realizados estudos de simulação do processo de injeção. Considerando o elevado nível de abstração das informações disponíveis na fase de projeto conceitual, poderiam ser empregadas faixas de valores para os parâmetros dos modelos matemáticos. Como resultado, ter-se-ia resultados em faixa de valores de custos.

Este fato, explicitado na análise descrita, vem ao encontro da constatação de Hundall (1993), afirmando que "a maioria das ferramentas permite determinar o custo de produtos nas fases finais de projeto, enquanto estes custos são determinados nas fases iniciais. Existe a necessidade de desenvolver métodos para estimar estes custos na fase de projeto conceitual."

Neste contexto, para possibilitar a estimativa do custo de componentes injetados no início do processo de projeto, será investigado o emprego de métodos de similaridade, os quais partem do princípio que o custo do componente em desenvolvimento pode ser estimado comparando-o a produtos similares, desenvolvidos previamente e/ou disponíveis no mercado. Este processo está ilustrado, esquematicamente, na figura 3.9.

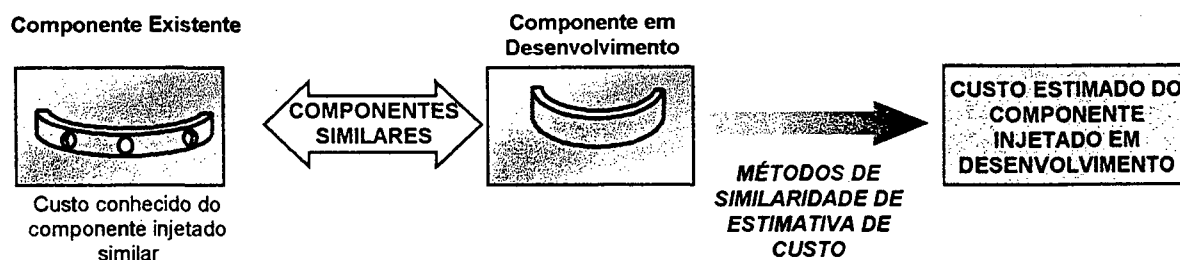


Figura 3.9. Princípio do método de similaridade para estimar custo de produtos.

Pahl e Beitz (1996) apresentam estudos sobre estimativa de custos de produtos aplicando o método da similaridade. Em se tratando de componentes injetados, busca-se, inicialmente, identificar

um componente similar àquele em desenvolvimento, juntamente, com as características que determinam o seu custo. Estas características podem ser denominadas de direcionadores de custos, isto é, informações relacionadas às características físicas e dimensionais do componente, propriedades do processo, do molde e do material de injeção. Na seqüência, com base nas informações obtidas ao longo do processo de projeto, procura-se levantar estas mesmas informações do produto em desenvolvimento. Por meio do relacionamento destes direcionadores, juntamente, com o emprego de métodos de similaridade de estimativa de custos, a equipe de projeto pode estimar o custo do componente injetado em desenvolvimento.

Segundo Pahl e Beitz (1996), o método de similaridade pode ser desenvolvido a partir de informações oriundas do próprio produto, do processo de manufatura e de dados estatísticos.

O método de similaridade elaborado com base em informações (características) de produtos pode ser utilizado quando se têm disponíveis produtos geometricamente similares. Neste método, a relação de similaridade para calcular o custo direto de manufatura é representada pela razão entre o custo direto unitário de manufatura do produto novo ( $CDU_{MAN N}$ ) pelo custo direto de manufatura do produto similar ( $CDU_{MAN S}$ ) existente, conforme apresentado na equação (3.25).

$$\varphi_{CDU MAN} = \frac{CDU_{MAN N}}{CDU_{MAN S}} \quad (3.25)$$

onde,  $\varphi_{CDU MAN}$  = Relação de similaridade entre custo direto unitário de manufatura do componente novo e o similar.

$CDU_{MAN N}$  = Custo direto unitário de manufatura do componente novo (R\$);

$CDU_{MAN S}$  = Custo direto unitário de manufatura do componente injetado similar (R\$);

Do ponto de vista contábil, o custo direto unitário de manufatura de componentes injetados é dado pela soma dos custos diretos de material e do processo de produção (Ferreira, 1998). Desta forma, a relação entre o custo direto unitário de material ( $CDU_{MAT}$ ) e o custo de direto unitário do processo produtivo ( $CDU_{PROC}$ ) com o custo de direto unitário de manufatura ( $CDU_{MAN}$ ) pode ser representado da seguinte forma:

$$a_{CDU MAT} = \frac{CDU_{MAT S}}{CDU_{MAN S}}; \quad a_{CDU PROD K} = \frac{CDU_{PROC K S}}{CDU_{MAN S}} \quad (3.26)$$

onde, k = representa a k-ésima operação do processo de manufatura. No caso de componentes injetado pode representar as etapas do ciclo de injeção.

$a_{CDU MAT}$  = relação entre custo direto unitário de material e o custo direto unitário do processo de manufatura do componente similar;

$a_{CDU PROD K}$  = relação entre custo direto unitário da etapa k do processo produtivo e o custo direto unitário do processo de manufatura do componente similar;

$CDU_{MAT S}$  = Custo direto unitário de material do componente similar (existente) (R\$);

$CDU_{PROC K S}$  = Custo direto unitário do processo produtivo do componente similar existente (R\$);

Agrupando os termos da equação (3.25) e (3.26) tem-se:

$$\varphi_{CDU\ MAN} = a_{CDU\ MAT} \cdot \varphi_{CDU\ MAT} + \sum_k a_{CDU\ PROD\ K} \cdot \varphi_{CDU\ PROD\ K} \quad (3.27)$$

onde,  $\varphi_{CDU\ MAT}$  = Relação de similaridade entre custo direto unitário de material do componente novo e do componente similar.

$\varphi_{CDU\ PROD\ K}$  = Relação de similaridade entre custo direto unitário da k-ésima etapa do processo de manufatura do componente novo e do componente similar.

Assim, supondo a dimensão do produto (comprimento - l) e sendo este o parâmetro que representa a similaridade entre os produtos, a equação (3.27) pode ser escrita genericamente da seguinte maneira:

$$\varphi_{CDU\ MAN} = \sum_i a_i \cdot \varphi_L^{x_i} \quad ; \quad \varphi_{L_i} = \frac{L_N}{L_S} \quad \text{com} \quad \sum_i a_i = 1 \quad \text{e} \quad a_i \geq 0 \quad (3.28)$$

onde,  $L_N$  = Dimensão (comprimento) do componente novo;  
 $L_S$  = Dimensão (comprimento) do componente similar.

Assim, considerando o exemplo de um dado produto, o qual apresenta o desdobramento do custo deste produto, conforme exemplificado na tabela 3.3, é possível determinar a composição e a relação de incremento do custo deste produto. (Pahl e Beitz, 1996)

Tabela 3.3. Exemplo de desdobramento e incremento do custo de um produto qualquer.

DESDOBRAMENTO DO CUSTO DO PRODUTO	INCRIMENTO DO CUSTO DO PRODUTO			
	$\varphi_L^3$	$\varphi_L^2$	$\varphi_L^1$	Constante
Material	800			
Corte de chapas			60	15
Chanfro			35	
Posicionamento para soldagem			105	
Soldagem		500		
Acabamento da soldagem	80			
Posicionamento para usinagem	40			
Torneamento			40	
Furação			100	70
Fresamento			30	15
Custo total = 1890 = $C_{total}$	$\Sigma_3 = 920$	$\Sigma_2 = 500$	$\Sigma_1 = 370$	$\Sigma_0 = 100$
	$\Sigma_3 / C_{total} = a_3$ $a_3 = 0,49$	$\Sigma_2 / C_{total} = a_2$ $a_2 = 0,26$	$\Sigma_1 / C_{total} = a_1$ $a_1 = 0,20$	$\Sigma_0 / C_{total} = a_0$ $a_0 = 0,05$

Como resultado, levando em conta as informações descritas na tabela 3.3, aplicando o método da similaridade descrito, o custo do produto analisado aumenta de acordo com a relação descrita na equação (3.29):

$$\varphi_{CD\ MAN/COMP} = 0,49 \cdot \varphi_L^3 + 0,26 \cdot \varphi_L^2 + 0,20 \cdot \varphi_L + 0,05 \quad (3.29)$$

Assim, para um dado produto similar, se o parâmetro geometricamente similar incrementar duas vezes ( $\varphi_L=L_n/L_s=2$ ), então o custo deste produto aumentará 5,41 vezes ( $\varphi_{CDU\ MAN} = 5,41$ ).

Segundo Pahl e Beitz (1996), outra forma de desenvolver relações de similaridade, visando a estimativa de custo, envolve o emprego da análise de regressão. Este recurso da estatística constitui-se de um conjunto de métodos e técnicas que permitem o estabelecimento de fórmulas empíricas, as quais representam a relação entre variáveis do produto similar e novo com o valor de custo.

Nesta linha, Modem (1999) apresenta um estudo para determinar tempos padrão visando a estimativa do custo, de processos produtivos, empregando-se métodos de análise de regressão. Neste método, com base em dados estatísticos e históricos pode ser estabelecido um modelo matemático que relaciona os tempos do processo produtivo a características do produto, do processo e a outros fatores que influenciem este tempo (direcionadores de custo). Por exemplo, considerando o processo de injeção de plásticos, os direcionadores de custos podem ser o peso do produto, o tipo de material, a capacidade de injeção da máquina e o tipo de ferramental. Desta forma, a equação de regressão para estimar o custo deste produto pode ser escrita da seguinte forma, por exemplo.

$$CDU_{PROC} = CD_{PROC/HORA} \cdot (0,56 \cdot X_1 + 0,07 X_2 + 0,754 X_3) \quad (3.30)$$

onde,  $CDU_{PROC}$  = Custo direto unitário do processo por componente injetado (R\$);

$CD_{PROC/HORA}$  = Custo direto do processo por hora de produção (R\$/h);

$X_1$  = Peso do componente injetado novo em relação ao peso do componente similar;

$X_2$  = Condutividade térmica do material de injeção do componente injetado novo em relação a condutividade térmica do material de injeção do componente similar;

$X_3$  = Capacidade de injeção da máquina do componente injetado novo em relação a capacidade de injeção da máquina injetora do componente similar;

As constantes da equação (3.30) podem ser determinadas com base em dados históricos da empresa e, também, oriundos de experimentação.

Segundo Mondem (1999), a confiabilidade do método de similaridade baseado em métodos de análise de regressão pode ser assegurada se a equipe de projeto do produto: i) selecionar de modo efetivo os direcionadores de custos do produto; ii) desenvolver gráficos para comparar valores reais com valores estimados, a fim de suprimir valores anormais; e, iii) restringir a amplitude dos valores associados aos direcionadores de custos, devido ao fato dos tempos associados ao processo de manufatura poderem alterar rapidamente, se os valores dos direcionadores exercerem uma certa amplitude. Neste caso, recomenda-se que os direcionadores sejam divididos em faixas de amplitude e sejam calculadas as equações de regressão para cada uma destas faixas de amplitude.

No caso da estimativa de custos de componentes injetados, a abordagem proposta por Pahl e Beitz (1999) e Mondem (1999) é pertinente. Por outro lado, a sua aplicação está condicionada à disponibilidade de dados históricos de custos de produtos similares, os quais podem ser obtidos com base em informações provenientes dos sistemas de gerenciamento de custos e também em registros das empresas envolvidas no desenvolvimento de componentes injetados.

### 3.5.3. Estimativa do Custo Direto Unitário do Molde de Injeção

O molde de injeção é uma ferramenta integrante do processo de injeção, composta por um conjunto de partes formando uma montagem. Esta ferramenta compõe-se de um ou mais espaços vazios, formando as chamadas cavidades. As cavidades são construídas na forma do componente desejado, com o objetivo de produzir (geralmente em grande número) os componentes injetados. A cavidade do molde é formada por uma parte fêmea e uma parte macho.

Para facilitar a compreensão e o entendimento do desdobramento do custo do molde de injeção, na apresentação desta seção, será considerada a **base do molde** como sendo o conjunto de componentes formado pelas placas de suporte do molde, pelo sistema de extração do componente, pelo sistema de injeção de material, pinos e guias. E, a **placa de cavidade**, como sendo a superfície do molde composta pela cavidade fêmea e o macho.

**1. Custo de projeto do molde:** compreende os recursos gastos para desenvolver o projeto da base e as cavidades do molde. O custo de projeto da cavidade será o mesmo se o ferramental possuir 1 ou  $n$  cavidades, uma vez que elas são idênticas. Por outro lado, o custo de projeto da base será maior quanto maior for o número de cavidades do molde.

**2. Custo de planejamento da produção:** refere-se aos recursos gastos no planejamento do processo de manufatura do molde.

**3. Custo de produção da cavidade do molde:** compreende os recursos gastos na manufatura da cavidade do molde, ou seja, envolve os custos relativos as operações de usinagem, retificação, entre outras. Tem-se que, proporcionalmente, o tempo de produção de um molde de  $n$  cavidades é menor que o tempo de produção de um molde de uma cavidade, desde que os tempos de setup sejam os mesmos. Além disto, caso sejam produzidas várias cavidades, pode-se empregar ferramentas especiais, o que tornaria o processo de manufatura mais rápido e menos oneroso.

**4. Custo de produção da base do molde:** está associado aos recursos gastos necessários para produzir a base do molde. O custo de produção da base aumenta com o incremento do número de cavidades do ferramental.

**5. Custo de montagem do molde:** compreende os recursos gastos na montagem do molde. O emprego de técnicas e ferramentas específicas para este fim, tornam a atividade de montagem do molde mais fácil e rápida. O custo de montagem aumenta proporcionalmente ao número de cavidades do molde. O custo de montagem de um molde quente é maior que o custo de um molde frio, devido à necessidade de dispositivos e elementos especiais.

**6. Custo de teste do molde:** podem ocorrer duas situações. No primeiro caso, a própria empresa que projeta e fabrica o molde de injeção realiza o seu teste. Nesta situação, o custo do teste é incorporado ao preço final do molde mas, em compensação, o cliente tem as funções do ferramental garantida. No segundo caso, o teste é realizado pelo cliente e, caso ocorra problemas, o molde retorna para a empresa que o projetou e o fabricou, para realizar as devidas correções. Nesta situação, o custo de teste do ferramental pode ser maior, devido a perdas em tempos de transporte, modificações, set-up de máquinas e produção.



**7. Custos indiretos ou custos de overhead:** São os recursos gastos pela empresa para produzir o molde de injeção, exceto, os custos diretos de material, projeto e manufatura deste molde. O custo indireto do molde depende do modo pelo qual as empresas estão organizadas, das suas despesas, entre outros fatores.

Neste desdobramento, também se deve considerar o **custo de manutenção anual do molde**, o qual situa na faixa de 10 a 20 % do preço do molde, dependendo do nível de complexidade do componente injetado. Embora possa parecer alto, após os primeiros anos, muitas partes do ferramental acabam se desgastando e devem sofrer manutenção. (Rees, 1995)

Para que o componente injetado tenha qualidade e possua um custo desejado, o molde de injeção deve possuir uma capacidade de produção adequada e produzir componentes de acordo com as especificações determinadas pela equipe de projeto. Com relação ao custo do molde de injeção é interessante analisar o assunto sobre dois pontos de vista, sendo eles: i) envolve a análise da produtividade e a influência do custo do molde de injeção sobre o custo do componente; ii) envolve a estimativa do custo do molde. Neste caso, o custo do molde deve ser adequado à empresa que irá adquiri-lo e proporcionar lucro a quem o desenvolve;

Para analisar a produtividade e a influência do custo do molde de injeção sobre o custo do componente é importante observar que, para pequenas produções, geralmente, as empresas recorrem a um tipo de molde simples com sistemas de resfriamento e de ejeção pouco sofisticados. Por outro lado, para níveis maiores de produção, as empresas buscam explorar todas as possíveis possibilidades de projeto. Neste caso, por exemplo, pode-se estudar o emprego de moldes de múltiplas cavidades, o uso de sistemas de resfriamento, o emprego de sistemas de extração do componente mais eficientes e, ainda, maneiras de assegurar uma maior vida para o molde. Entretanto, como resultado desta sofisticação, o custo do molde de injeção pode tornar-se elevado.

A produtividade do molde de injeção está associada ao nível de sofisticação e, principalmente, ao número de cavidades do mesmo e, deve ser analisada durante o processo de projeto e estimativa de custo do componente. Para isto, deve ser estimado o custo de aquisição do molde de injeção, assim como a variação do custo do componente injetado em função do número de cavidades deste molde. Para elevados volumes de produção, o rateio do custo de aquisição do molde para os produtos fabricados mostra-se bastante baixo. Nesta situação, o custo do componente é influenciado mais pela produtividade do molde do que, simplesmente, pelo seu custo.

O impacto do custo do molde de injeção sobre o custo do componente é analisado considerando o exemplo desenvolvido por Rees (1995), onde são comparados os valores do custo de aquisição do molde, o custo de aquisição destes moldes calculado em função do número de componentes fabricados, o custo do processo de injeção por componente e o custo unitário do componente injetado. Neste exemplo são considerados moldes de uma e duas cavidades, uma produção de 5.000.000 de unidades de componentes durante a vida útil do ferramental, um ciclo de injeção de 10 s, um custo de hora-máquina igual a R\$/h 100,00, uma produtividade de 360 componentes por hora e um custo de material igual a R\$ 0,020. Os resultados obtidos neste exemplo estão apresentados na tabela 3.4.

Tabela 3.4. Síntese da análise e dos resultados obtidos por Ress (1995).

Tipo de molde de injeção	Custo de aquisição do molde	Custo do molde de injeção por componente	Custo do processo de injeção por componente	Custo unitário do componente injetado
Molde de uma cavidade	R\$ 50.000,00	R\$ 0,010 (50.000/5.000.000)	R\$ 0,278 (100,00 / 360)	R\$ 0,308 (0,010 + 0,278 + 0,020)
Molde de duas cavidades	R\$ 80.000,00	R\$ 0,016 (80.000/5.000.000)	R\$ 0,138 (100,00 / 720)	R\$ 0,174 (0,016 + 0,129 + 0,020)

Analisando os resultados apresentados na tabela 3.4, nota-se que:

- Em muitos casos, o custo do componente injetado depende mais do custo do processo de injeção do que, simplesmente, do custo de aquisição do molde. Este fato é reflexo do custo do processo de injeção ser influenciado pela produtividade do molde que, por sua vez, depende da quantidade de cavidades que possui. Neste exemplo, considerando o molde de duas cavidades, cerca de 79 % do custo do componente é proveniente do custo de processo de injeção, enquanto que, o restante é consequência do custo de aquisição do molde e de material. Ainda, no caso do molde de uma cavidade esta influência é da ordem de 90 %.

- O **custo de aquisição do molde de injeção** de duas cavidades é 60 % maior do que o custo do molde de uma cavidade. Entretanto, se considerado a vida útil do mesmo, economiza-se, somente, R\$ 30.000,00 (R\$ 80.000,00 – R\$ 50.000,00) à favor do molde de uma cavidade.

- O **custo do processo de injeção** do molde de duas cavidades é 50 % menor do que o mesmo custo decorrente do molde de uma cavidade. Considerando o ciclo de vida do ferramental, tem-se uma economia de recursos da ordem de \$ 670.000,00 ((R\$ 0,308 – R\$ 0,174).5000000) a favor do molde de duas cavidades.

Em suma, a análise realizada mostra que, apesar do custo de aquisição do molde de duas cavidades ser mais elevado, o custo estimado do componente é menor. Este fato é decorrente da elevada produtividade deste molde de injeção.

A estimativa do custo de aquisição do molde de injeção é importante, principalmente, para fins de investimentos da empresa responsável pelo desenvolvimento do produto, devido ao elevado valor necessário para adquirir o mesmo. No desenvolvimento do molde, os riscos financeiros aumentam com o incremento do seu número de cavidades, pois maiores serão os prejuízos em caso de cancelamento da ordem de desenvolvimento, maiores serão as perdas envolvidas no caso da ocorrência de falhas, assim como maior será o capital inicial necessário para desenvolver o mesmo.

Além dos aspectos econômicos, os fatores técnicos também devem ser considerados na seleção do tipo de molde de injeção e na determinação do seu número de cavidades. Nesta análise, primeiramente, a equipe de projeto deve tomar conhecimento de que a carga de serviço da máquina injetora aumenta com o acréscimo do número de cavidades do molde, fato que requer uma injetora de maior capacidade. Do ponto de vista de projeto do produto, deseja-se que as cavidades sejam dimensionalmente idênticas. Na prática, tal perfeição não é obtida e, conseqüentemente, as moldagens de cada cavidade são ligeiramente diferentes. Na maioria dos casos, tais variações podem ser toleradas mas, caso seja necessária uma precisão excepcional para o componente, é preferível empregar um molde de uma única cavidade.

A estimativa do custo do molde de injeção na fase de projeto conceitual, permite identificar as partes do ferramental que apresentam custo elevado, antes que investimentos maiores na produção do produto sejam realizados. Assim, podem ser introduzidas, nesta fase alterações no projeto do componente e, conseqüentemente, do molde de injeção, reduzindo o tempo de desenvolvimento do produto e minimizando as perdas econômicas.

Moor (1997) coloca que existem, basicamente, cinco métodos básicos que permitem estimar o custo do molde injeção. Estes métodos estão sintetizados na tabela 3.5.

Tabela 3.5. Síntese dos métodos de estimativa de custos de componentes injetados.

Métodos	Princípio Básico	Vantagens	Limitações
Gráfico	O custo do molde pode ser estimado com base as informações sobre os elementos gráficos que compõem o mesmo.	A aplicação do método é relativamente simples, desde que se tenham disponíveis estes gráficos.	Sujeito a erros consideráveis, devido a estimativa do custo ser realizada de forma subjetiva.
Analítico	As características do processo de manufatura são associadas às características do molde e, assim são desenvolvidos modelos analíticos para estimar o custo.	O método é relativamente simples, desde que se tenham disponíveis modelos analíticos que relacionam características e custos do molde de injeção.	Dificuldade de desenvolver equações analíticas que relacionam características do molde de injeção e o seu custo.
Similaridade	O custo do molde novo pode ser estimado comparando suas características àquelas e ao custo do molde similar.	O desenvolvimento dos modelos de similaridade do produto são relativamente simples.	Pode ser aplicado somente quando se tem disponível informações de produtos (molde) similares.
Paramétrico	O custo do molde é estimado através do desenvolvimento de um modelo parametrizado de estimativa de custo.	O método é simples, desde que disponíveis modelos que relacionam características e custos do molde.	Requer a existência de informações disponíveis na empresa e na literatura especializada sobre os diferentes tipos de moldes.

A utilização de determinado método dependerá da natureza das informações disponíveis, da precisão do resultado que se deseja obter, dos esforços necessários e recursos disponíveis para realizar a estimativa do custo. Moor (1997) coloca que, a maioria dos métodos de estimativa de custo do molde busca combinar o método paramétrico e de similaridade. Nesta linha, Boothroyd *et al* (1994) desenvolveram um método de estimativa de custos do molde de injeção, o qual busca incorporar num único modelo, as características do método analítico, de similaridade e paramétrico. Neste método, a estimativa do custo do molde de injeção inicia-se com a determinação do custo da base e, segue com a determinação do custo das placas que contêm a cavidade do molde.

Considerando a abrangência desta Tese, a complexidade do problema de estimativa de custos de moldes de injeção, os aspectos descritos neste item, principalmente, o fato da influência maior sobre o custo do componente ser decorrente da produtividade do processo de injeção, ao invés do preço de aquisição do molde de injeção, o valor do custo do molde de injeção será considerado uma informação de entrada no processo de estimativa do custo do componente injetado.

### 3.6. Considerações Finais

Neste capítulo procurou-se apresentar os diversos aspectos que norteiam a estimativa de custos de componentes injetados, tais como, generalidades, conceitos fundamentais, classificação de conceitos, processo e métodos empregados para estimar o custo destes produtos.

Neste estudo, mostrou-se que, assim como para o processo de projeto, a estimativa de custo de componentes injetados caracteriza-se pela sua multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e complexidade. O resultado das colocações de Stewart (1996) e Liebers e Karls (1997) mostra a necessidade de tratar a estimativa de custos de componentes injetados de forma integrada ao processo de projeto, buscando incorporar e considerar informações dos distintos campos de conhecimento, segundo os preceitos da Engenharia Simultânea. Nesta análise, também mostrou-se que as decisões tomadas ao longo do processo de projeto influenciam, somente, o custo direto de componentes injetados e, portanto serão objeto e foco de estudo nesta Tese.

Sintetizando, na fase de preparação de informações de custo é importante determinar como as informações relacionadas aos campos de conhecimento podem influenciar o custo do produto. Com o intuito de auxiliar esta preparação, podem ser empregadas informações provenientes dos sistemas de gerenciamento e das estruturas de desdobramento de custos.

Em se tratando da fase de estimativa de custos, foram apresentados diversos métodos existentes para auxiliar a operacionalização desta atividade. Uma síntese destacando as características, vantagens e limitações dos métodos estudados será apresentada na tabela 3.6.

As informações nela constantes mostram que a principal limitação dos métodos estudados concentra-se na dificuldade de estimar o custo de componentes, levando em conta o elevado nível de abstração e o baixo número de informações disponíveis na fase de projeto conceitual. Portanto, observa-se a necessidade de concentrar esforços na proposição de uma metodologia (processo e ferramentas) que apoie a estimativa de custos de componentes injetados no início do processo de projeto, principalmente, na fase informacional e conceitual, segundo os preceitos descritos neste capítulo.

Tabela 3.6. Síntese dos métodos de estimativa de custos de componentes injetados.

Métodos de Estimativa	Princípio Básico	Vantagens	Limitações	Referência
<b>Estimativa do Custo do Material de Injeção</b>				
Análítico	Estimar o custo de material a partir do volume de material.	A determinação do volume do componente é uma tarefa relativamente simples, desde que sejam conhecidas as dimensões do mesmo.	A dificuldade inerente de realizar a estimativa do volume do componente na fase de projeto conceitual.	Rosato e Rosato (1995)
<b>Estimativa do Custo do Processo de Injeção</b>				
Análítico	Estimar o custo de processo de injeção a partir de características do componente e propriedades do processo de injeção.	A determinação de características do componente é uma tarefa relativamente simples, desde que sejam conhecidas as dimensões do mesmo.	A dificuldade inerente de realizar a estimativa do volume do componente na fase de projeto conceitual.	Boothroyd et al (1994), Belofsky (1995), Malloy (1994) e Rosato e Rosato (1995)
Gráfico	Estimar o custo do processo de injeção a partir de características do componente, propriedades do processo de injeção e empregando gráficos específicos.	As características do componente necessárias para realizar a estimativa são fáceis de serem obtidos.	Devem ser elaborados gráficos para cada geometria do produto, tipo de material e/ou condições do processo de injeção.	Belofsky (1995)
Similaridade	Estimar o custo do componente novo com base em informações de componentes similares.	O desenvolvimento dos modelos de similaridade do produto são relativamente simples.	Pode ser aplicado somente quando se tem disponível informações de produtos similares.	Pahl e Beitz (1995)

## CAPÍTULO 4. METODOLOGIA DE PROJETO E ESTIMATIVA DE CUSTOS DE COMPONENTES INJETADOS

### 4.1. Introdução

Neste capítulo será apresentada a proposição da metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados, objeto de desenvolvimento desta Tese. Esta proposta está baseada em estudos realizados na literatura especializada, em observações de práticas de projeto, assim como, em resultado de contato com especialistas da área.

Esta proposição busca descrever as relações entre os campos de conhecimento envolvidos no projeto de componentes injetados, satisfazer as necessidades do setor, conforme descrito no Capítulo 1, e tratar o desenvolvimento destes produtos de forma integrada, segundo a filosofia da Engenharia Simultânea.

### 4.2. Metodologia Proposta

A apresentação da metodologia proposta será realizada através descrição dos seus processos, ferramentas e informações de projeto. Para auxiliar a apresentação desta metodologia será utilizada a simbologia ilustrada na figura 4.1, sugerida por Maribondo (2000).


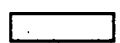

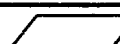
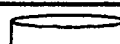
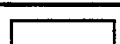
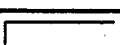

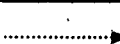
SÍMBOLOS	Significado dos Símbolos no Processo de Projeto
	Início ou fim de um processo.
	Processo, ação ou atividade a ser executada.
	Avaliação dentro do processo de projeto.
	Indica entrada e saída de informações pré-definidas.
	Indica armazenamento de informações.
	Indica documento gerado.
	Indica uma ferramenta de projeto a ser empregada
	Indica a sequência do processo de projeto.
	Indica um retorno dentro do processo de projeto.

Figura 4.1. Simbologia empregada na descrição da metodologia (Maribondo, 2000).

— Para iniciar a proposição da metodologia proposta é conveniente visualizar, esquematicamente, conforme ilustrado na figura 4.2, a relação entre as fases, etapas, campos de

conhecimento e ferramentas de projeto constituintes da mesma. O fluxograma detalhado da metodologia proposta está ilustrado no Anexo A desta Tese.

Para cada fase da metodologia proposta está associado um conjunto de etapas e ferramentas. Estas ferramentas são o "meio" para tratar as informações de projeto de forma integrada e sistematizada, possibilitando que o desenvolvimento do componente injetado ocorra segundo as características, as práticas e os preceitos da Engenharia Simultânea.

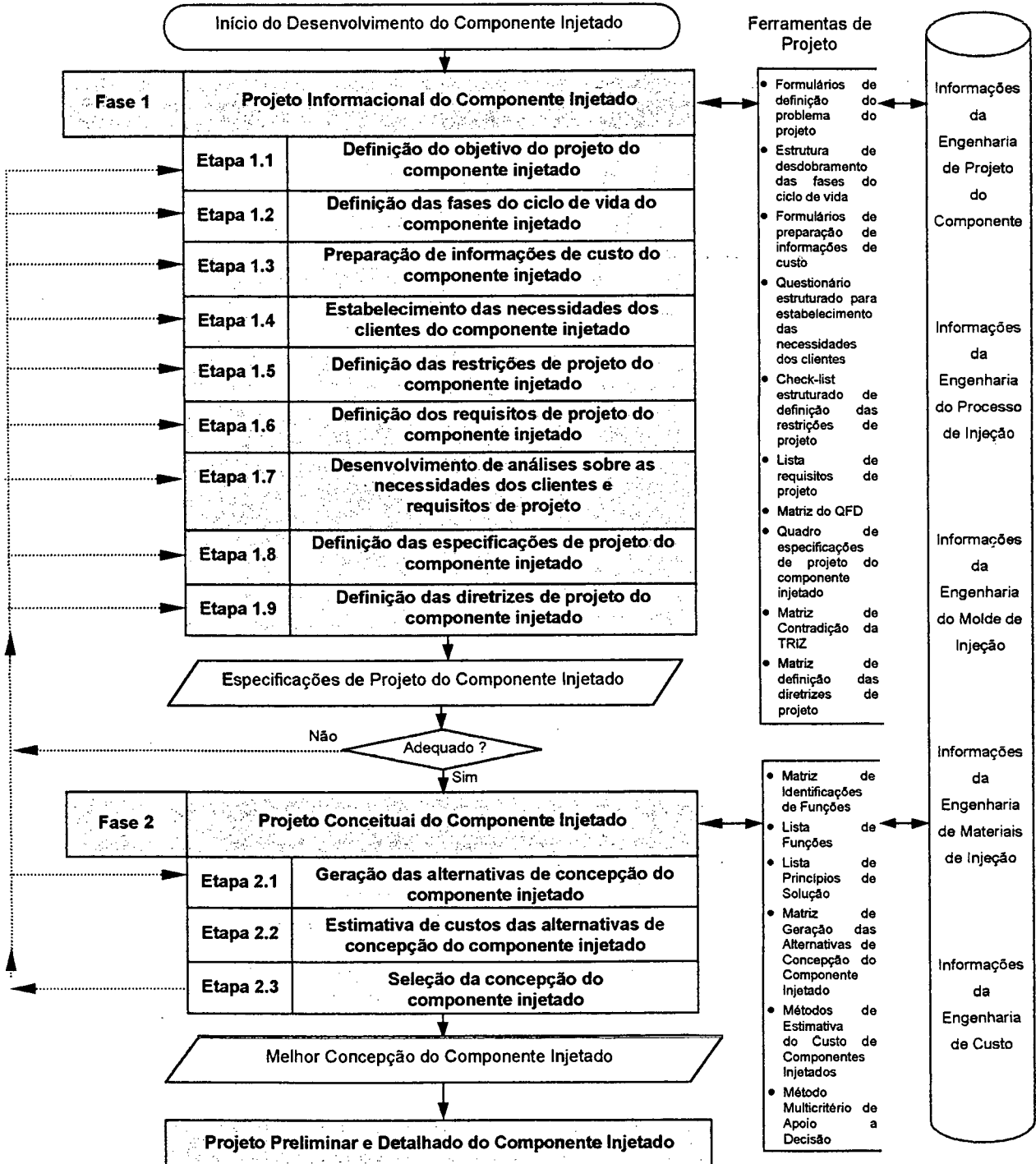


Figura 4.2. Metodologia proposta de projeto e estimativa de custos de componentes injetados.

Na fase de projeto informacional são preparadas as informações de projeto e de custo do produto. Em outras palavras, são definidas as especificações de projeto do componente injetado as quais constituem uma base de informações para auxiliar a geração, a estimativa de custo e a seleção das alternativas de concepção de componentes injetados.

Em decorrência das características do desenvolvimento de componentes injetados e, principalmente, do fato do projeto deste tipo de produto ocorrer considerando o conhecimento tácito e explícito de especialistas da área, conforme descrito nos capítulos iniciais desta Tese, propõe-se um novo conceito para especificações de projeto de componentes injetados.

Desta forma, como ilustrado na figura 4.3, o conceito de **especificações de projeto** passa a ser entendido como sendo "**restrições de projeto, informações de custos, estratégias, regras, restrições e princípios de solução para o desenvolvimento de componentes injetados.**" Como consequência, podem ser empregadas de forma mais eficaz na geração, estimativa de custos e seleção da concepção do componente injetado, uma vez que tornou-se possível agregar o conhecimento de especialistas obtendo informações de qualidade superior<sup>1</sup>.

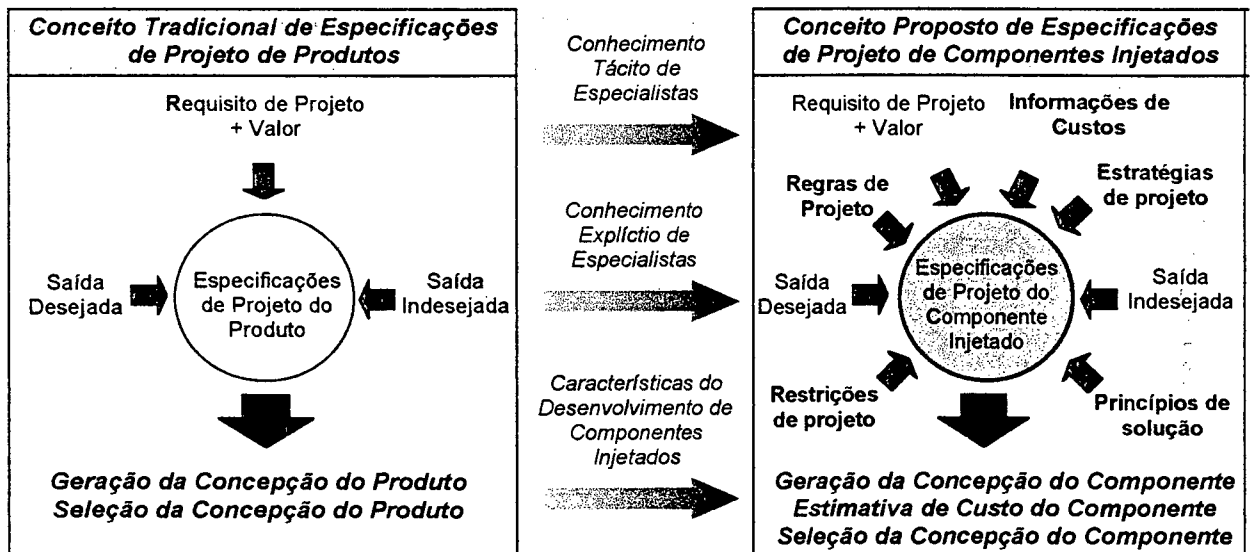


Figura 4.3. Conceito proposto de especificações de projeto do componente injetado.

Com relação às regras e às estratégias de projeto de componentes injetados, a sua introdução no conceito de especificações busca incorporar o conhecimento tácito e explícito de especialistas da área, permitindo que sejam consideradas as melhores práticas desta atividade. A estruturação, a organização e a consideração do conhecimento destes especialistas têm o objetivo de minimizar e, se possível, eliminar a interdependência e dependência entre os requisitos de projeto, através da busca de uma "solução ideal" ao invés de uma solução de compromisso para projeto.

<sup>1</sup> Stair (1998) apud Guerrero (2001) define as seguintes características das informações de qualidade: i) **Precisa**: aquela que não contém erros; ii) **Completa**: contém todos os fatos importantes que compõem seu significado; iii) **Econômica**: o baixo custo da informação é um fator importante para a sua qualidade; iv) **Flexível**: pode ser utilizada para diversas finalidades, ou seja, quanto maior o número de decisões que podem ser tomadas com uma determinada informação, maior é sua flexibilidade; v) **Confiável**: a confiabilidade de uma informação é um indicador de sua qualidade. Na maioria dos casos a confiabilidade está associada à fonte da informação; vi) **Relevante**: toda informação é relevante pela sua definição, ou seja, é um dado que faz a diferença; vii) **Simple**: deve estar limitada aos aspectos essenciais, sem complexidade desnecessária; viii) **Em tempo**: deve estar disponível ou ser enviada no tempo certo; ix) **Verificável**: deve poder ser checada para saber se está correta.

A introdução do conceito de princípios de solução de componentes injetados busca criar "estímulos visuais" à equipe de projeto, visando facilitar a geração de alternativas de concepção.

A adoção do conceito de restrições de projeto está associada ao fato do desenvolvimento de componentes injetados depender de informações relativas ao sistema técnico, ao processo, ao molde, ao material de injeção e a custo. Neste momento, estas restrições podem ser entendidas como sendo informações que devem ser, necessariamente, contempladas no projeto do componente.

Em termos técnicos, a fase de projeto informacional, segundo a metodologia proposta, envolve as etapas de contratação do projeto, definição do ciclo de vida, levantamento das necessidades dos clientes, definição das restrições de projeto, estabelecimento dos requisitos de projeto, desenvolvimento da casa da qualidade do QFD e a definição das diretrizes de projeto do componente injetado. Sob o enfoque econômico, a fase de projeto informacional envolve as etapas de levantamento de informações de custo de componente similares, de definição do custo-meta do componente em desenvolvimento e de estabelecimento da estrutura de desdobramento do custo do ciclo de vida do componente.

Para auxiliar a execução destas etapas é proposto um conjunto de ferramentas de projeto as quais, buscam tratar as informações provenientes dos clientes e do mercado e o conhecimento de especialistas de forma integrada, segundo os preceitos da Engenharia Simultânea.

A **fase de projeto conceitual**, segundo a metodologia proposta, compreende as etapas de geração de alternativas de concepção, estimativa do custo das concepções e seleção da melhor concepção do componente injetado.

Nesta fase, como ilustrado na figura 4.4, a principal entrada de informações são especificações de projeto do componente injetado. A diferença da metodologia proposta em relação àquelas estudadas no Capítulo 2, envolve o apoio efetivo ao processo de geração de alternativas de concepção. E, para auxiliar a geração de alternativas de concepção propõe-se o emprego de um conjunto de ferramentas de projeto que buscam, a partir das especificações de projeto, identificar as funções do componente injetado, associar princípios de solução e gerar alternativas de concepção do componente injetado.

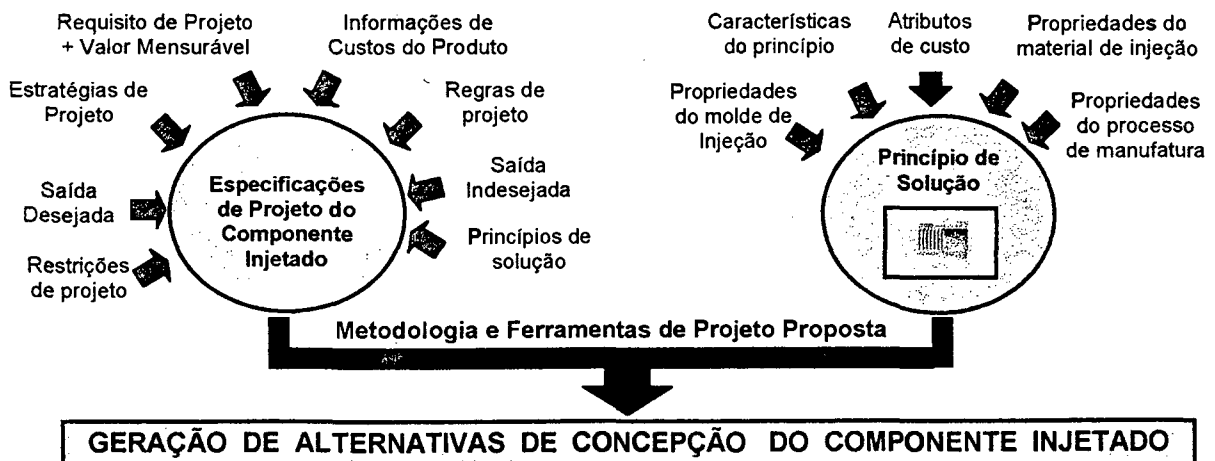


Figura 4.4. Abordagem proposta para geração de alternativas de concepção do componente injetado.



Nesta proposição, a concepção do componente injetado é composta por um conjunto de princípios de solução. Por sua vez, um princípio de solução pode ser entendido como sendo uma região do componente injetado, representada através de uma forma básica e seu respectivo conjunto de atributos. Os atributos são informações associadas aos campos de conhecimento envolvido no projeto deste produto, as quais buscam caracterizar o componente injetado e representar as características do princípio de solução, as propriedades do processo, do molde e do material de injeção, além de informações de custos. Este conceito está exemplificado na figura 4.5.

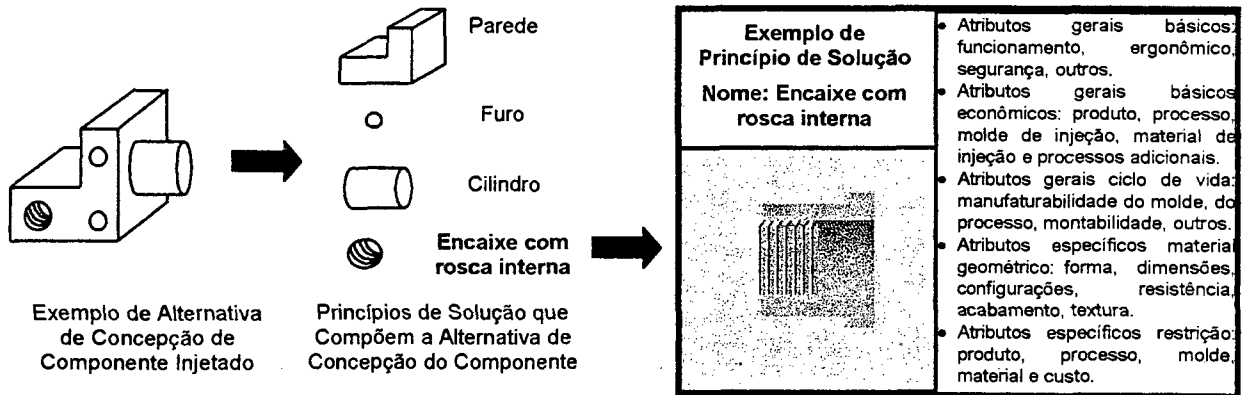


Figura 4.5. Exemplo de alternativa de concepção e princípio de solução de componentes injetados.

Na segunda etapa do projeto conceitual, considerando as alternativas de concepção geradas, segundo a metodologia proposta, deve ser realizada a estimativa de custos das mesmas.

Na abordagem proposta, considerando como informações de entrada, os dados de custos de produtos similares àquele em desenvolvimento, obtidas na fase de preparação de informações de custo e características das próprias alternativas de concepção, empregando-se métodos de similaridade de estimativa de custo de componentes injetados são determinados os custos das alternativas de concepção. A similaridade entre a alternativa de concepção e os componentes pode ser estabelecida comparando-se suas formas, tamanhos, volumes, características da injetora, do molde e do material empregados na manufatura dos mesmos. As informações de entrada, denominados de direcionadores de custos, são compostas pelas características das concepções, propriedades do processo, do molde e do material de injeção, além de informações de custo do produto similar que auxiliam a estimar o custo do componente. Esta proposição está ilustrada de forma esquemática na figura 4.6.

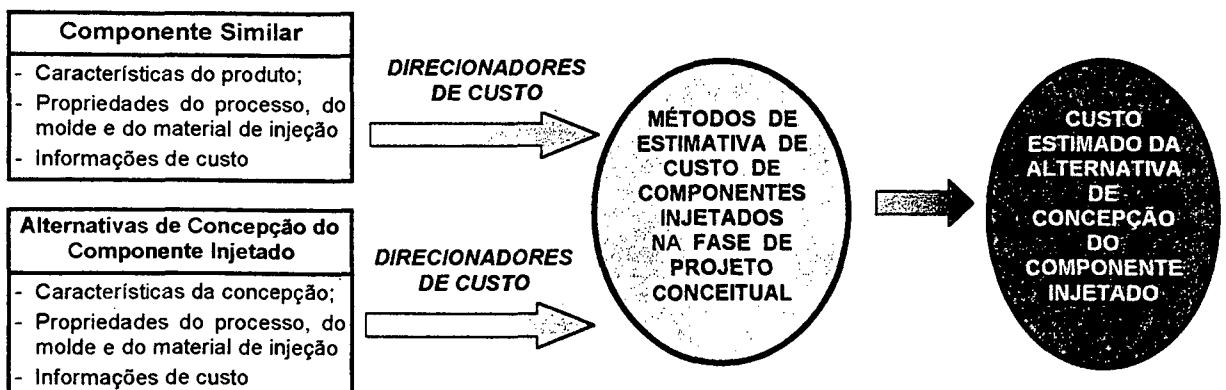


Figura 4.6. Princípio do processo de estimativa de custos de componentes injetados.

A última etapa da fase de projeto conceitual, segundo a metodologia proposta, envolve a seleção da alternativa de concepção. Na metodologia proposta, a seleção da concepção do produto é realizada considerando como informações de entrada, as especificações de projeto do componente injetado, os atributos das alternativas de concepção e o valor de custo estimado das mesmas

Para auxiliar a operacionalização desta etapa propõe-se o emprego de um método multicritério de apoio à decisão, de modo a permitir avaliar critérios subjetivos de forma mensurável, considerar aspectos técnicos e econômicos simultaneamente e levar em conta o valor do custo-meta do produto e as abordagens de custo.

A seguir, com base nestas proposições será detalhada a fase informacional da metodologia.

### 4.3. Fase de Projeto Informacional do Componente Injetado

Na fase de projeto informacional são definidas as especificações de projeto do componente injetado por meio da sistemática proposta e ilustrada na figura 4.7, a qual é composta por nove etapas e pelo conjunto de ferramentas propostas para auxiliar a operacionalização destas etapas.

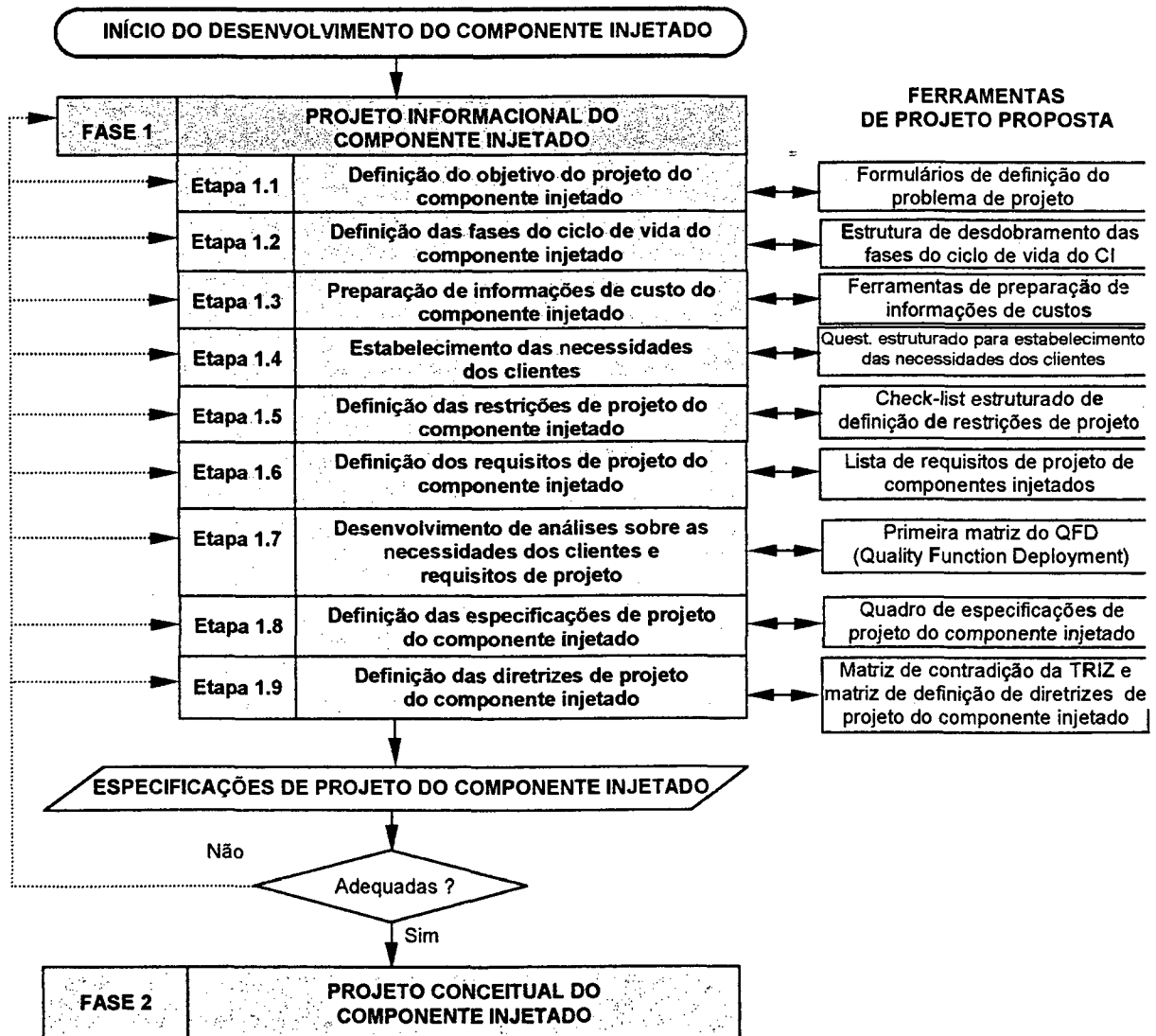


Figura 4.7. Fase de projeto informacional da metodologia proposta.

### 4.3.1. ETAPA 1.1: Definição do Objetivo do Projeto do Componente Injetado

Nesta etapa inicial, a equipe de projeto busca obter um entendimento técnico do problema de projeto do componente injetado. Este entendimento, como ilustrado na figura 4.8, envolve as tarefas de identificação dos responsáveis envolvidos no desenvolvimento do produto, identificação de oportunidades de negócio e, finalmente, a definição do objetivo do projeto do componente injetado.

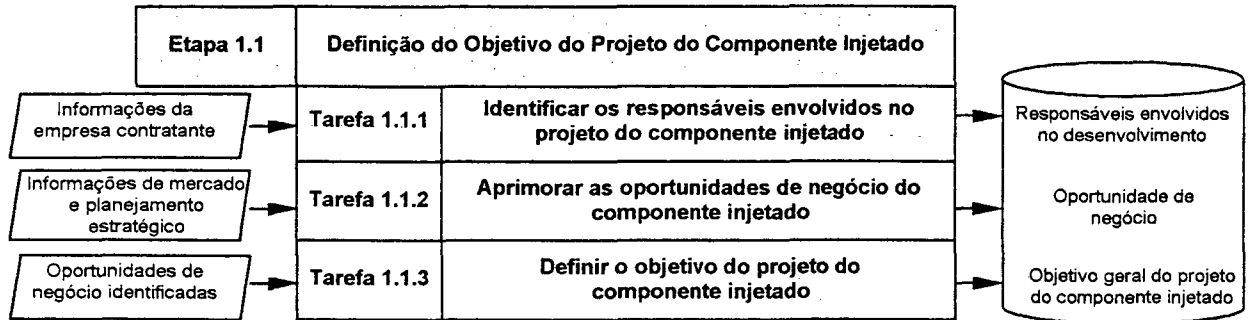


Figura 4.8. Processo de definição do objetivo de projeto do componente injetado.

Para auxiliar a execução desta etapa propõe-se o emprego da ferramenta intitulada "Formulários de Definição do Problema de Projeto", o qual é composto pela ficha de identificação dos responsáveis envolvidos no projeto, questionário de identificação de oportunidades de negócio e ficha de definição do objetivo do projeto do componente injetado. Estas ferramentas estão detalhadas no Anexo B. Na sequência, cada uma das tarefas descritas será detalhada.

- **Tarefa 1.1.1. Identificar os responsáveis envolvidos no projeto do componente injetado:** é importante para se conhecer a(s) fonte(s) das informações, técnicas e econômicas, necessárias para se projetar o componente injetado. Dependendo da tipologia do projeto em questão, estas fontes podem ser coordenadores de áreas ou distintas empresas, isto é, especialistas de cada área do conhecimento envolvido no projeto.

- **Tarefa 1.1.2. Aprimorar as oportunidades de negócio:** realizada considerando as informações provenientes do mercado e resultantes do planejamento estratégico da empresa, esta identificação constitui-se de um conjunto de questões relativas ao ciclo de vida do componente injetado, as quais permitem entender inicialmente o problema de projeto e, identificar possíveis gargalos (técnicos e econômicos) associados ao projeto do produto. No Questionário de Definição de Oportunidades do Negócio é apresentado um conjunto de questões de ordem técnica e econômica, que foram propostas com base no trabalho de Maribondo (2000) e Baxter (1998), que auxiliam a verificar se distintos aspectos foram levantados no estudo prévio do projeto do produto.

- **Tarefa 1.1.3. Definição do objetivo do projeto do componente injetado:** considerando as informações obtidas nas tarefas anteriores, a equipe de projeto deve registrar o seu entendimento sobre o projeto do componente injetado, o qual deve expressar "o que" o contratante deseja com o desenvolvimento deste produto. Este entendimento envolve o registro da solicitação de projeto, da produção estimada aproximada por mês de produtos, do tipo de material e máquina injetora, assim como, do investimento disponível para aquisição do molde de injeção e, principalmente, a definição do objetivo do projeto.

É importante que a declaração do objetivo do projeto seja realizada de forma clara e precisa, de modo que as pessoas envolvidas no desenvolvimento do produto tenham o mesmo entendimento sobre o problema a ser resolvido.

#### 4.3.2. ETAPA 1.2: Definição das Fases do Ciclo de Vida do Componente Injetado

Nesta etapa, a equipe de projeto, levando em conta os resultados obtidos na Etapa 1.1, deve definir as fases do ciclo de vida do componente injetado. Esta definição orienta a execução das demais etapas do projeto do componente, pois a equipe de projeto tem informações sobre os elementos atuantes, funções, atividades e aspectos a serem considerados em cada fase do ciclo de vida definida. Em outras palavras, a equipe de projeto tem conhecimento de distintos aspectos que norteiam o desenvolvimento do componente injetado, desde o seu "nascimento" até a sua "morte".

Para definir as fases do ciclo de vida, propõe-se as tarefas descritas na figura 4.9 e, para auxiliar a operacionalização desta etapa propõe-se o emprego da ferramenta intitulada "**Estrutura de Desdobramento da Fases do Ciclo de Vida de Componentes Injetados**", detalhada no Anexo C.

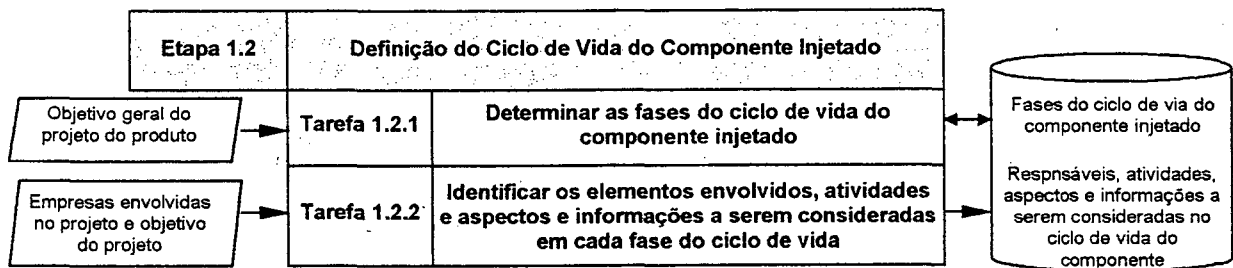


Figura 4.9. Processo de definição das fases do ciclo de vida do componente injetado.

A seguir, estas tarefas serão detalhadas.

- **Tarefa 1.2.1: Determinar as fases do ciclo de vida do componente injetado:** considerando uma estrutura do ciclo de vida de componentes injetados, previamente definida, a equipe de projeto deve selecionar as fases que o componente em desenvolvimento passará desde o surgimento da necessidade de mercado até a sua retirada.

A estrutura do ciclo de vida de componentes injetados, previamente definida, está descrita na tabela 4.1 e foi proposta com base nos estudos de Blanchard e Fabricky (1990), Back (1983), Pahl e Beitz (1996) e Maribondo (2000). Na coluna da esquerda são descritas as fases do ciclo de vida do componente injetado. Na coluna central estão listados elementos, clientes internos e externos, envolvidos no desenvolvimento do produto. Na coluna da direita estão apresentadas as atividades, aspectos e informações a serem tratados em cada fase do ciclo de vida.

- **Tarefa 1.2.2: Identificar os elementos envolvidos, atividades, aspectos e informações a serem consideradas em cada fase do ciclo de vida do componente injetado:** como o desenvolvimento do componente injetado pode assumir diferentes tipologias é importante identificar os elementos, isto é, os clientes internos, externos e finais que atuam em cada fase do seu ciclo de vida. Estes clientes internos e externos são os campos de conhecimentos envolvidos no desenvolvimento do componente. Os clientes finais são os usuários do produto.

Para auxiliar a definição destas informações, considerando a estrutura de desdobramento do ciclo de vida previamente proposta, propõe-se o emprego da ficha de identificação dos clientes atuantes em cada fase do ciclo de vida e da ficha de identificação das atividades, informações e aspectos a serem considerados em cada fase do ciclo de vida. Estas fichas estão representadas, respectivamente, nas figuras C.2 e C.3 do Anexo C.

Além disto, propõem-se que sejam definidas as atividades, aspectos e informações a serem consideradas em cada fase do ciclo de vida do componente. Conseqüentemente, a equipe de projeto terá conhecimento das informações a serem buscadas, no local exato e no momento adequado.

Tabela 4.1. Estrutura de desdobramento do ciclo de vida de componentes injetados, previamente definida - Fases do ciclo de vida, elementos envolvidos, aspectos, atividades e informações.

Fases do Ciclo de Vida		Elementos atuantes (Clientes Internos, Externos e Finais)	Aspectos, Atividades e Informações a serem consideradas
<b>Desenvolvimento do componente injetado</b>		Engenharia de projeto do componente injetado e clientes finais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planejamento do desenvolvimento (análise de mercado, estudo de viabilidade, definição do conceito, definição do lucro e definição do preço de venda);</li> <li>Definição do custo meta</li> <li>Projeto o componente injeto (projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e detalhado do produto);</li> </ul>
<b>Desenvolvimento do molde de injeção</b>		Engenharia do molde de injeção	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desenvolvimento do molde de injeção (planejamento do desenvolvimento, projeto do molde de injeção);</li> <li>Manufaturar o molde de injeção;</li> <li>Teste e alteração do molde de injeção</li> </ul>
<b>Desenvolvimento do processo de injeção</b>	<b>Processo de Injeção</b>	Engenharia do processo de injeção	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planejamento do processo de injeção</li> <li>Produção.</li> </ul>
		Engenharia de materiais de injeção	
	<b>Montagem</b>	Engenharia de projeto do componente injetado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Montar o componente no sistema, quando for o caso;</li> <li>Encaixe e interação com os demais componentes do produto, ferramentas de auxílio a montagem, entre outros;</li> </ul>
	<b>Teste</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Testar a qualidade do componente;</li> <li>Padrões, normas, instrumentos de medição, entre outros;</li> </ul>
	<b>Armazenamento</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Armazenar o componente;</li> <li>Local de armazenamento, capacidade máxima de empilhamento, condições de armazenamento, entre outros;</li> </ul>
	<b>Transporte / Distribuição</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Transportar e distribuir o componente;</li> <li>Peso e volume da embalagem, veículos a transportar e distribuir, temperatura e umidade do transporte, entre outros;</li> </ul>
	<b>Venda</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Vender o componente;</li> <li>Marketing, preço de venda, entrega do produto, garantia, entre outros;</li> </ul>
<b>Utilização</b>	Engenharia de projeto do componente injetado e clientes finais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar o componente;</li> <li>Modo e instruções de utilização, identificação, segurança, entre outros;</li> </ul>	
<b>Descarte</b>	Engenharia de projeto do componente injetado e clientes finais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desmontar e reciclar o componente;</li> <li>Orientação para desmontagem, materiais empregados, identificação do material e outros;</li> </ul>	
	Engenharia de projeto do componente injetado e clientes finais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Depositar o componente;</li> <li>Coleta do componente, rota e locais de descarga, forma de disposição e outros;</li> </ul>	

### 4.3.3. ETAPA 1.3: Preparação de Informações de Custo do Componente Injetado

No projeto de componentes injetados, o custo deve ser um parâmetro ativo, como um parâmetro de projeto qualquer, e não um fator resultante deste. Como colocado no Capítulo 3, no início do processo de projeto, deve haver uma preparação de informações de custo do componente injetado visando viabilizar a sua análise, estimativa e avaliação durante o projeto do produto.

Segundo a metodologia proposta, a preparação de informações de custo envolve as tarefas descritas no fluxograma representado na figura 4.10.

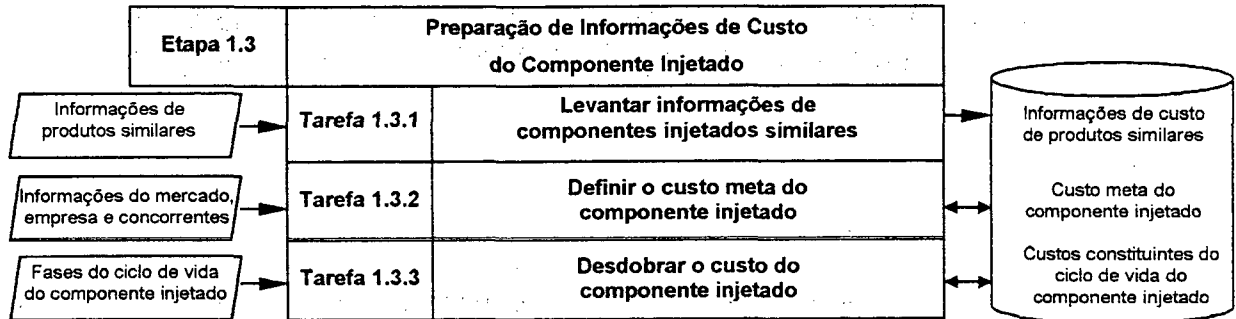


Figura 4.10. Processo de preparação de informações de custo do componente injetado.

Para auxiliar a execução desta etapa propõe-se o emprego da ferramenta denominada "**Ferramenta de Preparação de Informações de Custo**", composta pelas ferramentas de levantamento de informações de produtos similares, definição do custo meta do componente injetado e estrutura de desdobramento do custo do ciclo de vida. Estas ferramentas são descritas no Anexo D. A seguir, são detalhadas as tarefas propostas para preparar informações de custo.

- **Tarefa 1.3.1: Levantar informações de componentes injetados similares:** a equipe de projeto deve gerar uma base consistente de informações sobre características de produtos similares àquele em desenvolvimento. Estas informações auxiliam a estimativa do custo do componente injetado em desenvolvimento, caso seja empregado o método da similaridade. Além disto, contribuem para definir o custo meta do componente injetado.

As informações levantadas sobre os produtos similares, envolvem: i) características do produto - especificação do componente, número de componentes produzidos por hora, largura máxima, comprimento e altura máxima, espessura máxima da parede, tolerância, acabamento, custo unitário direto, função e procedência do produto; ii) propriedades do material de injeção - especificação, temperatura do molde e de extração do componente e custo de material por unidade de peso; iii) propriedades do molde de injeção - especificação do molde e do porta molde, número de placas, tipo de injeção, número de cavidade e gavetas, largura e comprimento do molde, vida útil, custo da base e das cavidades do molde; e, iv) propriedades do processo de injeção - especificação da máquina, força de fechamento, pressão e temperatura de injeção, tempos de set-up, injeção, resfriamento e ciclo seco, custo direto da máquina por hora, processos adicionais de manufatura, custo direto por hora dos processos adicionais de manufatura e volume de produção.

É importante salienta que no caso dos produtos similares oriundos da concorrência, algumas destas informações podem estar indisponíveis. Nestes casos, a estimativa de custo com base nestes produtos, pode tornar-se uma atividade complexa.

- **Tarefa 1.3.2: Definir o custo meta do componente injetado:** é uma tarefa complexa, pois envolve a consideração de um grande número de variáveis relacionadas ao mercado, as políticas governamentais e às empresas envolvidas no seu desenvolvimento. Nesta proposição, devido a estes fatores, o valor do custo meta do componente injetado será considerado como sendo uma informação de entrada de projeto. Entretanto, considerando os estudos elaborados por Mondem (1999), foram desenvolvidos recursos para auxiliar a apresentação, organização e sistematização das informações necessárias para determinar o custo meta.

Nesta proposição, foram providos meios para se determinar o preço de venda e o custo meta de componentes injetados considerando o método baseado no mercado e o método baseado no custo, os quais foram descritos no item 3.4.1 do Capítulo 3.

- **Tarefa 1.3.3: Desdobrar o custo do componente injetado:** neste momento, a equipe de projeto deve estabelecer uma estrutura de custo para o componente a ser projetado, buscando fornecer uma visão global dos departamentos e atividades das empresas que influenciam os custos diretos e indiretos do componente injetado.

Como descrito no item 3.4 do Capítulo 3, as decisões tomadas nas empresas ocorrem, basicamente, em âmbito administrativo e de projeto. Segundo o contexto desta Tese, tem-se especial interesse pelas decisões tomadas ao longo do processo de projeto, pois influenciam os custos diretos do produto (por exemplo, custos de material, manufatura, entre outros). Assim, considerando cada fase do ciclo de vida determinada na tarefa 1.2.1, propõe-se a classificação das mesmas segundo a facilidade de atribuição dos custos, isto é, os custos destas fases são classificados em custos diretos e indiretos. Como resultado, tem-se os custos do ciclo de vida do componente injetado desdobrados. Nesta proposição, o custo do molde de injeção será considerado como custo direto do componente.

Ao final desta tarefa, tem-se uma lista de custos que compõem o custo do componente injetado, possibilitando que, posteriormente, o mesmo seja estimado, calculado e minimizado. Com o objetivo de considerar, de forma mais efetiva, os custos diretos do componente injetado no processo de projeto, propõe-se que os mesmos sejam considerados nos requisitos de projeto da Primeira Matriz do QFD. Esta abordagem será detalhada na tarefa 1.4.2 da metodologia proposta.

Com a conclusão desta etapa, têm-se disponíveis informações que auxiliam a condução do projeto do componente injetado, considerando aspectos econômicos e fornecem subsídios para se realizar a estimativa de custo do componente, considerando o elevado grau de abstração e o baixo número de informações disponíveis sobre o produto no início do projeto do produto.

#### **4.3.4. ETAPA 1.4: Estabelecimento das Necessidades dos Clientes**

Segundo a metodologia proposta, neste momento devem ser identificadas as necessidades dos clientes que, segundo Fonseca (2000) são aquelas expressões espontâneas dos usuários potenciais dos produtos, ou das distintas categorias de clientes, relacionadas com o projeto ou produto. Estas necessidades também podem ser interpretadas como sendo as manifestações, sentimentos e expressões dos clientes internos e externos, que devem ser contempladas no projeto do produto.

A proposição das tarefas para auxiliar o estabelecimento das necessidades dos cliente, ilustradas na figura 4.11, foram elaboradas com base no trabalho de Fonseca (2000), que desenvolveu estudos dedicados à realização desta atividade.

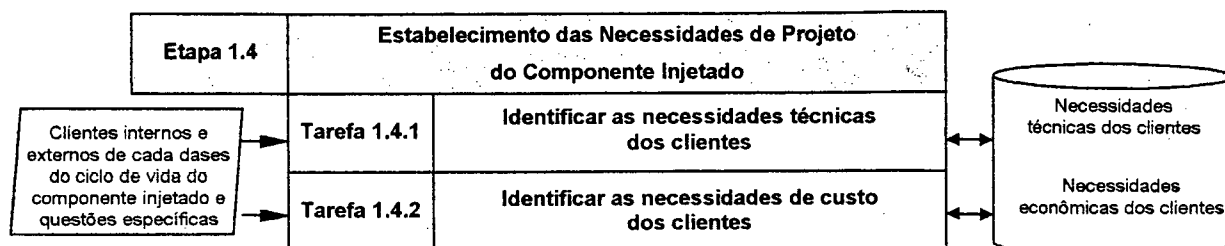


Figura 4.11. Processo de levantamento das necessidades de projeto do componente injetado.

Para definir as necessidades dos clientes, podem ser empregadas ferramentas, tais como, brainstorming, cenários, check-list e outras. No sentido de contemplar as características associadas ao desenvolvimento de componentes injetados e considerando os objetivos desta Tese, elaborou-se uma ferramenta denominada “**Questionário Estruturado para Estabelecimento das Necessidades dos Clientes no Projeto de Componentes Injetados**”, detalhada no Anexo E.

Nesta ferramenta, as questões são apresentadas conforme uma classificação proposta para a estrutura de atributos dos componentes injetados, a qual está apresentada na tabela E.2. Portanto, são levantadas questões referentes a aspectos de: funcionamento, ergonomia, estética, segurança, confiabilidade, patentes, normalização, modularidade, impacto ambiental, custos do produto, de material, de processo de injeção, de molde de injeção, de processos de manufatura adicionais, manufatura do componente, montagem, teste, embalagem, transporte, armazenagem, uso, reciclagem, descarte, forma, configurações, dimensões, resistência, acabamento, textura, fixações, material, cor, peso, forças, fluxo de material, restrições do sistema, restrições do processo, restrições do molde, restrições do material e restrições do custo do componente injetado.

As tarefas propostas para levantar as necessidades dos clientes são descritas a seguir.

- **Tarefa 1.4.1. Identificar as necessidades técnicas dos clientes envolvidos no desenvolvimento do componente injetado:** os clientes internos e externos de cada fase do ciclo de vida do componente injetado, informações definidas na tarefa 1.2.2, devem responder as questões disponíveis na ferramenta proposta, procurando declarar as suas manifestações, sentimentos e expressões de ordem técnica sobre o tópico relacionado.

Como resultado, tem-se um conjunto de informações que expressam "o que" os clientes desejam, tecnicamente, no projeto. São exemplos dessas informações: ter baixo peso, ter acabamento superficial de boa qualidade, ter ciclo de injeção curto, ser injetado em baixa pressão, apresentar montagem rápida, apresentar fácil manutenção, utilizar material de baixa viscosidade, possuir manipulação segura, entre outras.

- **Tarefa 1.4.2. Identificar as necessidades econômicas dos clientes envolvidos no desenvolvimento do componente injetado:** os clientes internos e externos devem procurar responder as questões disponíveis na ferramenta proposta, procurando declarar as suas manifestações, sentimentos e expressões de ordem econômica sobre o tópico relacionado.



Ao final tem-se um conjunto de informações que expressam "o que" os clientes desejam do projeto do componente em termos econômicos. São exemplos destas informações: possuir baixo custo de aquisição, ter baixo custo de montagem, ter baixo custo de set-up, ter baixo custo de operação, possuir baixo custo de armazenamento, baixo custo de preparação para injeção, ter baixo custo de reciclagem, entre outras.

Segundo Ogliari (1999), como descrito na tabela 4.2, a aplicação da ferramenta pode ser realizada de diversas maneiras dependendo da natureza dos clientes e do local onde se encontram.

Tabela 4.2. Situações dos respondentes e meios de aplicação dos questionários (Ogliari, 1999).

Situação dos respondentes	Meios de aplicação dos questionários
Profissionais da equipe de projeto e encontram-se num mesmo local (por exemplo, sala de reunião).	Direta (oral) através de um profissional responsável, indireta (escrita) através de documentação e on-line por meio de ferramentas computacionais.
Profissionais da equipe de projeto, mas se encontram em locais distintos da empresa.	Direta (oral) através de telefonemas, indireta (escrita) por meio de documentos, memorando ou e-mails e on-line por meio de ferramentas computacionais compartilhadas.
Profissionais que participam do desenvolvimento do produto, mas se encontram em locais fora dos domínios físicos da empresa.	Direta (oral) através de telefonemas, indireta (escrita) por cartas, faxes ou e-mails e on-line por meio de ferramentas computacionais compartilhadas.
Pessoas leigas em assuntos técnicos, têm interesses ou influências sobre o projeto e encontram-se fora dos domínios físicos da empresa.	Direta (oral) por meio de pesquisa de mercado conduzida pela equipe de marketing da empresa, vinculada (oral ou escrita) associada a demonstração de produtos.

Nos atributos do componentes injetados foi identificada uma categoria de informações denominada de "atributos de restrição". Por se tratar de um tipo de informação especial, segundo a abordagem desta Tese, trataremos deste assunto a seguir.

#### 4.3.5. ETAPA 1.5: Definição das Restrições de Projeto do Componente injetado

A necessidade da proposição desta etapa surgiu da observação de projeto de componentes injetados. Nestas observações, notou-se que o desenvolvimento de componentes injetados, na maioria dos casos, está associado ao projeto do sistema técnico, além de depender de limitações técnicas e econômicas associadas ao processo, ao molde e ao material de injeção.

Para considerar estas informações na definição das especificações de projeto, introduziu-se o conceito de "restrições de projeto do componente injetado". Estas restrições podem ser entendidas como sendo "necessidades dos clientes de projeto que devem ser, necessariamente, contempladas no desenvolvimento do componente injetado".

Para sistematizar e organizar a definição destas restrições, como ilustrado na figura 4.12, sugere-se a classificação das restrições de projeto de componentes injetados em: i) restrições espaciais, geométricas e funcionais associadas ao sistema técnico; ii) restrições do processo de injeção; iii) restrições do molde; iv) restrições do material de injeção; e, v) restrições de custos.

As restrições espaciais associadas ao sistema técnico referem-se, principalmente, às dimensões do sistema que devem ser contempladas no projeto do componente injetado. Assim, por exemplo, considerando o projeto de um sistema de transporte de material, as dimensões previstas

para a bandeja de alimentação de material de plástico injetado são de 25 mm de altura, 150 mm de comprimento e 900 mm de largura. Essas dimensões devem, obrigatoriamente, serem respeitadas no projeto do componente injetado.

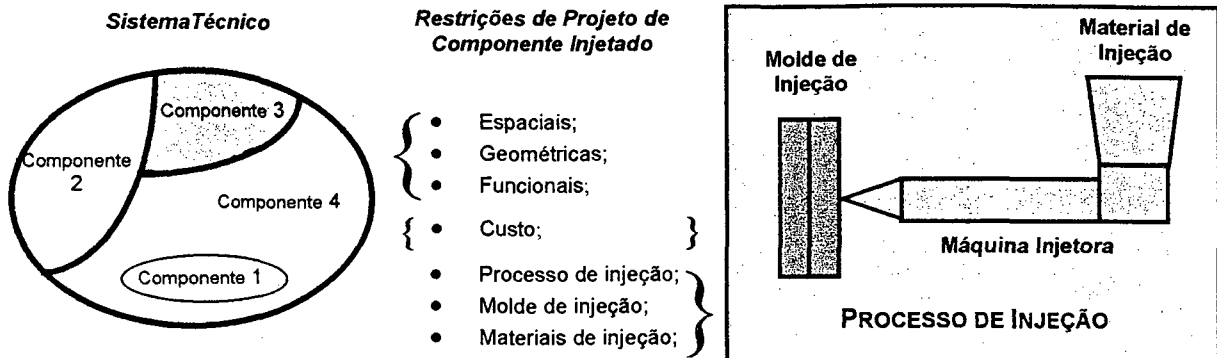


Figura 4.12. Restrições de projeto do componente injetado.

As restrições geométricas associadas ao sistema estão relacionadas ao arranjo do componente injetado e o sistema técnico, assim como a interface (conexões, uniões, junções, etc) entre estes elementos. Esta interface deve ser entendida como sendo o meio de união, comunicação ou transferência de energia, material e sinal entre o sistema e o componente. Assim, por exemplo, a fixação entre o painel de um automóvel a sua carroceria (sistema técnico), devido a questões de montagem e resistência, é realizada empregando-se um elemento do tipo parafuso. Neste caso, o parafuso é o elemento de união entre o sistema técnico (carroceria) e o componente injetado (painel). Neste caso, no projeto do painel do automóvel, obrigatoriamente, deve ser empregado um princípio de solução do tipo rosca interna para fixar o parafuso, conforme o modelo ilustrado na figura 4.13.

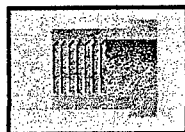


Figura 4.13. Princípio de solução do tipo rosca interna adotada no projeto de componentes injetados.

As restrições funcionais associadas ao sistema estão relacionadas com as funções do sistema que devem ser, obrigatoriamente, contempladas no projeto do componente injetado. Assim, por exemplo, considerando o projeto da tampa de um eletrodoméstico, a equipe de projeto decidiu que a função "articular tampa" será realizada por um componente injetado. Neste caso, uma das funções desempenhadas pelo componente injetado é, obrigatoriamente, "articular tampa".

As restrições associadas ao processo de injeção referem-se às características da máquina injetora que devem ser, obrigatoriamente, satisfeitas no projeto do componente injetado. Por exemplo, a distância entre colunas da injetora influencia o tamanho máximo do componente a ser produzido.

As restrições associadas ao material de injeção referem-se, principalmente, àquelas propriedades do material que devem ser, obrigatoriamente, contempladas no projeto do componente injetado. Por exemplo, devido a fatores técnicos relacionados com a utilização do componente, não se pode utilizar materiais higroscópicos. Desta forma, independente da solução adotada, o componente não poderá deformar-se devido à absorção de umidade.

As restrições associadas ao molde de injeção referem-se àquelas características do molde de injeção que devem ser, obrigatoriamente, contemplados no projeto do componente injetado. Assim, por exemplo, devido a restrições de fabricação utilizar-se-á um molde de injeção sem "gavetas". Por exemplo, o emprego de um princípio de solução do tipo "snap" num molde de injeção sem gavetas, requer o projeto de uma abertura na base deste componente, a fim de extraí-lo do molde, como ilustrado na figura 4.14.

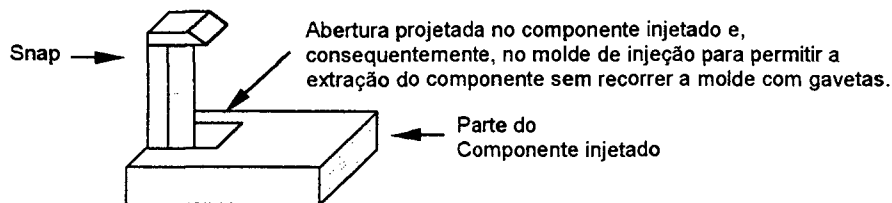


Figura 4.14. Exemplo de restrição de projeto do molde de injeção - Soluções de projeto para snap, a ser injetado em moldes de injeção isentos de gavetas.

Além disto, no desenvolvimento do componente injetado existem as restrições de custos, que estão associadas a fatores econômicos: Essas restrições referem-se ao custo do componente, do processo, do molde e de materiais de injeção, além do valor do custo-meta do componente injetado. Por exemplo, devido a problemas de recursos, o custo do molde de injeção deve ser menor que R\$ 50.000,00, devido a questões de mercado o custo direto unitário do componente injetado deve ser menor do que R\$ 8,50.

O processo de definição das restrições de projeto de componentes injetados, conforme descrito no fluxograma da figura 4.15, envolve as tarefas de levantamento de informações referentes à interface sistema técnico - componente, às propriedades do processo, do molde e do material de injeção e dados de custo. Na sequência, com base nestas informações, a equipe de desenvolvimento do projeto define as restrições de projeto do componente injetado.

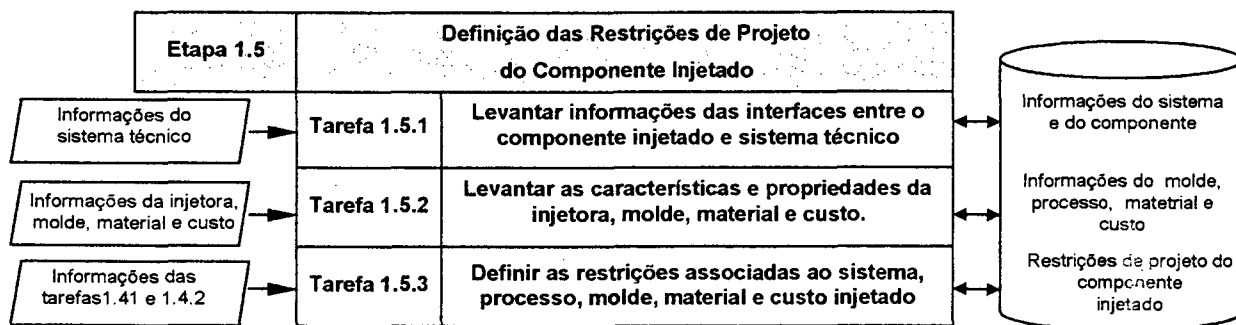


Figura 4.15. Processo de definição das restrições de projeto de componentes injetados.

Para auxiliar a execução dessas características, propõe-se o emprego da ferramenta de projeto denominada "**Check-List Estruturado de Definição das Restrições de Projeto de Componentes Injetados**", que está detalhado no Anexo F. A seguir, são descritas as tarefas envolvidas na etapa de definição das restrições de projeto de componentes injetados.

- **Tarefa 1.5.1: Levantar informações das interfaces entre o componente injetado e o sistema técnico:** um conjunto de questões orientativas, listadas na tabela F-1; auxiliam na identificação das restrições relacionados com a disposição espacial, a geometria e a função do

componente injetado. Os resultados da etapa de levantamento das necessidades dos clientes também auxiliam no estabelecimento destas informações.

São exemplo destas informações: dimensões máximas permitidas para o componente, função do componente considerando o sistema, princípio para conectar o componente ao sistema e outras.

• **Tarefa 1.5.2: Levantar as características e propriedades da injetora, molde, material e custo:** um conjunto de questões orientativas, listadas na tabela F.1, auxiliam na identificação das restrições relacionadas ao projeto do componente injetado. Da mesma forma, as informações na etapa de levantamento das necessidades dos clientes também auxiliam no estabelecimento destas características e propriedades.

São exemplos das características a serem levantadas: presença de gaveta no molde de injeção, abertura máxima do molde de injeção, propriedades do material de injeção, entre outras.

• **Tarefa 1.5.3. Definir as restrições de projeto do componente associadas ao sistema, processo, molde, material e custo:** considerando as informações obtidas nas tarefas 1.5.1 e 1.5.2, a equipe de projeto deve compatibilizá-las e, conseqüentemente definir as restrições associadas ao projeto do componente injetado. Para auxiliar esta compatibilização na ferramenta proposta, especificamente na tabela F.1, é apresentado um estudo sobre como estas informações devem ser analisada. É exemplo de compatibilização de informações: o curso de extração do molde de injeção deve ser menor que o curso de abertura para extração do componente da injetora e, ao mesmo tempo, deve ser maior que a altura do componente injetado para permitir a sua extração da cavidade.

Desta forma, considerando estes procedimentos, tem-se disponível um conjunto de informações, as quais constituem as restrições geométricas, espaciais e funcionais associadas ao sistema, ao processo, ao molde, ao material e aos custos do componente injetado. Estas informações podem ser apresentadas na Ficha de Definição das Restrições de Projeto do Componente Injetado, ilustrada na Figura F.2.

#### 4.3.6. Etapa 1.6: Definição dos Requisitos de Projeto do Componente Injetado

De acordo com Ferreira (1996), um requisito de projeto é uma condição necessária para a obtenção de um objetivo ou para o preenchimento de um certo fim. Por sua vez, Fonseca (2000) define um requisito técnico como sendo as características técnico-físicas mensuráveis, que o produto deve ter para satisfazer os requisitos do usuário<sup>2</sup>.

Nesta proposição, assim como para as necessidades dos clientes, propõe-se o agrupamento dos requisitos de projeto em técnicos e econômicos, segundo a estrutura de atributos do componente injetado proposta na tabela E.2. Desta forma, pode-se assegurar a compatibilidade de informações entre as necessidades dos clientes e os requisitos de projeto, assim como, auxiliar posteriormente na realização de análises para identificar dependência e interdependência entre os requisitos de projeto. Além disto, este agrupamento visa facilitar a realização de análises posteriores, principalmente, a fim de identificar a dependência e a interdependência entre os requisitos de projeto.

<sup>2</sup> Requisito do usuário, segundo Fonseca (2000) refere-se a primeira tradução das necessidades brutas obtidas dos diferentes tipos de clientes ou usuários, levadas a uma linguagem compreensível para projetistas ou produtores.

Os requisitos de projeto do componente injetado são definidos considerando as necessidades técnicas e econômicas dos componentes injetados, estabelecidas na etapa 1.4, conforme ilustrado na

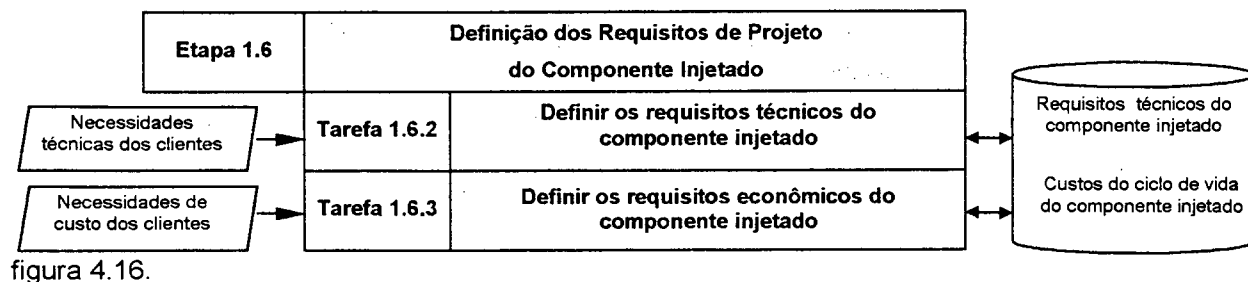


figura 4.16.

Figura 4.16. Processo de estabelecimento dos requisitos de projeto do componente injetado.

Para auxiliar na definição destes requisitos, propõe-se o emprego de uma "**Lista de Requisitos de Projeto de Componentes Injetados**", que está detalhada no Anexo G. A seguir, cada uma destas tarefas será comentada.

- **Tarefa 1.6.1: Identificar os requisitos técnicos do componente injetado:** a equipe de projeto deve associar para cada necessidade técnica, estabelecida na tarefa 1.4.1, um ou mais requisitos técnicos do componente injetado. Para isto, pode consultar as informações constantes na lista proposta. São exemplos desses requisitos: dimensões do componente, tempo do ciclo de injeção, número de processos de fabricação para conceber o molde, viscosidade do material, entre outras.

- **Tarefa 1.6.3. Identificar os requisitos econômicos do componente injetado.** Da mesma forma, devem associar a cada necessidade econômica, estabelecida na tarefa 1.4.2, um ou mais requisitos econômicos do componente injetado. Segundo a abordagem proposta, estes requisitos são formados pelos custos diretos do ciclo de vida do componente, determinados na tarefa 1.3.3. Desta forma, espera-se considerar e avaliar de forma mais efetiva, aspectos econômicos no projeto do componente injetado. São exemplos destes requisitos: custo direto de aquisição, de descarte, de set-up, de operação do sistema de resfriamento, de aquisição de material, entre outros.

#### 4.3.7. ETAPA 1.7: Desenvolvimento de Análises sobre as Necessidades dos Clientes e Requisitos de Projeto do Componente Injetado

A realização de análises sobre as necessidades dos clientes e requisitos de projeto envolve, como apresentado na figura 4.17, uma série de tarefas visando possibilitar um melhor entendimento e compreensão do problema de projeto, uma interação das informações entre os membros da equipe de projeto e facilitar a definição das especificações de projeto do componente injetado.

Nesta proposição, para auxiliar a execução desta atividade, propõe-se o emprego do método do QFD, Quality Function Deployment (Akao, 1990). Este método possibilita trabalhar, de forma sistemática, sobre as necessidades dos clientes e requisitos de projeto, com o intuito de realizar análises sobre as informações e compõem-se de diversas ferramentas, apresentadas sob a forma de matrizes. Entre elas, destaca-se a **Primeira Matriz do QFD**, também denominada de **Casa da**

Qualidade, a qual será efetivamente utilizada nesta etapa. Outros aspectos desta ferramenta são descritos no Anexo H.

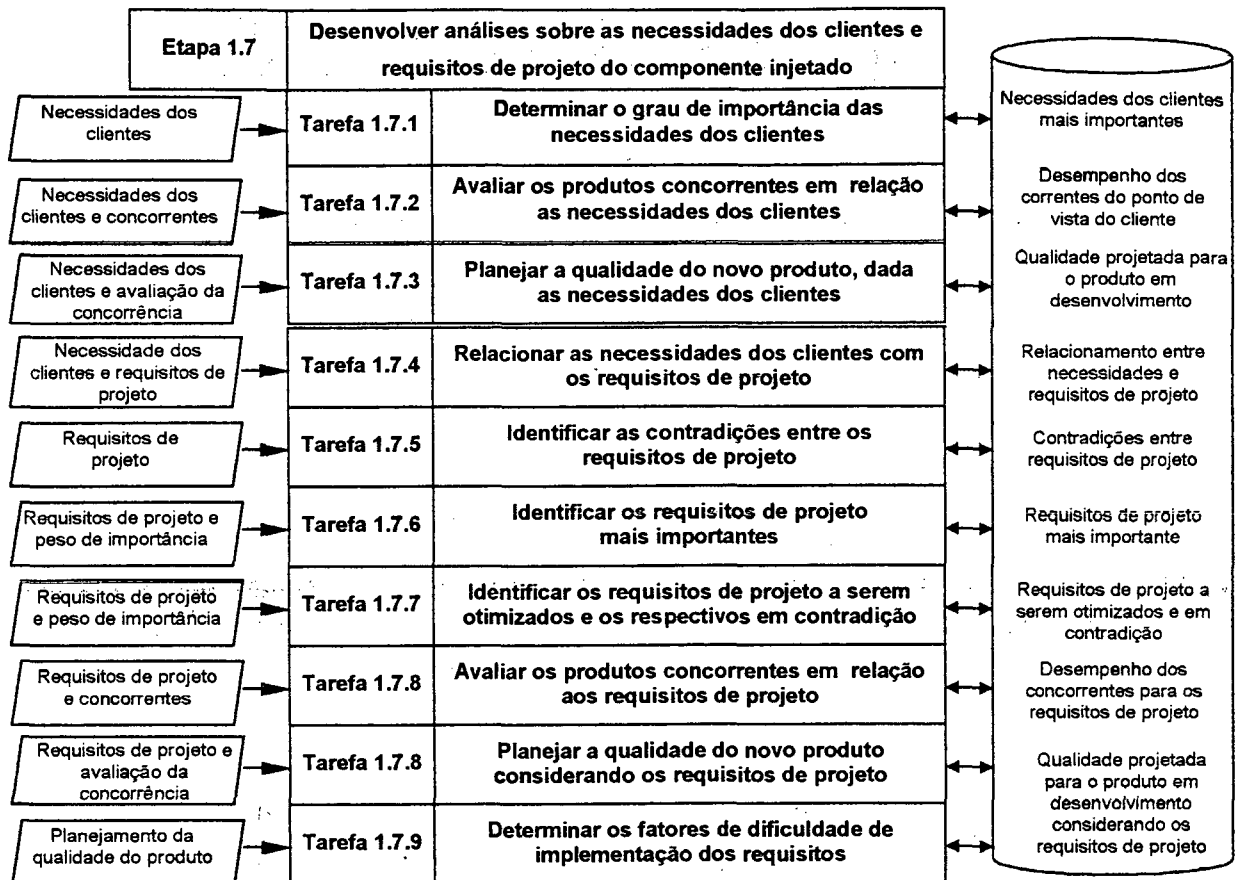


Figura 4.17. Análise sobre as necessidades dos clientes e requisitos de projeto.

Cada uma dessas etapas, será descrita a seguir.

• **Tarefa 1.7.1: Determinar o grau de importância das necessidades dos clientes ( $vc_i$ ):**

indica o quanto uma necessidade dos clientes é importante, segundo o julgamento deles. Para identificar as necessidades mais importantes podem ser empregados distintos métodos, tais como: AHP, distribuição de pontos percentuais, atribuição de pontos de importância, entre outros. Por exemplo, no método de atribuição de pontos, empregando-se uma escala de 0 a 5, o valor máximo é atribuído às necessidades mais importantes.

A determinação do grau de importância dos requisitos de projeto também pode ser realizada na Etapa 1.4 da metodologia proposta, quando do estabelecimento das necessidades dos clientes.

• **Tarefa 1.7.2: Avaliar os produtos concorrentes em relação às necessidades dos clientes:** considerando as características dos produtos concorrentes (similares), estabelecidas na tarefa 1.3.1, e as informações de mercado, os clientes podem realizar comparações entre os  $k$  produtos concorrentes através de uma análise competitiva. Esta avaliação indica se uma dada necessidade do cliente ( $NC_i$ ) é um ponto forte de venda ( $pv_{ik}$ ).

O ponto forte de venda pode ser entendido como sendo um diferencial do produto que facilite ou potencialize a sua venda ou sucesso.

Nesta avaliação, pode-se empregar os valores descritos na tabela 4.3.

Tabela 4.3. Simbologia de relacionamento entre itens

Ponto Forte de Venda	pfv <sub>ik</sub> (valor)	pfv <sub>i novo</sub> (valor)
Ponto de venda muito forte	5	5
Ponto de venda forte	4	4
Ponto de venda médio	3	3
Ponto de venda fraco	2	2
Ponto de venda muito fraco	1	1

O resultado desta análise pode ser expresso através do índice de desempenho (DCN<sub>k</sub>), que indica a performance de cada produto concorrente (k) em relação aos demais. Este índice pode ser obtido pela equação (4.1).

$$DCN_k = \frac{\sum_{i=1}^m vc_i \cdot pfv_{ik}}{m} \quad (4.1)$$

- onde:
- k = produtos concorrentes. Varia de 1 a p, o número de produtos concorrentes;
  - m = número total das necessidades dos clientes;
  - DCN<sub>k</sub> = desempenho do produto concorrente (k) dadas as necessidades dos clientes;
  - vc<sub>i</sub> = valor de importância da i-ésima necessidade dos clientes;
  - pfv<sub>ik</sub> = avaliação do k-ésimo produto concorrente em relação a i-ésima necessidade.

• **Tarefa 1.7.3: Planejar a qualidade do novo produto, considerando as necessidades dos clientes:** Considerando as necessidades dos clientes, definidas na Etapa 1.3, e as informações obtidas na avaliação dos produtos concorrentes, obtido na tarefa 1.7.2, a equipe de projeto deve realizar o planejamento da qualidade para o novo produto.

Este planejamento indica os níveis de qualidade que o produto a ser desenvolvido deve possuir. Para isto, sugere-se o emprego da escala descrita na tabela 4.3. Pode-se dizer que esta análise traduz o planejamento de marketing e estratégico da empresa para o novo produto. Este planejamento pode ser expresso através de um índice, como descrito na equação 4.2, que expressa o desempenho do novo componente injetado frente à concorrência.

$$DPN_{novo} = \frac{\sum_{i=1}^m vc_i \cdot pfv_{i novo}}{m} \quad (4.2)$$

- onde:
- m = número total das necessidades dos clientes;
  - DPN<sub>novo</sub> = desempenho planejado do novo produto;
  - vc<sub>i</sub> = valor de importância da i-ésima necessidade dos clientes;
  - pfv<sub>i novo</sub> = avaliação do produto novo em relação à necessidade (i) dos clientes.

• **Tarefa 1.7.4: Relacionar as necessidades dos clientes com os requisitos do projeto:** este relacionamento é uma forma sistemática de identificar um nível de relação ou dependência (gr<sub>ij</sub>) entre as i-ésimas necessidades dos clientes e os j-ésimos requisitos de projeto. Neste relacionamento, realizado com a participação dos membros envolvidos no projeto do produto, serão discutidos aspectos relacionados com o entendimento do projeto do produto, principalmente, procurando identificar aquelas características mais importantes a serem atendidas no projeto.

Na matriz de relacionamento, as relações entre as necessidades e os requisitos são, geralmente, preenchidas com os símbolos apresentados na tabela 4.4, sendo posteriormente convertidos em valores numéricos como mostrado na tabela. O nível de relação ou dependência entre as necessidades e os requisitos varia de fraco a forte, ou seja, de 1 a 5.

Tabela 4.4. Simbologia de relacionamento entre necessidades e requisitos.

Símbolo	Grau de Relacionamento	Valor ( $gr_{ij}$ )
⊙	Forte relacionamento	5
○	médio relacionamento	3
*	fraco relacionamento	1

• **Tarefa 1.7.5: Identificar as contradições entre os requisitos de projeto:** realizada na Matriz de Correlação do QFD, expressa a relação ( $cr_{ij}$ ) de dependência e/ou interdependência entre os  $j$ -ésimos requisitos de projeto. É importante salientar que, as correlações do tipo negativa e fortemente negativa são de particular interesse, pois representam as contradições de projeto do componente injetado. Esta matriz é preenchida com os símbolos da tabela 4.5.

Tabela 4.5. Símbolos utilizados no preenchimento da matriz de correlação

Símbolo	Grau de Relacionamento	Valor ( $cr_{ij}$ )
•	Correlação fortemente positiva	10
○	Correlação positiva	5
	Nenhum relacionamento	1
▽	Correlação negativa	1/5
◆	Correlação fortemente negativa	1/10

Na Matriz de Correlação do QFD, a equipe de desenvolvimento do produto tem a possibilidade de identificar, para um dado requisito a ser satisfeito, aqueles que dificultam atingir este objetivo. Em outras palavras, procura-se identificar as contradições entre os requisitos de projeto do componente injetado. Com a identificação destas contradições e empregando-se recursos propostos<sup>3</sup>, buscar-se-á eliminar estas contradições, a fim de obter uma "solução ideal" para o componente injetado e não uma "solução de compromisso" e, conseqüentemente permitir que o desenvolvimento do componente injetado ocorra segundo as suas peculiaridades.

Para facilitar o entendimento do termo **contradição entre os requisitos de projeto**, como ilustrado na figura 4.18, recorrer-se-á ao exemplo do projeto de um reservatório cilíndrico, a ser fabricado em resina plástica e os requisitos de projeto "espessura da parede" e "custo de material".

Neste exemplo, a equipe de projeto deseja (meta) que o reservatório tenha uma espessura de parede maior, a fim de que o reservatório suporte mais carga e, simultaneamente, apresente um custo de material menor, a fim de tornar o produto mais barato. Estas metas estão representadas na Matriz do QFD pela simbologia "↑" e "↓". Analisando o exemplo, observa-se que quanto maior for a espessura da parede maior será o custo de material do reservatório. Logo, observa-se que existe uma dificuldade de satisfazer, simultaneamente, ambos requisitos de projeto. Em outras palavras, os requisitos de projeto "espessura da parede" e "custo de material" estão em conflito.

<sup>3</sup> Estes recursos, descritos na etapa 1.9 da metodologia proposta, são as ferramentas: Matriz de Contradição da TRIZ e Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados.



Na Matriz de Correlação do QFD, as relações entre os requisitos de projeto são representadas pelo grau de correlacionamento positivo, fortemente positivo, negativo e fortemente negativo. Por sua vez, as contradições entre os requisitos são representadas pelos graus de relacionamento médio negativo ou fortemente negativo.

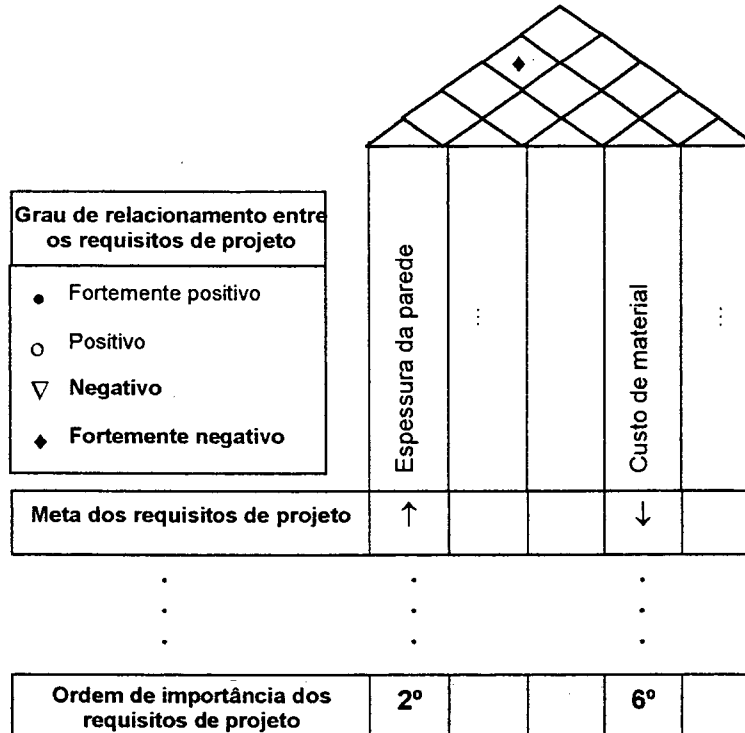


Figura 4.18. Exemplo hipotético de contradição entre requisitos de projeto de um recipiente plástico.

• **Tarefa 1.7.6: indicar os requisitos de projeto mais importantes:** a obtenção do requisitos de projeto mais importantes pode ser calculada de duas formas. Na primeira é considerado, somente, o resultado do relacionamento entre as necessidades dos clientes e os requisitos de projeto, conforme apresentado na equação 4.3.

$$V_j = \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=n} vc_i \cdot gr_{ij} \quad (4.3)$$

- onde:
- $V_j$  = Valor do somatório do j-ésimo requisito de projeto sem considerar as informações do telhado da Matriz do QFD;
  - $vc_i$  = Valoração dos clientes da i-ésima necessidade do cliente, da Matriz do QFD;
  - $gr_{ij}$  = Grau de relacionamento entre o i-ésima necessidade e o j-ésimo requisito;
  - $i$  = Número de linhas, necessidades dos clientes, da Matriz do QFD;
  - $j$  = Número de colunas, requisitos de projeto, da Matriz do QFD;
  - $m$  = número de necessidades dos clientes;
  - $n$  = número de requisitos de projeto.

No segundo caso, a obtenção dos requisitos de projeto mais importantes é realizada computando o resultado do relacionamento do telhado da Matriz do QFD. Nesta condição, se deve empregar a formula descrita na equação 4.4, que é apresentada por Hermes *apud* Ogliari. (1999): \_\_\_\_\_

$$V_{ij} = \sum_{j=1}^n \left( \frac{v_i \cdot v_j}{v_i + v_j} \right) \cdot cr_{ij} \quad (4.4)$$

onde, -  $V_{ij}$  = Valor do i-ésimo requisito de projeto, considerando os relacionamentos da Matriz de Correlação do QFD;

- $n$  = número de requisitos de projeto;
- $j$  = j-ésimo requisito de projeto relacionado com o i-ésimo requisito de projeto;
- $v_i$  = Valor do i-ésimo requisito de projeto obtido pelo método tradicional (equação 4.3);
- $v_j$  = Valor do j-ésimo requisito de projeto obtido pelo método tradicional (equação 4.3);
- $cr_{ij}$  = Grau de relacionamento entre o i-ésimo requisito e o j-ésimo requisitos de projeto.

Dada as características do desenvolvimento de componentes injetados, recomenda-se a escolha do segundo método para hierarquizar os requisitos de projeto. Desta forma, o resultado do relacionamento entre os requisitos de projeto pode ser considerado de forma mais efetiva, pois leva em conta a dependência e a interdependência entre os requisitos do projeto, possibilitando que o desenvolvimento do produto ocorra segundo os preceitos da Engenharia Simultânea.

• **Tarefa 1.7.7: Identificar os requisitos de projeto a serem otimizados e, os respectivos, requisitos de projeto em contradição:** deve-se considerar as correlações do tipo negativa e fortemente negativa, obtidas na Matriz de Correlação do QFD, além do resultado da classificação dos requisitos de projeto, obtida na tarefa 1.7.6. Tomando os pares dos requisitos de projeto em contradição, aquele que se apresenta como o mais importante, levando em conta o resultado da sua classificação, será considerado o requisito de projeto a ser otimizado. E, conseqüentemente, o outro requisito do par será considerado o requisito conflitante.

No exemplo apresentado na figura 4.18, o requisito a ser otimizado é a espessura da parede do componente e, o respectivo requisito conflitante é o custo de material.

• **Tarefa 1.7.8: Analisar os produtos concorrentes em relação aos requisitos de projeto:** o desempenho dos  $k$  produtos concorrentes é avaliado em relação aos requisitos de projeto. Desta forma, tem-se conhecimento daqueles produtos que melhor atenda aos requisitos e, conseqüentemente, pode-se extrair suas características e projetá-las no componente injetado a ser desenvolvido. Esta análise é expressa pelo índice ( $dr_j$ ) que varia na escala de 0 a 5, onde os valores máximos indicam um desempenho muito bom e excelente para um dado requisito e, por sua vez, os valores mínimos indicam um desempenho ruim, conforme descrito na tabela 4.6. Ao final desta análise, poder-se-á ver o desempenho global dos produtos concorrentes ( $DCR_k$ ), empregando-se a equação (4.5).

Tabela 4.6. Escala de dificuldade de implementação técnica e econômica.

Índice	Escala de Dificuldade de Implementação
5	Grande dificuldade de implementação
3	Média dificuldade de implementação
0	Sem dificuldade de implementação

$$DCR_k = \sum_{j=1}^n dr_j \cdot (V_j)_k \quad (4.5)$$

onde: -  $k$  = produtos concorrentes. Varia de 1 a  $p$  o número de produtos concorrentes;

- $n$  = número total de requisitos de projeto;
- $DCR_k$  = desempenho global do produto concorrente  $k$ , considerando os requisitos de projeto;
- $dr_j$  = grau de desempenho do produto concorrente com relação a cada  $j$ -ésimo requisito;
- $V_j$  = Valor do somatório do  $j$ -ésimo requisito de projeto;

• **Tarefa 1.7.9: Planejar a qualidade do novo produto considerando os requisitos de projeto:** considerando o resultado da análise executada na tarefa 1.7.8, a equipe de projeto pode estabelecer padrões de qualidade para o componente a ser desenvolvido. Para auxiliar esta análise pode-se empregar uma escala semelhante à apresentada na tabela 4.6 sendo que, caso se deseje melhorar a qualidade do novo produto, deve-se atribuir um valor maior que aquele apresentado para o produto concorrente. O procedimento contrário deve ser realizado se se desejar um produto posicionado de modo inferior ou equivalentemente ao produto concorrente, seja qual for o motivo.

Ao final do preenchimento deste campo, tem-se um índice de desempenho global para o componente a ser desenvolvido, o qual indica um "posicionamento" deste produto em relação à concorrência. Este índice pode ser calculado pela expressão (4.6).

$$DPR_{\text{novo}} = \sum_{j=1}^n dr_j \cdot (V_j)_{\text{novo}} \quad (4.6)$$

onde: -  $n$  = número total de requisitos de projeto;

- $DPR_{\text{novo}}$  = desempenho global do produto em desenvolvimento;
- $dr_j$  = grau de desempenho do produto concorrente com relação a cada  $j$ -ésimo requisito;
- $V_j$  = Valor do somatório do  $j$ -ésimo requisito de projeto;

• **Tarefa 1.7.10: Determinar os fatores de dificuldade de implementação dos requisitos de projeto:** indica a dificuldade da implementação da qualidade planejada para o novo produto com base nos resultados obtidos na tarefa 1.7.9. Esta dificuldade é expressa em termos técnicos e econômicos. A primeira está relacionada com limitações técnicas associadas à injeção do componente, manufatura do molde e às propriedades do material de injeção. A dificuldade econômica está associada a questões financeiras que dificultam atingir a qualidade planejada no produto. Desta forma, tem-se conhecimento dos pontos críticos de projeto do componente injetado e do tipo de esforço técnico e econômico necessário para atingir a qualidade planejada para o novo produto.

A análise proposta pode ser realizada, empregando-se uma escala onde o valor 5 indica grande dificuldade de implementação, o valor 3 corresponde à média dificuldade de implementação e o valor 0 indica que não existe dificuldade de implementação da meta para o requisito de projeto.

As análises propostas na Matriz do QFD são aquelas "tradicionais" desenvolvidas pelos pesquisadores do método (Akao, 1990; Clausing, 1994 e outros), exceto pela proposição que envolve a consideração do resultado da matriz de correlação no projeto do componente injetado.

O conjunto destas tarefas constitui os passos necessários para a elaboração da Primeira Matriz do QFD. Ao final, a equipe de projeto tem um melhor entendimento do problema e um conjunto informações que orientam o desenvolvimento do componente injetado.

#### **4.3.8. ETAPA 1.8: Definição das Especificações de Projeto do Componente Injetado**

Com o objetivo de permitir que as especificações de projeto sejam definidas de forma mais criteriosa, fundamentada, considerando as características do desenvolvimento de componentes injetados, como ilustrado na figura 4.3, propõe-se que as mesmas sejam descritas em termos de:

i) **Saídas desejadas para os requisitos de projeto:** expressam o que se pretende atingir com a consideração de cada requisito nas especificações de projeto. Por exemplo, para o requisito “número de nervuras do componente”, tem-se como saída desejada: o componente deve apresentar o menor número possível de nervuras para propiciar a facilidade de injeção e redução do custo no molde em função da complexidade do mesmo.

ii) **Saídas indesejadas para os requisitos de projeto:** representam o que, exatamente, se pretende evitar com a agregação de cada requisito. Por exemplo, para o requisito “número de nervuras do componente”, tem-se como saída indesejada: os componentes com elevado número de nervuras podem gerar peças mais complexas requerendo a presença de gavetas no molde e gerando dificuldades de preenchimento da cavidade do molde.

iii) **Especificações de projeto associadas ao componente injetado:** correspondem a um conjunto de informações, descritas sob a forma de metas de projeto, relacionadas com o componente injetado. Por exemplo, espessura da parede de 10 mm, entre outras.

iv) **Especificações de projeto associadas ao processo de injeção:** correspondem a um conjunto de informações, descritas sob a forma de metas de projeto, relacionadas com o processo de injeção. Por exemplo, pressão de injeção de 138 MPa, entre outras.

v) **Especificações de projeto associadas ao molde de injeção:** correspondem a um conjunto de informações, descritas sob a forma de metas de projeto, relacionadas com o processo de injeção. Por exemplo, força de fechamento do molde de injeção de 25 e 35 t, entre outras.

vi) **Especificações de projeto associadas ao material de injeção:** correspondem a um conjunto de informações, descritas sob a forma de metas de projeto, relacionadas com o material de injeção. Por exemplo, temperatura de injeção do material de 40° C, material do tipo ABS e outras.

vii) **Especificações de custo:** correspondem a um conjunto de informações de custo, descritas sob a forma de metas. Por exemplo, custo de operação da injetora por hora igual a \$ 50, entre outras.

viii) **Restrições espaciais, geométrica e funcionais associadas à interface sistema técnico e componente injetado, relativas ao processo, ao molde, ao material de injeção e a custos** - estas informações foram estabelecidas na etapa 1.5 da metodologia proposta.

E, finalmente, também são consideradas como especificações as **diretrizes de projeto de componentes injetados**, as quais são definidas na Etapa 1.9 da metodologia proposta.

A visão geral desta etapa está representada na figura 4.19.

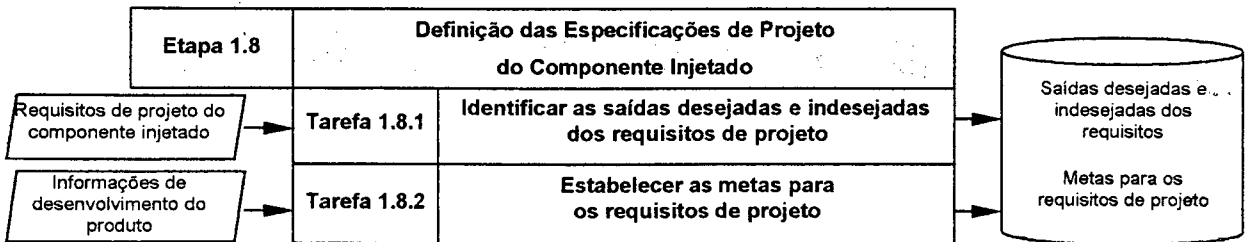


Figura 4.19. Processo de definição das especificações de projeto do componente injetado.

Para auxiliar na definição destas informações propõe-se o emprego da ferramenta de projeto denominada "**Quadro de Especificações de Projeto do Componente Injetado**", que está descrito no Anexo I. A seguir, cada uma destas tarefas será comentada.

- **Tarefa 1.8.1. Identificar saídas desejadas e indesejadas dos requisitos de projeto do componente injetado:** a equipe de projeto, tomando como base a sua experiência, as informações obtidas ao longo do desenvolvimento do produto e o objetivo do projeto do componente, deve definir o que se pretende atingir com cada um dos requisitos (saída desejada) e também o que se pretende evitar com os mesmos (saídas indesejadas).

- **Tarefa 1.8.2. Estabelecer as metas para os requisitos de projeto:** da mesma forma, a equipe de projeto deve estabelecer informações descritas sob a forma de metas para cada requisito de projeto do componente injetado.

- **Tarefa 1.8.3. Definição das diretrizes de projeto do componente injetado:** Devido à sua complexidade, propõe-se que a definição das diretrizes de projeto seja realizada empregando-se ferramentas de projeto especificadas. Estas ferramentas intituladas Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) e a Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados serão descritas, respectivamente, nos Anexos J e L desta Tese.

#### 4.3.9. ETAPA 1.9: Definição das Diretrizes de Projeto do Componente Injetado

No desenvolvimento do componente injetado, como foi colocado, existe uma dependência e interdependência entre os requisitos de projeto. Também, observando-se as práticas de desenvolvimento de produtos, nota-se que dada uma situação de contradição entre os requisitos, a equipe de projeto, geralmente tende a recorrer a uma solução de compromisso, a fim de minimizar esta contradição. Entretanto, a solução de compromisso não representa um estado final ideal para o produto, uma vez que os conflitos entre os requisitos de projeto ainda continuam existindo.

No sentido de solucionar essas contradições, além de considerar a dependência e a interdependência entre os requisitos de projeto e conduzir o desenvolvimento do componente injetado em questão segundo as suas características, introduziu-se o conceito de "**diretrizes de projeto de componentes injetados**". Com a introdução deste novo conceito, tem-se o intuito de:

- Auxiliar na definição das especificações de projeto do componente injetado, considerando a multidisciplinaridade associada ao projeto destes produtos, pois foram estabelecidas considerando as informações provenientes do conhecimento tácito e explícito de especialistas, de forma integrada;
- Permitir que o conhecimento de especialistas seja tratado no início do processo de desenvolvimento do produto, de forma integrada;
- Buscar uma "solução ideal" das contradições entre os requisitos de projeto, expressas no telhado da Matriz do QFD. Em outras palavras, permitir a busca de solução para o projeto do componente injetado sem necessidade de se recorrer a uma solução de compromisso.

Estas diretrizes, como ilustrado na figura 4.20, são entendidas como sendo estratégias, regras de projeto e princípios de solução que podem ser empregadas no projeto de componentes injetados. Em outras palavras, são informações de projeto obtidas, considerando o conhecimento explícito e tácito de especialista envolvidos no desenvolvimento de componentes injetados.

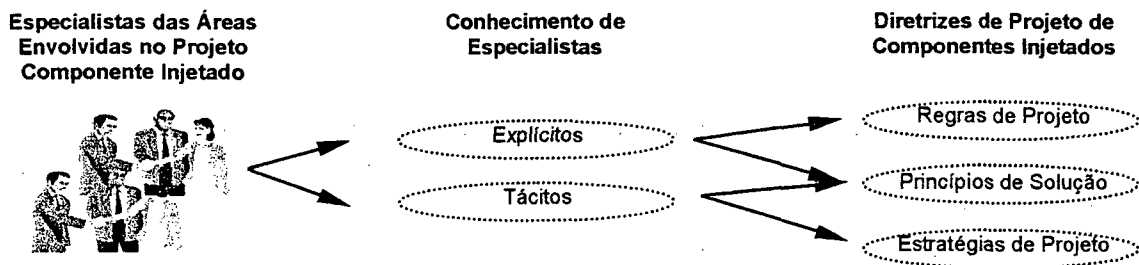


Figura 4.20. Relação das diretrizes de projeto com o conhecimento de especialistas.

No caso das **regras de projeto de componentes injetados**, as diretrizes indicam o modo adequado de executar uma ação com vista a atingir um objetivo específico, sendo estabelecidas por meio de conhecimento comprovado por especialistas da área. Estas regras constituem o conhecimento explícito destes especialistas. São exemplos de regras de projeto: raio interno de curvatura do componente de 1 a 1,5 mm para evitar áreas de concentração de tensão; adotar uma conicidade do molde de  $0,5^\circ$  a  $1,0^\circ$  para facilitar a extração do componente do molde de injeção.

No caso das **estratégias de projeto de componentes injetados**, as diretrizes indicam as melhores condições ou caminhos favoráveis com vista a atingir um objetivo específico, sendo estabelecidas pelos especialista, por meio da observação das práticas de desenvolvimento de componentes injetados. Estas estratégias constituem o conhecimento tácito destes especialistas. São exemplos de estratégias de projeto: para melhorar o acabamento superficial do componente pode-se aumentar a pressão de injeção ou o tempo de recalque ou a velocidade de injeção. Para facilitar a remoção do componente do molde, considerando que a temperatura deste molde é elevada, pode-se reduzir a temperatura do material ou aumentar o ciclo de injeção; entre outras.

E, no último caso, as diretrizes são compostas por **princípios de solução de componentes injetados**. Estes princípios são representação do conhecimento explícito e tácito de especialistas. São exemplos destas diretrizes: para aumentar a resistência da parede do componente e, ao mesmo tempo, garantir a sua moldabilidade, utiliza-se um princípio de solução do tipo "gusset"; para permitir o encaixe rápido de superfície e, ao mesmo tempo, garantir uma resistência mecânica emprega-se um princípio de solução do tipo "snap", entre outros.

O processo de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados inicia-se considerando o resultado da identificação dos requisitos de projeto a serem otimizados e dos, respectivos, requisitos conflitantes. Estas informações são provenientes da tarefa 1.7.7, quando do preenchimento da Primeira Matriz do QFD. Na sequência, com base nestas informações são definidas as diretrizes de projeto, propriamente dita. Para definir estas diretrizes propõe-se o emprego de duas ferramentas de projeto, sendo elas: a **Matriz de Contradição da TRIZ (Teoria da Solução Inventiva de Problemas)** e a **Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto do Componente Injetado**, as quais estão descritas, respectivamente, nos Anexos J e L.

Estas matrizes podem ser vistas como sendo bases de conhecimento de especialistas para o projeto de componentes injetados que, apontam caminhos para solucionar as contradições existentes no projeto deste tipo de produto, evitando assim as soluções de compromisso.

É importante colocar que, a Matriz de Contradição da TRIZ foi elaborada considerando produtos genéricos e com base em observações de sistemas técnicos existentes. Sendo assim, esta ferramenta não considera as peculiaridades inerentes ao desenvolvimento de componentes injetados, embora possa ser empregada nesta atividade. Neste sentido, desenvolveu-se uma nova ferramenta denominada de Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto do Componente Injetado, que considera as características do desenvolvimento deste tipo de produto, permitindo a sua condução segundo os conceitos e as práticas da Engenharia Simultânea.

Para sistematizar o processo de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados propõe-se as tarefas ilustradas na figura 4.21, as quais serão comentadas a seguir.

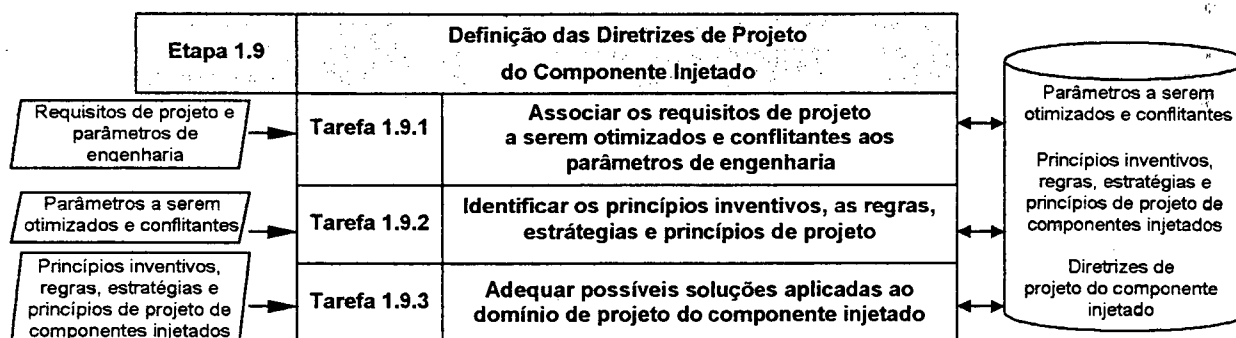


Figura 4.21. Processo de definição das diretrizes de projeto do componente injetado.

- **Tarefa 1.9.1: Associar os requisitos de projeto a serem otimizados e conflitantes aos parâmetros de engenharia:** pode ser realizada empregando a Matriz de Contradição da TRIZ e a Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados.

Na Matriz de Contradição da TRIZ, os requisitos de projeto em contradição devem ser associados aos 39 parâmetros de engenharia, listados na tabela J.1 do Anexo J. Esta associação deve ser realizada interpretando o significado do parâmetro de engenharia da TRIZ e buscando aquele que se mostrar "similar" ao requisito de projeto.

Na Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados, esta associação também deve ser realizada considerando a similaridade e a compatibilidade entre os atributos do requisito de projeto e os parâmetros de engenharia desta matriz, assim como, observando o valor destes atributos. Na seção L.5 do Anexo L desta Tese é apresentado um conjunto de parâmetros de

engenharia de componentes injetados a serem otimizados e seus respectivos parâmetros de engenharia conflitantes. Esta associação deve ser realizada interpretando o significado do parâmetro de engenharia desta matriz e buscando aquele que se mostrar "similar" ao requisito de projeto.

- **Tarefa 1.9.2: Identificar os princípios inventivos, as regras, estratégias e princípios de projeto:** A identificação dos princípios inventivos envolve o emprego da Matriz de Contradição da TRIZ ilustrada, esquematicamente, na tabela 4.7. Nesta matriz, considerando, como informação de entrada, um parâmetro de engenharia a ser otimizado e o seu respectivo parâmetro em contradição são obtidos os princípios inventivos da TRIZ. Neste caso, envolve, inicialmente, a identificação no "campo 1" do parâmetro de engenharia a ser otimizado e, no "campo 2" o correspondente parâmetro que encontra-se em contradição. Do relacionamento entre estes parâmetros é obtido no "campo 3" um ou mais princípios inventivos, os quais indicam possíveis soluções para o problema de projeto.

A matriz de contradição da TRIZ está mostrada na tabela J.6 e a lista de princípios inventivos está descrita na tabela J.2.

Tabela 4.7. Utilização da Matriz de Contradição da TRIZ.

		CAMPO 2 – Parâmetro de Engenharia Conflitante				
		Parâmetro de Engenharia 1	Parâmetro de Engenharia 2	Parâmetro de Engenharia 3	...	Parâmetro de Engenharia 39
CAMPO 1 - Parâmetro de engenharia a ser otimizado	Parâmetro de Engenharia 1		Princípios Inventivos	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos
	Parâmetro de Engenharia 2	Princípios Inventivos		Princípios Inventivos	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos
	Parâmetro de Engenharia 3	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos	<b>CAMPO 3</b>	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos
	...	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos		Princípios Inventivos
	Parâmetro de Engenharia 39	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos	

Na Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados, são identificadas as regras, estratégias e recomendações de projeto de componentes injetados. A identificação destas diretrizes é resultado do relacionamento entre os parâmetros de engenharia desta matriz e indica uma solução para as contradições entre os requisitos de projeto do QFD, ou seja, fornece uma orientação para que o desenvolvimento do projeto do componente injetado seja realizado sem a necessidade de se recorrer a uma solução de compromisso.

Na seção L.5 do Anexo L é apresentada uma base de conhecimento, onde podem ser identificadas as regras, estratégias e recomendações de projeto de componentes injetados, para um dado conjunto de parâmetros de engenharia a serem otimizados e seus respectivos parâmetros.

- **Tarefa 1.9.3: Adequar os possíveis soluções de projeto aplicadas ao domínio de componentes injetados.** A aplicação da TRIZ no desenvolvimento de produtos em geral tem mostrado que os princípios inventivos são bastante genéricos. Assim, para facilitar o emprego desta ferramenta no projeto de componentes injetados, foram elaborados alguns exemplos de aplicação dos seus princípios inventivos no projeto de componentes injetados. Desta forma, a equipe de projeto, interpretando o significado dos princípios inventivos selecionados, pode identificar a melhor forma de aplicá-lo no projeto do componente em questão.



Em se tratando da matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados, as diretrizes podem ser empregadas para solucionar as contradições e, ao mesmo tempo, visam permitir que o projeto de componentes injetados ocorra segundo as peculiaridades desta atividade e os preceitos da Engenharia Simultânea. Sendo assim, a equipe de projeto, interpretando a informação das diretrizes pode identificar a melhor forma de aplicá-las no projeto do componente em questão.

Finalmente, segundo a metodologia proposta, ao final da fase de projeto informacional é importante que a equipe de projeto analise as informações obtidas com relação à sua coerência, consistência, adequabilidade e suficiência das informações obtidas, no sentido de viabilizar o início do projeto conceitual do componente injetado. Assim, caso estas informações mostrem-se inadequadas ou insuficientes, novas avaliações devem ser realizadas no projeto informacional procurando otimizar os dados obtidos. Para realizar estas análises, propõe-se a etapa de avaliação, como descrito a seguir.

#### 4.3.10. Check-list da Fase de Projeto Informacional

Para auxiliar a equipe de projeto a analisar e avaliar as informações obtidas nas demais etapas da fase de projeto informacional e, conseqüentemente, iniciar o projeto conceitual do componente injetado, propõe-se o emprego do check-list apresentado na tabela 4.8. Este check-list foi desenvolvido considerando fases do ciclo de vida de componentes injetados e os trabalhos de Gordon (1993), Harada (1948) e Malloy (1994).

Tabela 4.8. Check-list para verificação da fase de projeto informacional do componente injetado.

FASES DO CICLO DE VIDA	CHECK-LIST PARA A FASE DE INFORMACIONAL DO COMPONENTE INJETADO	PROJETO
<p><b>Projeto do componente</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contratação do Projeto do Componente Injetado</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram identificadas as empresas envolvidas no desenvolvimento do componente injetado ?</li> <li>• Foram identificadas as oportunidades de mercado e o objetivo geral do projeto ?</li> </ul> </li> <li>• <b>Definição das Fases do Ciclo de Vida do Componente Injetado</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram definidas as fases do ciclo de vida do componente injetado ?</li> <li>• Foram identificadas as empresas, funções e aspectos a serem considerados no ciclo de vida ?</li> </ul> </li> <li>• <b>Preparação de Informações de Custo do Componente Injetado</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram levantadas as informações sobre produtos similares ?</li> <li>• Foi definido o custo meta direto do componente injetado ?</li> <li>• Foram desdobrados os custos do componente injetado ?</li> </ul> </li> <li>• <b>Definição das Restrições de Projeto do Componente Injetado</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram levantadas informações sobre a interface sistema-componente ?</li> <li>• Foram levantadas as propriedades do processo, molde, material e custos do produto ?</li> <li>• Foram definidas as restrições associadas ao sistema, processo, molde e material de injeção ?</li> <li>• Foram definidas as restrições associadas a custo ?</li> </ul> </li> <li>• <b>Definição das Necessidades de Projeto do Componente Injetado</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram identificados os clientes envolvidos nas distintas fases do ciclo de vida do produto ?</li> <li>• Foram identificadas as necessidades econômicas do componente injetado ?</li> <li>• Foram identificadas as necessidades técnicas do componente injetado ?</li> </ul> </li> <li>• <b>Estabelecimento dos Requisitos de Projeto do Componente Injetado</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram identificados os campos de conhecimento relacionados às necessidades dos clientes ?</li> <li>• Foram identificados os requisitos técnico-físicos do componente injetado ?</li> <li>• Foram identificados os requisitos de custo (custo do ciclo de vida) do componente injetado ?</li> </ul> </li> <li>• <b>Desenvolvimento de Análises sobre as Necessidades dos Clientes e Requisitos de Projeto do Componente Injetado</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram identificados os requisitos mais importantes e as contradições entre os requisitos ?</li> <li>• Foi realizada uma avaliação de "benchmark" e planejada a qualidade do produto sobre as necessidades dos clientes ?</li> <li>• Foi realizada uma avaliação da competitividade técnica sobre as requisitos de projeto ?</li> <li>• Foi realizado o planejamento de metas de qualidade sobre os requisitos de projeto ?</li> <li>• Foram avaliados fatores de dificuldade de implementação das metas de qualidade ?</li> </ul> </li> </ul>	

Tabela 4.8. Check-list para verificação da fase de projeto informacional do componente injetado.

FASES DO CICLO DE VIDA	CHECK-LIST PARA A FASE DE PROJETO INFORMACIONAL DO COMPONENTE INJETADO
<b>Projeto do componente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Definição das Especificações de Projeto do Componente Injetado</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram identificadas as saídas desejadas e as saídas indesejadas de cada requisito?</li> <li>• Foram estabelecidas as metas para os requisitos de projeto?</li> <li>• Foram definidas as especificações de projeto do componente injetado?</li> <li>• Foram identificados os requisitos de projeto a serem otimizados e aqueles em contradição?</li> <li>• Foram associados a estes requisitos os parâmetros de engenharia da TRIZ?</li> <li>• Foram identificados os princípios inventivos da TRIZ e estes foram associados ao projeto?</li> <li>• Foram associados a estes requisitos os parâmetros de engenharia da ferramenta de projeto da Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados?</li> <li>• Foram identificadas as diretrizes de projeto de componentes injetados?</li> </ul> </li> </ul>
<b>Projeto do molde de injeção</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram definidos requisitos associados ao molde de injeção?</li> <li>• Foi definida a configuração do molde de injeção e o número de cavidades no molde de injeção?</li> <li>• Foram determinadas as tolerâncias do molde de injeção?</li> <li>• Os materiais do molde de injeção foram determinados?</li> <li>• Foram determinados aspectos que facilitem a manufatura do molde de injeção?</li> <li>• Foram definidos aspectos de manutenção do molde de injeção?</li> <li>• Foi determinado o tempo de entrega do molde de injeção?</li> <li>• As dimensões do molde são admissíveis para passagem entre as colunas da máquina injetora?</li> <li>• Para fixação do molde, as dimensões são compatíveis com os furos das placas da injetora?</li> <li>• A dimensão "altura" do molde está entre o mínimo e o máximo admitido pela máquina injetora? O curso de abertura da máquina é suficiente para extração do componente?</li> </ul>
<b>Manufatura do componente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram determinadas informações sobre a manufatura do componente?</li> <li>• Foram determinados os processos de manufatura adicionais do componente?</li> <li>• Foram previstos aspectos relacionados à montagem do molde na injetora?</li> <li>• Foram previstos aspectos relacionados à extração do componente do molde de injeção?</li> <li>• Foram previstos aspectos relacionados à refrigeração do molde de injeção?</li> <li>• Foram determinados aspectos relacionados à facilidade de injeção?</li> <li>• Foi definido a influência do processo de manufatura sobre o acabamento e a resistência do componente?</li> <li>• O peso do conjunto injetado está dentro da capacidade da máquina injetora?</li> <li>• A máquina injetora tem capacidade de fechamento suficiente para suportar a injeção do produto?</li> </ul>
<b>Montagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram previstos aspectos relacionados à montagem do componente no sistema técnico?</li> <li>• Foram previstos aspectos de encaixe e interação com os demais componentes no sistema?</li> </ul>
<b>Teste</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram previstas questões associadas a testabilidade (padrões, normas, instrumentos de medição, relação com o sistema técnico, frequência do teste, etc)?</li> </ul>
<b>Armazenamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram previstas questões associadas ao armazenamento (local de armazenamento, capacidade máxima de empilhamento do componente, condições de armazenamento do componente, etc)?</li> </ul>
<b>Distribuição</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram previstas questões relacionadas ao transporte e distribuição (peso e volume da embalagem, veículos a transportar e distribuir, temperatura e umidade do transporte, etc)?</li> </ul>
<b>Venda</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram previstas questões relacionadas à venda?</li> <li>• Foram definidas informações relativas ao preço de venda do componente injetado?</li> </ul>
<b>Utilização</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estão previstas informações sobre o modo e instruções de uso do componente pelos clientes?</li> <li>• Foram previstas questões relacionadas à utilização do componente (identificação, segurança, etc)?</li> </ul>
<b>Reciclagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram previstos aspectos relacionados à desmontagem do componente do sistema técnico?</li> <li>• Foram previstos aspectos relacionados à desmontagem de demais componentes do produto?</li> <li>• Foram previstas questões relacionadas à reciclagem (orientação para desmontagem, materiais utilizados, forma de identificação do material e outros) no projeto informacional do componente?</li> </ul>
<b>Retirada</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram previstas questões relacionadas à deposição final dos demais componentes do produto?</li> <li>• Foram previstas questões relacionadas à deposição final (coleta do componente, rota e locais de descarga, forma de disposição e outros) no projeto informacional do componente?</li> </ul>

Com a realização desta avaliação, a equipe de projeto do componente injetado tem a possibilidade de decidir sobre a adequabilidade e suficiência das informações obtidas de forma criteriosa. Caso sejam inadequadas, conforme colocado, novas avaliações devem ser realizadas na fase de projeto informacional. Caso contrário, inicia-se a fase de projeto conceitual do componente injetado, conforme proposto na metodologia descrita na próxima seção.

Para auxiliar a operacionalização desta atividade, o check-list proposto foi implementado computacionalmente, como descrito no Capítulo 5.

A seguir, segundo a metodologia proposta, será descrita a fase de projeto conceitual de componentes injetados.

#### 4.4. Fase de Projeto Conceitual do Componente Injetado

O projeto conceitual de componentes injetados, segundo a metodologia proposta, envolve as etapas de geração de alternativas de concepção, estimativa de custos e seleção da concepção do produto. Analisando a sequência destas etapas, as diferenças em relação ao projeto de sistemas técnicos ocorrem com relação à abordagem apresentada, a natureza das informações envolvidas e as ferramentas de projeto propostas para desenvolver a concepção do componente injetado.

Para auxiliar a obtenção da concepção do componente injetado propõe-se o emprego da sistemática representada esquematicamente na figura 4.22. Este fluxograma mostra as etapas, as ferramentas e os campos de conhecimento envolvidos na fase de projeto conceitual do componente injetado. Como pode ser observado, ao final com a obtenção da concepção do componente injetado iniciam-se as fases de projeto preliminar e detalhado.

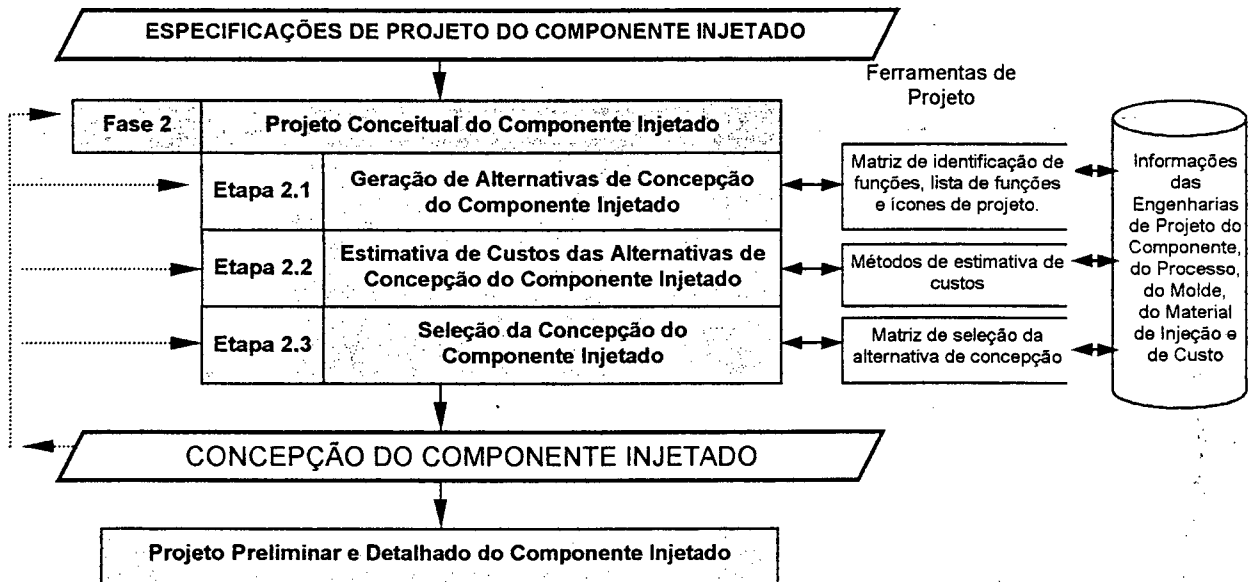


Figura 4.22. Etapas propostas para o projeto conceitual do componente injetado.

Na fase de projeto conceitual, uma questão fundamental para os projetistas envolve o entendimento do conceito de concepção do componente injetado.

Com base nos estudos de Ferreira (1997a), entende-se que a concepção representa o produto em termos de suas propriedades físico-técnicas essenciais ao funcionamento do mesmo. A dúvida reside no grau de detalhamento das alternativas de concepção. Neste sentido, French (1985) apud Gitirana (1999) coloca que o grau de detalhamento da concepção deve chegar "ao ponto onde o meio para realizar cada função principal tenha sido fixado, assim como os relacionamentos espaciais e estruturais dos principais componentes tenham sido definidos. Um modelo de concepção deve ser suficientemente detalhado para ser possível conter informações de custos, pesos e dimensões aproximadas, de modo a assegurar a viabilidade da concepção tanto quanto as circunstâncias permitam. Uma concepção deve ser relativamente explicitada com relação a seus componentes espaciais, mas não necessita conter muitos detalhes com relação à prática estabelecida".

— Em suma, uma concepção do componente injetado pode ser entendida como sendo um modelo representado pela definição das formas e arranjo dos seus princípios de solução, juntamente,

com um conjunto de informações mínimas para considerar e avaliar aspectos relacionados à moldabilidade do produto, manufaturabilidade do molde de injeção e estimativa de custos. Um exemplo de concepção de componente injetado foi apresentado na figura 4.5.

A seguir, serão descritas as etapas da fase de projeto conceitual da metodologia proposta.

#### 4.4.1. Etapa 2.1: Geração de Alternativas de Concepção do Componente Injetado

Segundo a metodologia proposta, a equipe de projeto deve buscar a obtenção de uma concepção do produto, que: i) minimize e, se possível, elimine a dependência e a interdependência entre os requisitos de projeto; ii) considere o conhecimento tácito e explícito de especialistas; iii) leve em conta as restrições de projeto associadas ao sistema, ao processo, ao molde e ao material de injeção; iv) trate as informações provenientes dos clientes de forma integrada; e, v) considere aspectos econômicos, visando a estimativa do custo do produto.

Neste sentido, tomando como base as especificações de projeto, conforme ilustrado na figura 4.23, propõe-se que a geração das alternativas de concepção do componente injetado, envolva as tarefas de identificação das funções do componente, geração de princípios de solução para as funções e geração das alternativas de concepção do componente injetado, propriamente dita.

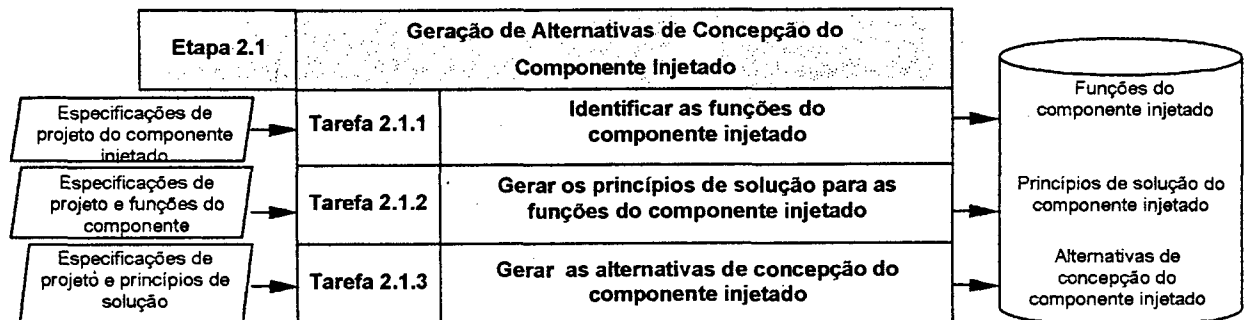


Figura 4.23. Metodologia proposta para gerar alternativas de concepção do componente injetado.

A seguir, cada uma destas tarefas será descrita detalhadamente.

- **Tarefa 2.1.1: Identificar as funções do componente injetado:** a geração das alternativas de concepção do componente injetado inicia-se tomando como base as informações provenientes das especificações de projeto. A equipe de projeto deve analisar essas informações, procurando identificar as funções a serem desempenhadas pelo componente injetado.

Para auxiliar a operacionalização desta tarefa, propõe-se o emprego de três ferramentas de projeto, sendo: i) matriz de identificação de funções do componente injetado; ii) lista de funções executadas pelo componente injetado; e, iii) ícones de projeto, propostos por Ogliari (1999).

O termo função de componentes injetados, difere do conceito de função de sistemas técnicos, sendo aquela estabelecida com base no trabalho de Ulman (1993), que define função como sendo o comportamento necessário para cumprir os requisitos de um projeto. Propõe-se que a função do componente injetado seja definida da seguinte forma: **FUNÇÃO DO COMPONENTE INJETADO é uma ação necessária para este produto cumprir as ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO. Deve ser, preferencialmente, descrita por meio de um VERBO + SUBSTANTIVO.**

Constituem exemplos de funções desempenhadas por componentes injetados: conectar mola, fixar parafuso, restringir movimento, encaixar parte, entre outras.

Com o objetivo de viabilizar esta proposição, as tarefas descritas na fase de projeto informacional foram classificadas em relação à facilidade de identificação das funções pela equipe de projeto do produto, em:

i) **Tarefas que permitem a identificação DIRETA das funções do componente injetado:** constituem aquelas tarefas onde, a equipe de projeto, analisando as informações disponíveis consegue identificar as funções do componente de forma clara e imediata. A identificação das funções pode ser realizada por meio do entendimento das especificações de projeto, auxiliada por uma lista de funções desempenhadas por componentes injetados, como apresentada na tabela 4.12.

ii) **Tarefas que permitem a identificação INDIRETA das funções do componente injetado:** constituem aquelas tarefas onde a equipe de desenvolvimento do produto, analisando as informações disponíveis, consegue identificar as funções do componente de forma não imediata ou dissimulada. A identificação das funções pode ser realizada por meio do entendimento das especificações de projeto auxiliada pela lista de funções desempenhadas por componentes injetados e pelo conceito de ícones de projeto (Ogliari, 1999).

iii) **Tarefas que NÃO permitem a identificação das funções do componente injetado:** constituem aquelas tarefas onde a equipe de projeto, analisando as informações disponíveis, não tem a possibilidade de identificar as funções do componente injetado.

Na tabela 4.9 é apresentado o resultado da análise das tarefas propostas e descritas na fase de projeto informacional do componente injetado, considerando a classificação proposta acima.

Tabela 4.9. Relação de tarefas da fase de projeto informacional que auxiliam na identificação das funções do componente injetado a partir das especificações de projeto.

Fase de Projeto Informacional do Componente Injetado		Identificação das Funções
Etapa 1.1. Contratação do Projeto do Componente	Tarefa 1.1.1. Identificar os responsáveis envolvidos no projeto do componente injetado	Não
	Tarefa 1.1.2. Identificar as oportunidades de negócio	Não
	Tarefa 1.1.3. Definir o objetivo de projeto do componente injetado	Direta
Etapa 1.2. Definição das fases do ciclo de vida	Tarefa 1.2.1. Determinar as fases do ciclo de vida do componente	Não
	Tarefa 1.2.2. Identificar os elementos atuantes, atividades, aspectos e informações a serem considerados em cada fase do ciclo de vida	Direta / Indireta
Etapa 1.3. Preparação de Informações de custo	Tarefa 1.3.1. Levantar informações de produtos similares	Indireta / Direta
	Tarefa 1.3.2. Desdobrar o custo do componente injetado	Não
	Tarefa 1.3.3. Definir o custo meta do componente injetado	Não
Etapa 1.4. Definição das necessidades dos clientes	Tarefa 1.4.1. Definir as necessidades técnicas dos clientes	Direta / Indireta
	Tarefa 1.4.2. Definir as necessidades econômicas dos clientes	Direta / Indireta
Etapa 1.5. Definição das restrições de projeto	Tarefa 1.5.1. Levantar as características da interface entre o sistema e o componente injetado.	Não
	Tarefa 1.5.2. Levantar as características e propriedades da máquina injetora, do molde de injeção, do material de injeção e de custo	Não
	Tarefa 1.5.3. Definir as restrições associadas ao sistema, processo, molde, material e custo (resultado final)	Direta / Indireta

Tabela 4.9. Relação de tarefas da fase de projeto informacional que auxiliam na identificação das funções do componente injetado a partir das especificações de projeto.

Fase de Projeto Informacional do Componente Injetado		Identificação das Funções
Etapa 1.6. Estabelecimen- dos requisitos de projeto	Tarefa 1.6.1. Identificar os requisitos técnicos do componente injetado	Direta / Indireta
	Tarefa 1.6.2. Identificar os requisitos econômicos do componente injetado	Direta / Indireta
Etapa 1.7. Trabalho sobre as necessidades e os requisitos de projeto do componente injetado.	Tarefa 1.7.1. Determinar o grau de importância das necessidades dos clientes	Não
	Tarefa 1.7.2. Avaliar os produtos concorrentes em relação às necessidades dos clientes	Não
	Tarefa 1.7.3. Planejar a qualidade do novo produto, dada as necessidades dos clientes	Indireta
	Tarefa 1.7.4. Relacionar necessidades com requisitos de projeto	Não
	Tarefa 1.7.5. Identificar as contradições entre os requisitos de projeto	Não
	Tarefa 1.7.6. Identificar os requisitos de projeto mais importantes	Não
	Tarefa 1.7.7. Identificar os requisitos de projeto a serem otimizados e em contradição	Não
	Tarefa 1.7.8. Avaliar os produtos concorrentes em relação aos requisitos	Direta / Indireta
	Tarefa 1.7.9. Planejar a qualidade do novo produto, considerando os requisitos de projeto	Indireta
	Tarefa 1.7.10. Determinar os fatores de dificuldade de implementação dos requisitos	Não
Etapa 1.8. Definição das especificações de projeto	Tarefa 1.8.1. Identificar as saídas desejadas e indesejadas dos requisitos de projeto	Direta / Indireta
	Tarefa 1.8.2. Estabelecer as metas para os requisitos de projeto	Não
	Tarefa 1.8.3. Definir as diretrizes de projeto do componente injetado	Ver etapa 1.9
Etapa 1.9. Definição das diretrizes de projeto	Tarefa 1.9.1. Associar os requisitos de projeto otimizados e conflitantes aos parâmetros de engenharia	Não
	Tarefa 1.9.2. Identificar os princípios inventivos, as regras, estratégias e princípios de solução	Direta / Indireta
	Tarefa 1.9.3. Desenvolver possíveis soluções aplicadas ao domínio de projeto do componente injetado	Direta / Indireta

Os resultados desta análise auxilia na operacionalização da Matriz de Identificação das Funções do Componente Injetado, proposta e exemplificada na tabela 4.10. Nas linhas desta matriz são listadas aquelas tarefas da fase de projeto informacional que permitem uma identificação direta ou indireta das funções. Nas colunas são descritas as fases do ciclo de vida do componente. Estas fases são aquelas identificadas na tarefa 1.2.1 na fase de projeto informacional.

Assim, para empregar a matriz, a equipe de projeto deve realizar uma “viagem imaginária” pelas fases do ciclo de vida do produto, procurando identificar, para cada resultado das tarefas da fase de projeto informacional, as funções do componente injetado.

Para as tarefas que permitem identificar diretamente as funções, o preenchimento da matriz é realizado através da declaração da função do componente identificada na tarefa.

Para as tarefas que permitem identificar indiretamente as funções do componente, deve realizar intererências, fazer o uso de fatos ou observações concretas sobre o ambiente de projeto do produto. Neste caso, deve observar como as “pessoas” relacionadas no ciclo de vida do componente utilizam o produto e, assim reconhecer ou identificar as funções do mesmo. Este reconhecimento ou identificação pode ser auxiliado com o emprego de ícones de projeto

Tabela 4.10. Ferramenta de projeto proposta "Matriz de Identificação das Funções do Componente Injetado" - Exemplo de aplicação da ferramenta.

RESULTADO DAS TAREFAS DA FASE DE PROJETO INFORMACIONAL	FASES DO CICLO DE VIDA DO COMPONENTE INJETADO												
	Projeto produto	Projeto molde	Manufatura molde	Processo Injeção	Montagem	Teste	Embalagem	Armazenamento	Transporte	Venda	Uso	Descarte	
Tarefa 1.1.3. Identificar a solicitação de projeto do componente (D)	Supporte material				Articular peças	Resistir desgaste					Supportar material		
Tarefa 1.2.2. Identificar empresas, funções e aspectos considerados no ciclo de vida do componente (D/I)			Prover acabamentoo peça		Resistir ao choque								
Tarefa 1.4.3. Definir as restrições associadas ao sistema, processo, molde, material e custo (D/I)	Encaixar sensor	Reforçar superfície		Injetar bicolor	Conectar sistema				Proteger interpele	Proteger interpele	Articular peças		
Tarefa 1.5.2. Definir as necessidades técnicas dos clientes (D/I)	Evitar dellexão		Encaixar inserto STL	Montar inserto									
Tarefa 1.6.3. Definir as necessidades econômicas dos clientes (D/I)									Proteger interpele	Proteger interpele			
Tarefa 1.6.2. Identificar os requisitos técnicos do componente injetado (D/I)									Supportar temperatura		Prover ângulo abertura		
Tarefa 1.6.3. Identificar os requisitos econômico do componente Injetado (D/I)			Crar ressalto										
Tarefa 1.7.3. Planejar a qualidade do novo produto, dada as necessidades dos clientes (I)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Tarefa 1.7.9. Planejar a qualidade do novo produto, considerando os requisitos de projeto (I)	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
Tarefa 1.8.1. Identificar as saídas desejadas e indesejadas dos requisitos de projeto (D/I)	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
Tarefa 1.8.2. Estabelecer as metas para os requisitos de projeto (I)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Tarefa 1.9.2. Identificar os princípios Inventivos da TRIZ (D/I)	...	Prover segmentação	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Tarefa 1.10.3. Identificar as diretrizes de projeto de componentes Injetados (D/I)	...	...	Prover rebaixo snap	...	...	...	...	...	...	...	...	...	

**Legenda:**

D - Identificação direta da função, auxiliada por uma lista genérica de funções do componente injetado, com aquela apresentada na tabela 4.12;

I - Identificação indireta da função, auxiliada pelo conceito de "ícones de projeto", cujo conceito foi apresentado no Capítulo 2;

D/I - Identificação direta e Indireta da função, auxiliada pela lista genérica de funções do componente injetado e pelo conceito de "ícones de projeto";

Observações:

Nesta tabela são apresentados exemplos de funções identificadas a partir das especificações de projeto. As fases do ciclo de vida são aquelas identificadas na tarefa 1.2.1 do projeto informacional.

Como relatado no Capítulo 2, a utilização e implementação de ícones de projeto pressupõem a sistematização de uma base de informações, relacionadas ao domínio de aplicação. A construção desta base é complexa e envolve a consideração de fatos, procedimentos, episódios, regras, entre outras informações.

A construção de uma base de ícones deve iniciar pela sistematização dos conhecimentos sobre a utilização do componente a ser projetado. Na tabela 4.11 estão registradas orientações para a construção da base de ícones de projeto, considerando o exemplo do projeto de uma luminária.

Tabela 4.11. Orientações gerais para construção da base de ícones de projeto. (Ogliari, 1999)

Tipos de conhecimento	Elementos do domínio	Simulação da utilização do produto (exemplos)	Funções associadas (relativa ao produto)
Episódios	Elementos atuantes no ciclo de vida do produto, ambiente do produto, características e propriedades associadas aos sistemas, processo, molde, material e custo.	"o usuário descuidou-se e deixou a luminária cair no chão"	Proteger os elementos (lâmpada) do sistema
		"o usuário deseja variar a direção de iluminação"	Rotacionar os elementos do sistema
		"o usuário deseja reciclar o produto"	Desmontar os elementos do sistema
Procedimentos	Elementos atuantes no ciclo de vida do produto, ambiente do produto, características e propriedades associadas aos sistemas, processo, molde, material e custo.	"a lâmpada queimou"	Prover acesso aos elementos do sistema
Regras		"Os fios da luminária passam pelo interior da luminária"	Proteger o usuário Enclausurar os fios
Fatos		"O usuário deseja uma luminária com bom acabamento"	Exibir superfícies bem acabadas
Etc.		Etc.	Etc.

Também para auxiliar a identificação das funções do componente injetado, propõe-se o emprego de uma lista de funções típicas desempenhadas por estes produtos, resultado da compilação das pesquisas realizadas junto à indústria de plásticos injetados por Wood (1996), dos estudos elaborados por Ogliari (1999) e das observações realizadas no projeto de componentes injetados. As funções identificadas por Wood (1996) estão listadas na tabela 4.12.

Desta forma, considerando as tarefas e as fases do ciclo de vida, apresentadas na matriz de identificação das funções do componente injetado, empregando-se uma base de ícones de projeto e, juntamente, com a lista de funções elaborada por Wood (1996), a equipe de projeto tem um maior número de informações disponíveis para identificar as funções do componente injetado.

Tabela 4.12. Lista de funções típicas de componentes injetados.

• Acoplar,	• Controlar	• Facilitar	• Pivotar	• Restringir
• Auxiliar	• Criar	• Guiar	• Posicionar	• Rotacionar
• Alinhar	• Deslizar	• Juntar, unir	• Prender, fechar	• Segurar, prender
• Amplificar	• Dividir	• Limitar	• Prevenir	• Suportar
• Assistir	• Ejetar	• Localizar	• Proteger	• Trancar
• Ativar	• Esconder, ocultar	• Manter	• Prover acesso	• Transferir
• Cobrir	• Espaçar	• Montar	• Receber	• Transmitir
• Conectar	• Estabilizar	• Orientar, guiar	• Reduzir	• Unir
• Conter	• Evitar	• Padronizar	• Reforçar	• Ver
• Restringir	• Expor, exibir	• Permitir	• Repelir	

Segundo a metodologia proposta, com as funções do componente injetado identificadas, inicia-se a geração dos princípios de solução para cada uma das funções do componente injetado.



- **Tarefa 2.1.2. Gerar os princípios de solução para as funções do componente injetado:** uma vez identificadas as funções do componente injetado, empregando-se métodos de criatividade e as informações provenientes das especificações de projeto, a equipe de projeto pode gerar os princípios de solução para cada função do componente injetado.

A definição do termo "princípio de solução" está muito associada ao projeto de sistemas técnicos. Segundo Roozenburg e Eekels (1995), um "princípio de solução é a representação idealizada da estrutura de um sistema ou subsistema, na qual as características dos elementos e as relações que são essenciais ao seu funcionamento são qualitativamente determinadas".

Em se tratando de componentes injetados, as soluções para o seu projeto tem sido, geralmente, consideradas sob o conceito de *features*. Este termo, segundo Ogliari (1999) pode ser entendido como sendo "um conjunto particular de propriedades que descrevem uma dada entidade, definidas conforme os interesses sobre esta entidade". Considerando o estudo de Hounsell (1998) *apud* Ogliari (1999), estes interesses podem estar relacionados a aspectos funcionais, estruturais, físicos, geométricos de precisão, de material, de referência, de fixação, tecnológicos, de montagem, de manufatura, entre outros.

De acordo com Ogliari (1999), observa-se que, em princípio, parece não haver problema na utilização do conceito de *feature* para representar princípios de solução de componentes injetados. Entretanto, deve-se considerar um conjunto adequado de propriedades para caracterizar cada princípio, evitando, por exemplo, detalhes específicos de projeto ou de manufatura que vinculem o princípio de solução a resultados pré-concebidos. Sendo assim, sob o enfoque desta Tese, um princípio de solução do componente injetado é assim definido: **PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO DE COMPONENTES INJETADOS será considerado como sendo uma REGIÃO DA SUPERFÍCIE do componente injetado, representada através de uma forma básica e seu respectivo conjunto de ATRIBUTOS DE PROJETO.**

Os atributos do princípio de solução representam as características mensuráveis, qualitativamente ou quantitativamente, deste objeto, as propriedades do processo, do molde e do material de injeção, além de atributos de custos. Estes atributos buscam caracterizar o princípio de solução e, conseqüentemente, o componente injetado ao longo do seu ciclo de vida.

O modelo de atributos dos princípios de solução de componentes injetados está sendo proposto com base no modelo do ciclo de vida apresentado na tabela E.2 do Anexo E. Sendo assim, um princípio de solução pode ser definido em termos de suas formas e atributos, conforme ilustrado na tabela 4.13. É importante colocar que alguns princípios de solução destinados ao projeto de sistemas técnicos, podem ser aplicados no projeto de componentes injetados. No Anexo M, é apresentado um conjunto de princípios de solução, juntamente, com seus atributos.

Ao determinar as funções envolvidas no projeto de componentes injetados, Wood (1996) também identificou os princípios de solução empregados no projeto deste tipo de produto. No software Injection Molding 2.0<sup>®</sup> desenvolvido pela Boothroyd Dewhurst Incoorporation (1997) também são utilizadas *features* para modelar o produto. Para facilitar a operacionalização desta tarefa, propõe-se um agrupamento dos princípios de solução, de acordo com a sua semelhança. A formação destes grupos foi proposta com base no trabalho de Wood (1996).

Tabela 4.13. Representação de princípio de solução de componente injetados.

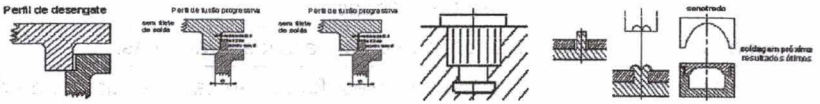



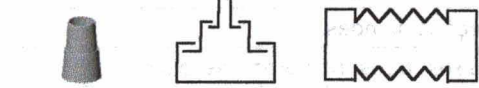
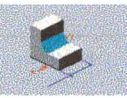
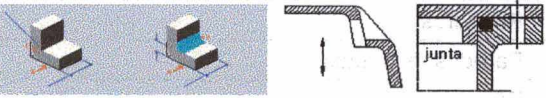
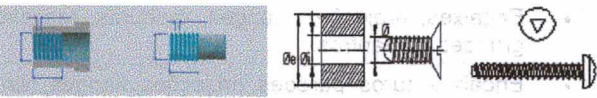
REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO		NOME: Nome do princípio de solução
		FUNÇÕES DESEMPENHADAS: lista de funções desempenhadas pelo princípio.
ATRIBUTOS GERAIS	BÁSICOS	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Funcionamento:</b> refere-se às funções que podem ser desempenhadas pelo princípio de solução.</li> <li><b>Ergonômico:</b> Qualitativo, refere-se à maior ou menor habilidade do ser humano em interagir com o princípio de solução.</li> <li><b>Segurança:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor capacidade do princípio de solução em oferecer segurança ao usuário.</li> <li><b>Confiabilidade:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor confiabilidade do princípio de solução.</li> <li><b>Normalização:</b> refere-se àquelas normas que devem ser consideradas no projeto e na manufatura do princípio de solução.</li> <li><b>Modularidade:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor facilidade de modularizar o princípio de solução.</li> </ol>
		Econômico <ol style="list-style-type: none"> <li><b>Produto:</b> qualitativo, refere-se ao maior ou menor impacto das características do princípio de solução sobre o custo do componente injetado.</li> <li><b>Material:</b> qualitativo, refere-se ao maior ou menor impacto do tipo de material do princípio de solução sobre o custo no componente injetado</li> <li><b>Processo de injeção:</b> qualitativo, refere-se ao maior ou menor impacto das características do processo de injeção associadas ao princípio de solução sobre o custo do componente injetado.</li> <li><b>Molde de injeção:</b> qualitativo, refere-se ao maior ou menor impacto das características do molde de injeção associadas ao princípio de solução sobre o custo do componente injetado.</li> <li><b>Processos de manufatura adicionais:</b> qualitativo, refere-se ao maior ou menor impacto das características dos processos adicionais associados ao princípio de solução sobre o custo do componente injetado.</li> </ol>
	CICLO DE VIDA <ol style="list-style-type: none"> <li><b>Manufaturabilidade do molde:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor facilidade do princípio de solução ser manufaturado no molde de injeção.</li> <li><b>Manufaturabilidade do componente (processo):</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor facilidade do princípio de solução ser injetado.</li> <li><b>Montabilidade:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor facilidade do princípio de solução em ser montado com os demais componentes e sistema técnico.</li> <li><b>Testabilidade:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor facilidade do princípio de solução em ser testado.</li> <li><b>Embalabilidade:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor facilidade do princípio em ser embalado.</li> <li><b>Transportabilidade:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor facilidade do princípio em ser transportado.</li> <li><b>Armazenabilidade:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor facilidade do princípio em ser armazenado.</li> <li><b>Comerciability:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor facilidade em dispor no mercado o princípio.</li> <li><b>Reciclabilidade:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor facilidade do princípio de solução ser reciclado;</li> <li><b>Descartabilidade:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor facilidade do princípio a ser descartado;</li> </ol>	
ATRIBUTOS ESPECÍFICOS	MATERIAL	Geométricos <ol style="list-style-type: none"> <li><b>Forma:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor complexidade das formas do princípio de solução.</li> <li><b>Configurações:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor facilidade do princípio de solução em ser compatível com os demais princípios de solução.</li> <li><b>Dimensões:</b> refere-se a regras ou recomendações que devem ser contempladas no projeto do princípio de solução.</li> <li><b>Resistência:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor capacidade de suportar carregamentos.</li> <li><b>Acabamento:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor facilidade do princípio de solução em assumir um acabamento superficial.</li> <li><b>Textura:</b> qualitativo, refere-se à maior ou menor facilidade do princípio em assumir uma textura.</li> <li><b>Tipo:</b> qualitativo, refere-se ao tipo de material do princípio de solução.</li> <li><b>Cor:</b> qualitativo, refere-se à cor do princípio de solução.</li> </ol>
	RESTRIÇÃO <ol style="list-style-type: none"> <li><b>Sistema:</b> refere-se àquelas restrições do princípio de solução em relação ao sistema.</li> <li><b>Processo:</b> refere-se àquelas restrições do princípio de solução em relação ao processo de injeção.</li> <li><b>Molde:</b> refere-se àquelas restrições do princípio de solução em relação ao molde.</li> <li><b>Material:</b> refere-se àquelas restrições do princípio de solução em relação ao material.</li> <li><b>Custo:</b> refere-se àquelas restrições do princípio de solução em relação aos aspectos econômicos.</li> </ol>	

Na figura 4.24 estão apresentados os grupos propostos, juntamente, com suas diferentes representações gráficas, que constituem um universo possível de princípios de solução de componentes injetados.

Figura 4.24. Lista de princípios de solução de componentes injetados.

GRUPOS	PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DE COMPONENTES INJETADOS
1. Nervuras	
2. Paredes	
3. Ranhuras	
4. Furos passantes	
5. Ressaltos	
6. Projeções	
7. Discos	
8. Encaixe	
9. Janelas	
10. Snaps	
11. Anéis	

Figura 4.24. Lista de princípios de solução de componentes injetados.

GRUPOS	PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DE COMPONENTES INJETADOS
12. Princípio adequado para soldagem ultrassônica	
13. Insertos moldados	
14. Insertos encaixados por interferência	 <p>inserto recartilhado (ângulos arredondados)</p>
15. Undercuts	
16. Telescópio	
17. Fillet	
18. Chanfros	
19. Etiquetas	<p><i>Tipos de letras e datas</i></p>
20. Parafusos	

Sob o enfoque da síntese de projeto de componentes injetados e para facilitar a associação entre função e princípio de solução, na tabela 4.14 é apresentada uma sugestão de relação para cada função do componente e possíveis princípios de solução que a executam.

Este estudo é resultado da compilação de informações pesquisadas por Wood (1996) e também da observação de projetos de componentes injetados.

Tabela 4.14. Sugestão de relação entre funções e princípios de solução de componentes injetados.

FUNÇÕES	PRINCIPAIS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO
1. Acoplar	• Encaixes, furos, janelas, nervuras, paredes, projeções, flanges, ranhuras, ressaltos e snaps.
2. Ajudar, auxiliar	• Discos, nervuras, paredes e ranhuras.
3. Alinhar	• Discos, encaixes, furos, janelas, nervuras, paredes, projeções, flanges, ranhuras, ressaltos e chanfros.
4. Amplificar	• Paredes.
5. Assistir	• Encaixes, furos, janelas, nervuras, paredes, projeções, flanges, ranhuras e ressaltos.
6. Ativar	• Projeções, flanges e ranhuras.
7. Cobrir	• Paredes, superfícies planas grandes e etiquetas.
8. Conectar	• Furos e paredes.
9. Conter	• Nervuras, paredes e ranhuras.
10. Restringir	• Furos, janelas, paredes, projeções, flanges, ranhuras, snaps, superfícies planas grandes, insertos montados por interferência.
11. Controlar	• Encaixes, furos, ranhuras e filetes
12. Criar	• Encaixes, janelas e paredes.
13. Deslizar	• Projeções, flanges.
14. Dividir	• Projeções, flanges.
15. Ejetar	• Encaixes, furos, nervuras, ressaltos
16. Enclausurar	• Paredes, insertos montados por interferência e superfícies planas grandes.
17. Esconder, ocultar	• Furos.
18. Espaçar	• Discos, encaixes, furos, nervuras, paredes, projeções, flanges, ranhuras e ressaltos.
19. Estabilizar	• Paredes.
20. Evitar	• Ranhuras.
21. Expor, exibir	• Paredes, etiquetas.
22. Facilitar	• Paredes.
23. Guiar	• Encaixes, furos, nervuras, paredes, projeções, flanges, ranhuras, ressaltos, slots, undercuts, superfícies planas grandes, princípio do telescópio, filetes e chanfros.
24. Juntar, unir	• Furos, insertos montados por interferência e ressaltos.
25. Limitar	• Nervuras, encaixes, furos, paredes, projeções, flanges, ranhuras e ressaltos.
26. Localizar	• Encaixes, projeções, flanges, ranhuras, ressaltos, undercuts, superfícies planas grandes e chanfros.
27. Manter	• Encaixes, furos, paredes, projeções, flanges, ranhuras, ressaltos, snaps e slots.
28. Montar	• Encaixes, furos, janela, nervuras, paredes, projeções, flanges, ranhuras, ressaltos, snaps e slots.
29. Orientar, guiar	• Furos, paredes, projeções, flanges.
30. Padronizar	• Encaixes, furos, nervuras, paredes, projeções, flanges e ranhuras.
31. Permitir	• Encaixes, furos, paredes e ranhuras.
32. Pivotar	• Ranhuras.
33. Posicionar	• Discos, encaixes, furos, janelas, nervuras, paredes, projeções, flanges, ranhuras, ressaltos, interferência para encaixe de insertos e snaps.
34. Prender e fixar	• Furos, projeções, flanges, ranhuras, soldagem ultrassônica e insertos.
35. Prevenir	• Encaixes, furos, nervuras, paredes, projeções, flanges, ressaltos, slots e chanfros.
36. Proteger	• Janelas, paredes e projeções, flanges.
37. Prover acesso	• Encaixes, furos, janelas e ranhuras.
38. Receber	• Encaixes e projeções, flanges.

Tabela 4.14. Sugestão de relação entre funções e princípios de solução de componentes injetados.

FUNÇÕES	PRINCIPAIS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO
39. Reduzir	• Discos, encaixes, furos, janelas, nervuras, projeções, flanges, ranhuras, ressaltos, anéis, slots, insertos montados por interferência e filetes.
40. Reforçar	• Nervuras, snaps, paredes, projeções, flanges, ranhuras, ressaltos e chanfros.
41. Repelir	• Furos e ressaltos.
42. Restringir	• Furos, ranhuras e undercuts.
43. Rotacionar	• Ressaltos e insertos montados por interferência encaixe de insertos.
44. Segurar, prender	• Encaixes, nervuras, paredes, projeções, flanges, ranhuras, ressaltos, snaps.
45. Suportar	• Discos, encaixes, furos, nervuras, snaps, paredes, projeções, flanges, ranhuras, ressaltos, undercuts e superfícies planas grandes.
46. Trancar	• Paredes.
47. Transferir	• Paredes.
48. Transferir	• Encaixes, paredes e slots.
49. Transmitir	• Furos, paredes, projeções, flanges, princípio de solução por soldagem ultrassônica e insertos montados por interferência.
50. Unir	• Ranhuras.
51. Ver	• Furos, janelas, equestas.

Neste processo de geração de princípios de solução também devem ser consideradas as diretrizes de projeto de componentes injetados, obtidas através da:

- i) Matriz de Contradição da TRIZ - algumas informações dos princípios inventivos da TRIZ podem ser aplicadas no domínio de projeto de componentes injetados;
- ii) Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados - o conhecimento tácito e explícito de especialistas expresso através de princípios de solução de componentes injetados.

Por se tratar de um processo de natureza criativa, os demais métodos intuitivos e sistemáticos de criatividade também devem ser empregados, simultaneamente, àquele apresentado para gerar os princípios de solução de componentes injetados. Entre os métodos intuitivos destacam-se o brainstorming, sinergia, analogias, listagem de atributos, etc. Nos métodos sistemáticos encontram-se o método a matriz morfológica, a análise de valor e a função síntese.

• **Tarefa 2.1.3. Gerar as alternativas de concepção do componente injetado:** Os princípios de solução obtidos na tarefa 2.1.2 constituem uma solução específica para as funções do componente injetado. Neste momento, estas soluções isoladas devem ser combinadas e agrupadas formando, assim, a alternativa de concepção do componente injetado.

Para auxiliar a execução desta tarefa sugere-se, principalmente, o emprego da ferramenta da Matriz Morfológica, desenvolvida por Zwicky (1948). Nas linhas desta matriz, conforme exemplificado na figura 4.25, são listadas as funções do componente injetado. Nas colunas são apresentados os princípios de solução que desempenham as funções. Desta forma, a equipe de projeto analisando linha por linha da matriz, deve selecionar um princípio de solução. Assim, combinando as linhas da matriz morfológica são geradas as possíveis soluções para o problema, as quais são representadas pelas alternativas de concepção do componente injetado.

Figura 4.25. Representação esquemática da matriz morfológica (Zwicky,1948).

Lista de funções do componente injetado	Princípios de solução que desempenham as funções do componente injetado				
Guiar material					
Encaixar sensor					
Rotacionar guias			...		

A geração de concepções para o componente propriamente dita envolve a combinação dos princípios de solução, a qual deve ser realizada considerando aspectos técnicos e econômicos, sob determinados critérios. De acordo com Ogliari (1999), coloca-se que a questão principal é definir quais são os critérios mais apropriados para se realizar a geração das alternativas de concepção. Nesta linha, Ogliari (1999) com base no trabalho de Roozenburg e Eekels (1995), propôs que a geração de alternativas de concepção ocorra através do emprego de estratégias de eliminação e combinação de princípios de solução, por meio da atribuição de valores aos seus atributos.

Desta forma, como ilustrado na figura 4.26, considerando os objetivos definidos nesta Tese, propõe-se que a geração de alternativas de concepções do componente injetado ocorra considerando a abordagem apresentada por Ogliari (1999) sendo os critérios empregados para se realizar a combinação e a eliminação de princípios de solução e as especificações de projeto do componente injetado definidas na fase de projeto informacional.

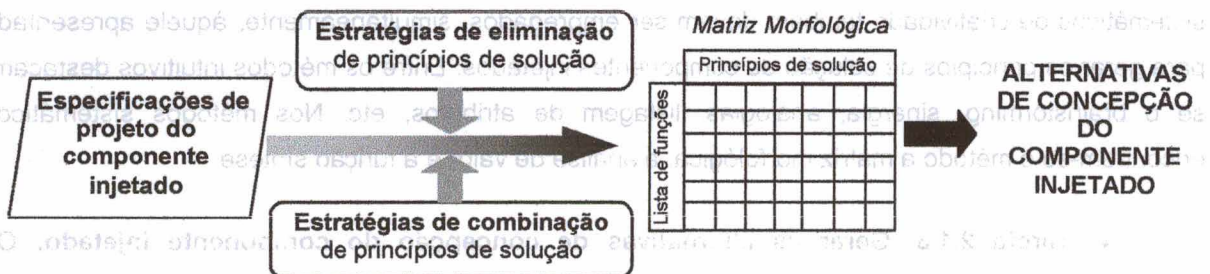


Figura 4.26. Abordagem proposta para gerar alternativas de concepção de componentes injetados.

Assim, inicialmente, a equipe de projeto, empregando as estratégias de eliminação de princípios de solução estabelecidas com base nas especificações de projeto, busca excluir da matriz morfológica aqueles princípios que não se mostram adequados ao projeto. Em se tratando das especificações de projeto, devem ser consideradas, principalmente, as informações relativas às restrições e às diretrizes de projeto do componente injetado, obtidas na fase de projeto informacional.

A partir das informações provenientes das restrições de projeto, a equipe de projeto deve preservar na Matriz Morfológica aqueles princípios de solução identificados na etapa 1.5 da metodologia proposta, quando da definição das restrições de projeto do componente injetado.

Por exemplo, considere o projeto de uma bandeja manufaturada pelo processo de injeção de resina plástica, que deve ser fixada a uma estrutura metálica. Nesta situação, uma das funções do componente injetado é "prover fixação", que pode ser desempenhada por diferentes princípios de solução. O estudo das restrições geométricas do componente injetado associadas ao sistema técnico, realizado na fase de projeto informacional, resultou que a fixação entre esta bandeja e a estrutura metálica será realizada empregando parafusos. Neste caso, na matriz morfológica, o princípio de solução da função "prover fixação" representado pelo parafuso deve ser mantido na matriz, enquanto os demais princípios relativos a esta função podem ser excluídos. Ainda, por exemplo, supondo a seguinte restrição de projeto associada ao molde de injeção "o ferramental não deve possuir gavetas". Neste caso, todos aqueles princípios que levem à necessidade de se empregar mecanismos com gavetas para extrair o componente da cavidade do molde de injeção devem ser excluídos da matriz morfológica.

Em termos econômicos, na geração de alternativas de concepção de componentes injetados, devem ser considerados os custos relacionados ao ciclo de vida deste tipo do produto. Assim, os princípios de solução, que levem a uma concepção com custos fora do especificado podem ser excluídos da matriz morfológica. Como, nesta etapa, a equipe de projeto ainda não dispõe dos valores de custo destes princípios de solução, sugere-se configurar os custos do ciclo de vida dos princípios de solução, sob uma dada escala qualitativa (por exemplo, custo de material alto, custo de operação moderado, custo do molde de injeção baixo), e empregar este valor na eliminação daqueles princípios que se mostrem inadequados. Por exemplo, o princípio de solução do tipo "snap" pode ser projetado de modo a requerer ou não a presença de molde de injeção com gavetas. Considerando a abordagem proposta, o custo do molde de injeção para o caso do snap que não requer gaveta é baixo, enquanto o outro é elevado.

Como resultado, ao final do emprego das estratégias de eliminação, o número de princípios de solução relacionados na matriz morfológica ficam reduzidos. Considerando os princípios remanescentes, a equipe de projeto deve combiná-los com base nas especificações de projeto, principalmente, considerando as informações oriundas das diretrizes de projeto do componente injetado e os atributos dos princípios de solução. Como o conhecimento e a experiência de especialistas no projeto de componentes injetados está registrado nestas diretrizes, assim pode-se assegurar com maior propriedade que o projeto destes produtos ocorra segundo as características e as peculiaridades inerentes a esta atividade.

Em termos econômicos, na combinação de princípios de solução, visando a geração de alternativas de concepção, também devem ser considerados os custos relacionados ao ciclo de vida do componente injetado. Desta forma, por exemplo, caso as especificações indiquem a necessidade de obter soluções que levem a valores de custo do produto mais reduzido, aqueles princípios de solução que apresentam custos menores podem ser priorizados neste processo de combinação.

Ao final desta etapa, considerando os procedimentos propostos, a equipe de projeto tem disponível um conjunto de alternativas de concepção do componente injetado. É importante ressaltar que, ao se eliminar e combinar princípios de solução na matriz morfológica, a equipe de projeto tenha em mente e procure uma visão holística do projeto do produto, isto é, visualize o mesmo como um



todo, principalmente, de modo a verificar aspectos que influenciam a sua moldabilidade, a manufaturabilidade do molde, além do seu custo, qualidade e desempenho no ciclo de vida.

A seguir, segundo a metodologia proposta, a equipe de projeto deve estimar o custo das alternativas geradas e, posteriormente, selecionar a mais adequada.

#### 4.2.2. Etapa 2.2: Estimativa do Custo das Alternativas de Concepção do Componente Injetado

Segundo a metodologia proposta, neste momento, a equipe de projeto deve estimar o custo das alternativas de concepções geradas para o componente injetado, a fim de que, posteriormente, a seleção da concepção do produto seja realizada considerando, simultaneamente, aspectos técnicos e econômicos.

Considerando o resultado do estudo apresentado no Capítulo 3, são propostos dois métodos para estimar o custo direto unitário de componentes injetados na fase de projeto conceitual. São eles:

i) O primeiro, denominado de **método de estimativa do custo do ciclo de vida do componente injetado**, busca determinar o custo direto unitário do componente injetado através da estimativa dos tempos necessários para manufaturar o produto, além do custo do material. Em outras palavras, o custo direto do componente injetado é estimado através da determinação do tempo de injeção, aplicação da pressão de recalque, extração e reset da injetora, além dos custos diretos de material e do molde de injeção.

ii) O segundo, denominado de **método de similaridade de estimativa de custo**, visa determinar o custo direto do componente injetado em desenvolvimento através da comparação de suas características com produtos similares, cujos custos diretos são conhecidos.

Considerando estes aspectos, na figura 4.27, é proposta uma sistemática para auxiliar a estimativa do custo das alternativas de concepção do componente injetado.

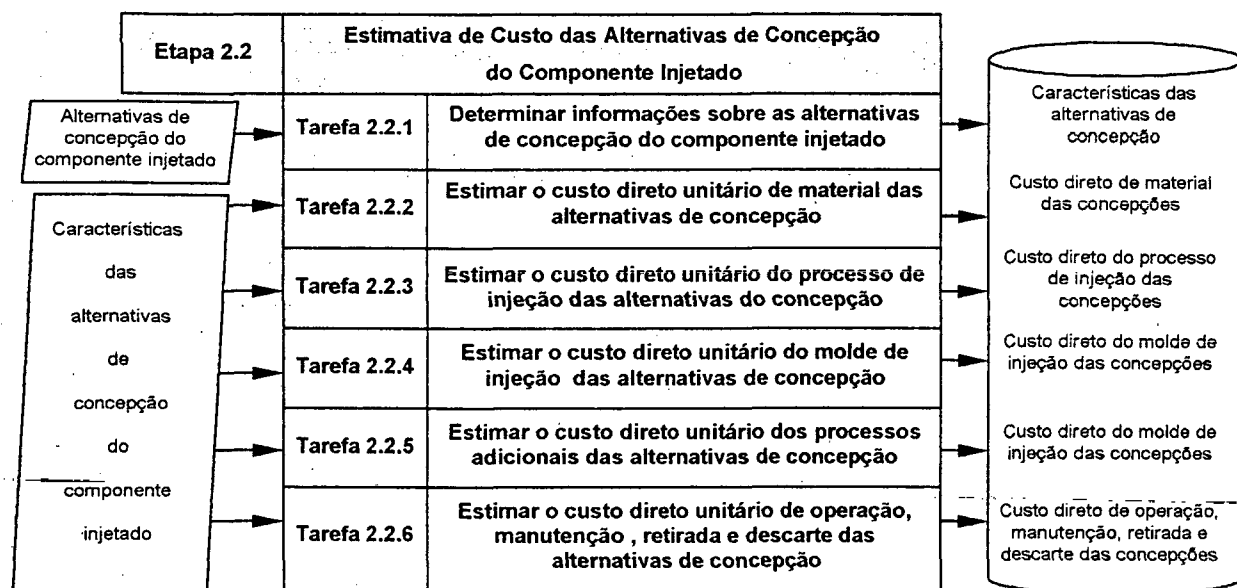


Figura 4.27. Processo de estimativa de custo de componentes injetados.

A seguir, cada uma destas tarefas será detalhada, considerando os métodos de estimativa do custo do ciclo de vida e de similaridade.

• **Tarefa 2.2.1: Determinar informações sobre as alternativas de concepção do componente injetado:** De acordo com Pahl e Beitz (1996), na fase de projeto conceitual, as alternativas de concepção não possuem informações em número suficientes e claras para se realizar uma adequada estimativa do seu custo.

Para viabilizar a estimativa do custo das alternativas de concepção de produtos, Pahl e Beitz (1996) colocam que é necessário levantar informações sobre os princípios de solução que a compõem, assim como, sobre produtos similares. Estas informações são, basicamente, as características técnicas e econômicas das alternativas de concepção e seus respectivos parâmetros relacionados ao processo, molde e material de injeção. Uma síntese das informações a serem levantadas sobre as concepções e os componentes similares, denominadas de direcionadores de custos, está sintetizada na tabela 4.15.

Tabela 4.15. Informações a serem levantadas sobre as alternativas de concepção e componente injetados similares visando a estimativa de custo das concepções geradas.

INFORMAÇÕES	ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÃO	COMPONENTES INJETADOS SIMILARES
Propriedades e características do componente injetado	Espessura da parede, profundidade, volume, quantidade de material, peso e quantidade a ser produzida	Espessura da parede, profundidade, volume, quantidade de material, peso e quantidade produzida e custo direto unitário do componente
Parâmetros e propriedades do processo de injeção	Especificação da injetora, vazão de injeção, pressão de injeção, potência da injetora, custo por hora da máquina injetora, perdas do processo, rendimento, número de processos adicionais, nome do processo adicional e custo por unidade de tempo de cada processo adicional	Especificação da injetora, vazão de injeção, pressão de injeção, potência da injetora, custo por hora da máquina injetora, tempo de injeção, tempo de resfriamento, tempo de reset, tempo de aplicação da pressão de recalque, tempo de ciclo seco, perdas do processo, rendimento, número de processos adicionais, nome do processo adicional e custo por unidade de tempo de cada processo adicional;
Parâmetros e propriedades do molde de injeção	Especificação do molde, custo da cavidade, volume de material injetado, número de cavidades, temperatura do molde de injeção, volume do canal de injeção, custo do molde de injeção e preço do porta molde;	Especificação do molde, custo da cavidade, volume de material injetado, número de cavidades, temperatura do molde de injeção, volume do canal de injeção, custo do molde de injeção e preço do porta molde
Parâmetros e propriedades do material de injeção	Especificação do material, densidade, custo por unidade de peso, calor específico, condutividade térmica, temperatura de extração, temperatura de injeção e difusividade térmica;	Especificação do material, densidade, custo por unidade de peso, calor específico, condutividade térmica, temperatura de extração, temperatura de injeção e difusividade térmica;
Parâmetros de custo	Custo meta, lucro unitário e preço unitário	Custo meta, lucro unitário, preço unitário, custo direto unitário de material de injeção, custo direto unitário do processo de injeção, custo direto unitário do molde de injeção, custo direto unitário dos processos de manufatura adicionais, custo direto unitário de embalagem, custo direto unitário de transporte, custo direto unitário de operação, custo direto unitário de manutenção, custo direto unitário de retirada, custo direto unitário de descarte;

O levantamento e a identificação destas informações foram realizados, previamente, na fase de projeto informacional, quando da preparação das informações de custos. Para auxiliar este levantamento pode ser empregado o formulário apresentado na figura D.1 do Anexo D desta Tese.

Com base nestas informações, a equipe de projeto tem condições de estimar os custos do ciclo de vida de componentes injetados com maior propriedade, os quais compreendem: custos diretos unitários de material de injeção, de processo de injeção, do molde de injeção, dos processos de manufatura adicionais, de operação, de manutenção, de retirada e de descarte do componente. Entretanto, devido à complexidade da estimativa do custo de embalagem, transporte, operação, manutenção, retirada e descarte, considerando o escopo desta Tese, a estimativa destes custos não será tratada de forma detalhada neste estudo.

Sendo assim, o custo direto unitário das alternativas de concepção geradas para o componente injetado pode ser estimado considerando os custos diretos unitários associados ao material, processo e molde de injeção, além dos custos incorridos nos processos de manufatura adicionais, conforme apresentado na equação (4.7).

$$CDU_{COMP} = CDU_{MAT} + CDU_{PROC} + CDU_{MOLDE} + CDU_{PROC ADIC} \quad (4.7)$$

onde:  $CDU_{COMP}$  = Custo direto unitário do componente injetado (R\$);

$CDU_{MAT}$  = Custo direto unitário do material do componente injetado (R\$);

$CDU_{PROC}$  = Custo direto unitário do processo de injeção do componente (R\$);

$CDU_{MOLDE}$  = Custo direto unitário do molde de injeção (R\$);

$CDU_{PROC ADIC}$  = Custo direto unitário de processos de manufatura adicionais (R\$).

A seguir, a estimativa destes custos será tratada de forma detalhada e separada.

• **Tarefa 2.2.2: Estimar o custo direto unitário de material das alternativas de concepção do componente injetado:** pode ser estimado pelo método do ciclo de vida, considerando o volume estimado do componente, do canal de injeção e as perdas do processo de injeção, empregando-se as equações (3.2) e (3.3) descritas no Capítulo 3 desta Tese.

É importante ressaltar que, na fase de projeto conceitual, a precisão das informações necessárias para determinar o custo de material pode ser baixa ou não estarem disponíveis, fatos que poderiam gerar resultados pouco expressivos. Para minimizar esse problema, a equipe de projeto pode adotar faixas de valores para as variáveis das equações disponíveis para estimar o custo de material ou empregar informações disponíveis sobre produtos similares, conforme descrito a seguir.

A estimativa do custo direto unitário de material da alternativa do componente injetado ( $CDU_{MAT N}$ ) também pode ser realizada empregando-se o método da similaridade. Para isto, podem ser empregadas as equações (4.8), (4.9) e (4.10), onde o índice "N" refere-se a informações provenientes do componente em desenvolvimento e o índice "S" refere-se a informações provenientes do componente similar. Neste caso, os fatores de similaridade são  $\phi_v$  e  $\phi_{CDU mat}$

$$CDU_{MAT N} = \phi_{CDU mat} \cdot CDU_{MAT S} \quad (4.8)$$

$$\varphi_v = \frac{V_n}{V_s} \quad (4.9)$$

$$\varphi_{CDU_{mat}} = \frac{(C_{MAT/kg} \cdot \rho_{MAT} \cdot S)_N}{(C_{MAT/kg} \cdot \rho_{MAT} \cdot V_S)_S} \cdot \varphi_i + \frac{(C_{MAT/kg} \cdot \rho_{MAT} \cdot V_{CANAL})_N \cdot (n_{CAV}^o)_S}{(C_{MAT/kg} \cdot \rho_{MAT} \cdot V_{CANAL})_S \cdot (n_{CAV}^o)_N} \quad (4.10)$$

onde,  $CDU_{MAT N}$  = Custo direto unitário de material do componente injetado novo (R\$);

$CDU_{MAT S}$  = Custo direto unitário de material do componente injetado similar (R\$);

$\varphi_v$  = fator de similaridade volumétrico;

$\varphi_{CDU_{mat}}$  = fator de similaridade do custo direto unitário de material;

$\rho_{MAT}$  = densidade do material a ser injetado ( $kg/m^3$ );

$C_{MAT/kg}$  = Custo de material do componente injetado por kg (R\$/kg);

$V_{COMP}$  = Volume do componente injetado ( $m^3$ );

$V_{CANAL}$  = Volume do canal de injeção ( $m^3$ ), que deve ser considerada se injeção à frio;

$n_{CAV}^o$  = Número de cavidade do molde de injeção;

• **Tarefa 2.2.3: Estimar o custo direto unitário do processo de injeção das alternativas**

**de concepção do componente injetado:** como colocado, pode ser determinado empregando-se o método do ciclo de vida ou o método da similaridade. Em ambos métodos, o custo direto do processo de injeção do componente injetado pode ser estimado através da equação (4.11) e (4.12).

$$CDU_{PROC/COMP} = \frac{CD_{PROC/H}}{3600} \cdot \frac{1}{\eta_{PROC}} \cdot \frac{1}{n_{CAV}^o} \cdot (t_{REC} + t_{INJ} + t_{RESF} + t_{RESET}) \quad (4.11)$$

$$\eta_{PROC} = \frac{\text{Número total de horas de produção de componentes bons}}{\text{Número total de horas que a injetora está disponível para o molde}} \quad (4.12)$$

onde:  $CDU_{PROC}$  = Custo direto unitário do processo do componente injetado (R\$);

$CD_{PROC/HORA}$  = Custo unitário direto do processo por hora de produção (R\$/h);

$\eta_{PROC}$  = Rendimento do processo de injeção do componente injetado (%);

$n_{CAV}^o$  = Número de cavidades do molde de injeção (Número);

$t_{REC}$  = Tempo de aplicação da pressão de recalque do componente injetado (s);

$t_{INJ}$  = Tempo de injeção do componente injetado (s);

$t_{RESF}$  = Tempo de resfriamento do componente injetado (s);

$t_{RESET}$  = Tempo de reset da máquina de injeção. Este tempo está calculado considerando o tempo de abertura, extração e fechamento do molde de injeção (s);

Assim, o problema da estimativa do custo do componente injetado envolve a estimativa dos tempos de aplicação da pressão de recalque, injeção, resfriamento do componente injetado e reset da máquina injetora. Na sequência, será descrita a estimativa destes tempos através do método do ciclo de vida. E, posteriormente, por intermédio do método de similaridade de estimativa de custo.

Da mesma forma, ressalta-se que, a precisão das informações necessárias para determinar estes tempos pode ser baixa ou não estar disponíveis. Nestes casos, também recomenda-se a equipe de projeto adotar faixas de valores para as variáveis das equações ou empregar informações disponíveis sobre produtos similares.

**a) Estimativa pelo método dos tempos do ciclo de vida:**

A estimativa do **tempo de injeção do componente ( $t_{INJ}$ )** pode ser efetuada em função da quantidade de material injetado, da potência da máquina injetora e da pressão de injeção, empregando-se a equação (3.8) do Capítulo 3 desta Tese, proposta por Boothroyd *et al.* (1994) e Smith (1999). De acordo com Belosksky (1995), o tempo de injeção do componente ( $t_{INJ}$ ) também pode ser estimado considerando, somente, o volume de material injetado e a vazão de injeção da máquina, conforme descrito na equação (3.10).

O **tempo de aplicação da pressão de recalque ( $t_{REC}$ )** pode ser estimado assumindo que o mesmo é dado por um valor percentual do tempo de injeção do componente, conforme descrito na (3.7) do Capítulo 3 desta Tese.

O **tempo de resfriamento do componente ( $t_{RESF}$ )** pode ser estimado considerando o valor da espessura máxima da parede do material, as temperaturas recomendadas de injeção do material, do molde e de extração do componente, além do coeficiente de difusividade térmica do material. Este tempo pode ser calculado considerando um fluxo de calor unidimensional entre duas placas, como descrito nas equações (Boothroyd *et al.*; 1994). Neste sentido, dependendo do tipo de produto, podem ser empregadas as equações (3.18), (3.19), (3.20) e (3.21) propostas por Belosfsky (1995), descritas no Capítulo 3 desta Tese

Além disto, também podem ser empregadas as equações (3.22) e (3.23), apresentadas em C-Mold Reference Manual (1999), que considera a máxima espessura e parâmetros relacionados ao material de injeção das alternativas de concepção.

A **estimativa do tempo de reset da injetora ( $t_{RESET}$ )**, o qual engloba os tempos de abertura do molde de injeção, extração do componente e fechamento do molde. Segundo Boothroyd *et al.* (1994), pode ser estimado empregando-se a equação (3.24) descrita no Capítulo 3 desta Tese.

Desta forma, empregando-se o resultado dessas equações, a equipe de projeto do produto tem como resultado os tempos estimados do ciclo de injeção das alternativas de concepção do componente injetado. Estes valores juntamente com o rendimento do processo de injeção, e o número de cavidades do molde de injeção são empregados nas equações (4.11) e (4.12) para estimar o custo direto unitário do processo de injeção das alternativas do componente injetado.

A seguir, será apresentada a estimativa do custo de componentes injetados empregando-se o método de similaridade, proposto nesta Tese.

**b) Estimativa pelo método da similaridade:** este método, desenvolvido considerando a abordagem de Pahl e Beitz (1996), busca estimar o custo do processo de injeção do componente injetado em desenvolvimento a partir do conhecimento de informações técnicas e econômicas de produtos similares. Nesta proposição, foram consideradas, as equações (3.7), (3.10), (3.22), (3.23) e (3.24) do método do ciclo de vida, as quais estão replicadas nas equações (4.13), (4.14), (4.15), (4.16) e (4.17).

$$t_{INJ} = \frac{2 \cdot V_s}{v_{INJ}} \quad (4.13)$$

$$t_{REC} \cong 0,2 \cdot t_{INJ} \quad (4.14)$$

$$t_{RESF} = \frac{(\Delta z)^2}{4 \cdot e} \quad (4.15)$$

$$e = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad (4.16)$$

$$t_{RESET} = 1 + 1,75 \cdot t_{cs} \cdot \left[ \frac{(2D + 0,05)}{A_{MAQ}} \right]^{1/2} \quad (4.17)$$

- onde:  $t_{INJ}$  = Tempo de injeção do componente (s);  
 $t_{REC}$  = Tempo de aplicação da pressão de recalque do componente (s);  
 $t_{RESF}$  = Tempo de resfriamento do componente (s);  
 $t_{RESET}$  = Tempo de reset da máquina injetora (s);  
 $V_s$  = Volume de material injetado, considerando o volume do canal de injeção (m<sup>3</sup>);  
 $v_{INJ}$  = Vazão de injeção (m<sup>3</sup>/s);  
 $\Delta z$  = Maior espessura do componente (m);  
 $e$  = coeficiente de difusividade térmica (m<sup>2</sup>/s);  
 $k$  = Condutividade térmica do polímero (W/m.K);  
 $C_p$  = Calor específico do polímero (J/kg.K);  
 $\rho$  = Densidade do polímero (kg/m<sup>3</sup>);  
 $t_{cs}$  = Tempo de ciclo seco (s);  
 $D$  = Máxima profundidade do componente (m);  
 $A_{MAQ}$  = Abertura máxima da máquina de injeção para extração do componente (m);

O desenvolvimento deste método está detalhado na Anexo N desta Tese. Como resultado, para estimar o custo direto unitário do processo de injeção de componentes injetados pelo método da similaridade podem ser empregadas as equações (4.18), (4.19), (4.20), (4.21), (4.22) e (4.23), onde o índice "s" é usado para designar componente similar (existente) e o índice "n" para designar componente a ser projetado (em desenvolvimento).

$$CDU_{PROC\ n} = \varphi_{CDU\ proc} \cdot CDU_{PROC\ s} \quad (4.18)$$

$$\varphi_{CDU\ PROC} = a_3 \beta'_3 \cdot \varphi_{v3} + a_2 \beta'_2 \cdot \varphi_{12}^2 + a_1 \beta'_1 \cdot (\varphi_{11})^{1/2} + \beta'_0 \cdot a_0 \quad (4.19)$$

$$\varphi_{v3} = \frac{V_{inj\ n}}{V_{inj\ s}}; \quad \varphi_{12} = \frac{\Delta Z_{COMP\ n}}{\Delta Z_{COMP\ s}}; \quad \varphi_{11} = \frac{(2 \cdot D + 0,05)_{COMP\ n}}{(2 \cdot D + 0,05)_{COMP\ s}} \quad (4.20)$$

$$a_3 = \frac{CDU_{PROCINJ\ s} + CDU_{PROCREC\ s}}{CDU_{PROC\ s}}; \quad a_2 = \frac{CDU_{PROCRESF\ s}}{CDU_{PROC\ s}}; \quad a_1 = \frac{CDU_{PROCRESET\ s}}{CDU_{PROC\ s}}; \quad a_0 = \frac{Cte}{CDU_{PROC\ s}} \quad (4.21)$$

$$\beta'_0 = \frac{(b \cdot c \cdot d)_N}{(b \cdot c \cdot d)_S}; \quad \beta'_3 = \frac{(b \cdot c \cdot d)_N}{(b \cdot c \cdot d)_S} \cdot \frac{v_{INJ\ S}}{v_{INJ\ N}} \quad (4.22)$$

$$\beta'_2 = \frac{(b \cdot c \cdot d \cdot e)_N}{(b \cdot c \cdot d \cdot e)_S}; \quad \beta'_1 = \frac{(t_{cs} \cdot b \cdot c \cdot d)_N}{(A_{MAQ})_N^{1/2}} \cdot \frac{(A_{MAQ})_S^{1/2}}{(t_{cs} \cdot b \cdot c \cdot d)_S} \quad (4.23)$$

$$b = CD_{PROC\ n}; \quad c = \frac{1}{\eta_{PROC}}; \quad d = \frac{1}{n^{\circ} cav}; \quad e = \frac{\rho \cdot C_p}{k}$$

onde:  $CDU_{PROC_n}$  = Custo direto unitário do processo do componente em desenvolvimento (R\$), resultado que se deseja obter;

$CDU_{PROC_s}$  = Custo direto unitário do processo do componente similar (R\$);

$\varphi_{v3}, \varphi_{I2}$  e  $\varphi_{I1}$  = fator de similaridade entre o componente injetado em desenvolvimento e o componente injetado similar;

$V_{inj}$  = Volume de material injetado, considerando o volume do canal de injeção ( $m^3$ );

$\Delta z$  = Maior espessura do componente (m);

$D$  = Máxima profundidade do componente (m);

$a_3, a_2, a_1$  e  $a_0$  = parcela do custo direto unitário de cada etapa do ciclo de injeção sobre o custo direto unitário do processo de injeção do componente similar Na tabela N.1 correspondem aos valores de  $a_0, a_1, a_2$  e  $a_3$ ;

$CDU_{PROC_s}$  = Custo unitário direto do processo de injeção do componente injetado (R\$);

$CDU_{PROC_{RESF_s}}$  = Custo unitário direto da etapa de resfriamento do componente injetado (R\$);

$CDU_{PROC_{INJ_s}}$  = Custo unitário direto da etapa de injeção do componente injetado (R\$);

$CDU_{PROC_{REC_s}}$  = Custo unitário direto da etapa de recalque do componente injetado (R\$);

$CDU_{PROC_{RESET_s}}$  = Custo unitário direto da etapa de reset do componente injetado (R\$);

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$  e  $\beta_4$  = constantes;

$CDU_{PROC/h}$  = Custo direto unitário do processo de injeção por hora (R\$/h);

$k$  = Condutividade térmica do polímero (W/m.K)

$C_p$  = Calor específico do polímero (J/kg.K)

$\rho$  = Densidade do polímero ( $kg/m^3$ )

$t_{cs}$  = Tempo de ciclo seco (s);

$A_{MAQ}$  = Abertura máxima da máquina de injeção para extração do componente (m);

$\eta_{PROC}$  = Rendimento do processo de injeção do componente injetado (%);

$n^{\circ}_{CAV}$  = Número de cavidades do molde de injeção;

Desta forma, empregando-se o resultado destas equações, a equipe de projeto pode estimar o custo direto unitário do processo de injeção do componente injetado em desenvolvimento com base nos custos de componentes injetados similares.

- **Tarefa 2.2.4: Estimar o custo direto unitário do molde de injeção das alternativas de concepção do componente injetado:** segundo a abordagem proposta nesta Tese, o valor de custo do molde de injeção (no caso, o seu preço, quando adquirido de terceiros) será considerado uma informação de entrada ao processo de estimativa do custo do componente injetado.

Desta forma, a parcela do custo direto unitário do componente injetado devido ao molde de injeção, pode ser calculada empregando-se a equação (4.24):

$$CDU_{MOLDE} = \frac{\text{Preço do Molde de Injeção}}{N^{\circ} \text{ componente s produzidos com o molde de injeção}} \quad (4.24)$$

onde:  $CDU_{MOLDE}$  = Custo direto unitário do componente injetado devido ao molde de injeção (R\$);

$C_{MOLDE}$  = Custo do molde de injeção ou preço do molde, quando adquirido de terceiros (R\$);

• **Tarefa 2.2.5: Estimar o custo direto unitário dos processos de manufatura adicionais das alternativas de concepção do componente injetado:** propõe-se que seja realizada com base nos tempos ( $t_{manuf}$ ) para realizar  $n$  operações associadas ao processo de manufatura necessárias para conceber o componente injetado. Esta estimativa pode ser realizada multiplicando este tempo pelo custo direto por unidade de tempo ( $CD_{PROC/TEMPO}$ ) de cada uma das  $n$  operações do processo de manufatura adicionais, conforme descrito na equação (4.25).

$$CDU_{PROC ADIC} = \sum_{i=1}^n CD_{PROC/TEMPO i} \cdot t_{manuf i} \quad (4.25)$$

onde:  $CDU_{PROC ADIC}$  = Custo direto unitário do componente injetado devido aos processos de manufatura adicionais (R\$);

$CD_{PROC/TEMPO i}$  = Custo direto por unidade de tempo de cada um dos  $n$  processo de manufatura adicionais (R\$/s);

$n$  = número de processos de manufatura adicionais do componente injetado;

$t_{manuf i}$  = Tempo de manufatura necessário para conceber o produto, calculado para cada um dos  $n$  processos de manufatura adicionais;

• **Tarefa 2.2.6: Estimar o custo direto unitário de operação, manutenção, retirada e descarte das alternativas de concepção do componente injetado:** devido à dificuldade e a complexidade de modelar matematicamente esses custos, a estimativa dos mesmos não pode ser realizada de maneira direta..

Para estimar o custo direto unitário de operação e manutenção das alternativas de concepção, propõe-se avaliar a influência do componente injetado sobre os custos de operação e manutenção do sistema técnico e sobre o meio ambiente no qual está inserido o produto. Em outras palavras, é necessário avaliar como as alternativas de concepção geradas podem influenciar o custo de operação e manutenção do sistema técnico e do meio ambiente. Por exemplo, consideramos duas alternativas de concepção de um componente injetado hipotético, que diferem apenas nos sistemas de fixação do componente ao gabinete da máquina. A primeira opção é do tipo engate rápido (snap) e a segunda utiliza um inserto com parafuso. Em se tratando da estimativa do custo de manutenção, considerando que seja necessário substituir o componente injetado, o tempo necessário para realizar esta substituição e, conseqüentemente, o custo da primeira concepção (engate rápido - snap) é menor em relação a segunda alternativa (parafusos), uma vez que para substituir a primeira concepção não é necessário empregar ferramentas especiais, além de ser menor o tempo despendido nessa operação.

Para estimar o custo direto da retirada e descarte das alternativas de concepção propõe-se avaliar a influência do componente injetado sobre os custos de retirada e descarte do sistema técnico e, principalmente sobre o meio ambiente no qual estão inseridos e empregados. Em outras palavras, deve-se avaliar como as alternativas de concepção geradas podem influenciar o custo de retirada e descarte associados ao sistema técnico e ao meio ambiente. Por exemplo, considerando as concepções descritas anteriormente, os custos de retirada e descarte da segunda alternativa de concepção (inserto com parafuso) são maiores pois, segundo os princípios de "Projeto para o Meio



Ambiente", para viabilizar a reciclagem de materiais faz-se necessário desmontar (separar) os mesmos, isto é, o inserto do parafuso deve ser separado do material plástico.

Com a conclusão desta etapa, segundo a metodologia proposta, foi apresentada uma série de tarefas que possibilitam à equipe de projeto, estimar o custo direto unitário do ciclo de vida das alternativas de concepções geradas para o componente injetado.

A seguir, será descrita a terceira etapa da fase de projeto conceitual da metodologia proposta, a qual envolve o processo de seleção da concepção mais adequada para o projeto do componente injetado.

#### **4.4.3. Etapa 2.3: Seleção da Concepção do Componente Injetado**

Na última etapa da fase de projeto conceitual do componente injetado, segundo a metodologia proposta, deve ocorrer a seleção da concepção do componente. Em parte, a avaliação das concepções ocorreram durante a combinação de princípios de solução na matriz morfológica. Entretanto, naquele momento, foram considerados os princípios de solução individuais. Nesta etapa, pretende-se avaliar as alternativas de concepção do componente injetado no seu conjunto.

A seleção da melhor alternativa de concepção para o projeto do componente injetado deve ser suportada por uma sistemática formalizada que, considerando as especificações de projeto (critérios de avaliação<sup>1</sup>) e as características das concepções geradas (ações<sup>1</sup>), visa fornecer subsídios suficientes à equipe de projeto (decisores<sup>1</sup>) para executar esta atividade

Para auxiliar a operacionalização desta etapa, propõe-se o emprego de um método de tomada de decisão multicritério. Assim, aspectos técnicos e econômicos envolvidos no projeto do componente integrada podem ser considerados de forma integrada e simultânea.

Segundo Ensslin (1995), o processo de tomada de decisão envolve duas fases. A primeira de análise e estruturação do problema de projeto e, visa auxiliar a identificação, a caracterização e a explicação das alternativas de concepção geradas, as quais serão comparadas entre si, em termos do seu desempenho face a um conjunto de critérios de avaliação. Nesta fase, são definidos os critérios, isto é, os requisitos de projeto a serem considerados na avaliação das concepções, denominados ponto de vista dos decisores (membros da equipe de projeto do produto). Em suma, nesta fase é formulado o problema de tomada de decisão.

Na segunda fase do processo de apoio à decisão ocorre a avaliação das alternativas de concepção, cujo objetivo é fornecer subsídios para que a equipe de projeto selecione a alternativa de concepção mais adequada ao projeto (Ensslin, 1995).

A metodologia proposta para apoiar o processo de seleção da concepção do componente injetado está ilustrada na figura 4.28. Esta proposição foi elaborada com base nos estudos de Bana e Costa (1992), Ensslin (1997) e Pugh (1995) e, procura concatenar simultaneamente aspectos técnicos e econômicos relacionados ao projeto do componente injetado. Em termos econômicos,

---

<sup>1</sup> Os termos pontos de vista, ações e decisores são típicos da nomenclatura de tomada de decisão. Sendo assim: as especificações de projeto podem ser denominados pontos de vista, as ações correspondem as alternativas de concepção e, os decisores referem-se a equipe de projeto.

nesta proposição destaca-se a possibilidade de desenvolver o componente segundo as abordagens de "Design to Cost" e "Design to Minimum Cost" (Mondem, 1999).

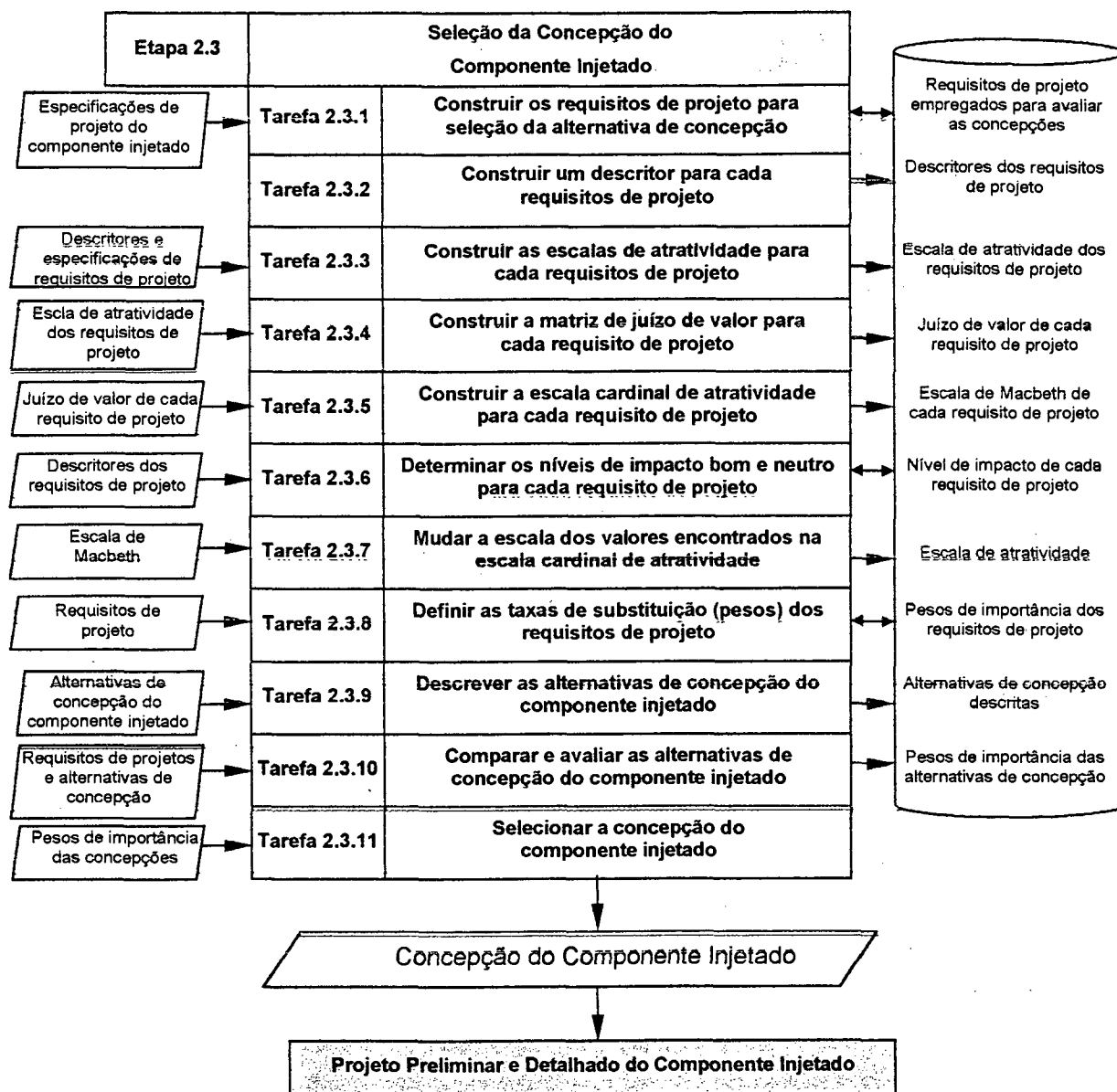


Figura 4.28. Processo de seleção da concepção do componente injetado.

Considerando esta proposição, a seguir cada uma destas tarefas será detalhada.

- **Tarefa 2.3.1: Construir os requisitos de projeto para seleção das alternativas de concepção:** considerando os requisitos de projeto obtidos na Etapa 1.6 da metodologia proposta, para iniciar o processo sugere-se a construção de uma árvore de critérios de seleção, também denominada de árvore de pontos de vista<sup>2</sup>. Esta árvore representa os requisitos de projeto do componente injetado agrupados conforme a natureza das informações, isto é, segundo a estrutura de atributos do componente injetado descrita na tabela E.2.

<sup>2</sup> Segundo Bana e Costa (1992), um ponto de vista é uma representação de um valor considerado importante o suficiente pelos envolvidos no processo de decisão (atores) para ser levado em consideração no processo de avaliação das alternativas de concepção (ação).

No caso do número de requisitos de projeto envolvidos no projeto do produto, provenientes da Matriz do QFD, mostrarem-se elevados, podem ser considerados somente aqueles mais importantes.

Na figura 4.29 está ilustrado um exemplo de uma árvore de pontos de vista de requisitos de projeto, considerando o desenvolvimento de um componente injetado hipotético.

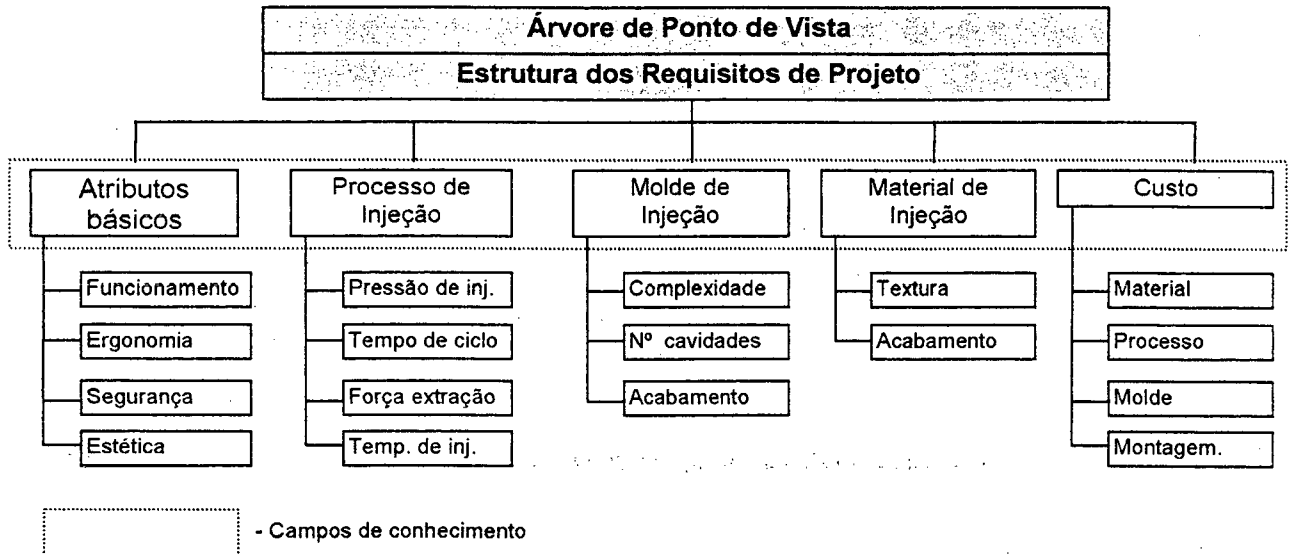


Figura 4.29. Exemplo de árvore de pontos de vista (requisitos de projeto de componentes injetados).

- **Tarefa 2.3.2: Construir um descritor para cada requisito de projeto:** após a definição dos requisitos de projeto, inicia-se a fase de operacionalização dos mesmos através da construção de um descritor para cada requisito de projeto (Ensslin, 1997). Estes descritores consistem de um conjunto de níveis de impacto para cada requisito de projeto, os quais servirão para identificar na etapa 2.4.10 da metodologia proposta, o desempenho de cada alternativa de concepção gerada para o componente injetado. No Anexo O, está apresentado um estudo explicativo sobre os tipos de descritores que, segundo Bana e Costa (1992) e que podem ser empregados nesta proposição.

No projeto de componentes injetados, esta abordagem é bastante coerente e fornece subsídios para avaliação do desempenho das alternativas de concepção frente aos diferentes requisitos de projeto, principalmente, para aqueles onde se tem dificuldade de atribuir informações mensuráveis (por exemplo, nível de complexidade do componente, nível de acabamento superficial, forma do componente, entre outros).

Para auxiliar esta construção, a equipe de projeto deve ter em mente as informações provenientes das especificações de projeto. Considerando por exemplo, o requisito "resistência estrutural do componente", um descritor direto pode ser "resistência estrutural" em  $\text{N/mm}^2$ . Assim, para este caso podem ser definidos os seguintes níveis de impacto:  $N_4$  - Resistência estrutural entre 15 e 20  $\text{N/mm}^2$ ;  $N_3$  - Resistência estrutural entre 10 e 14  $\text{N/mm}^2$ ;  $N_2$  - Resistência estrutural entre 5 e 9  $\text{N/mm}^2$ ; e,  $N_1$  - Resistência estrutural entre 1 e 4  $\text{N/mm}^2$ .

- **Tarefa 2.3.3: Construir uma escala de valores de atratividade para cada requisito de projeto:** com a definição dos descritores faz-se necessário construir escalas de atratividade para cada um dos requisitos de projeto, para que seja possível avaliar as alternativas de concepção. Para

auxiliar esta construção, Bana e Costa (1994) sugerem o emprego do método MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Technique). No Anexo O estão descritos maiores detalhes deste método.

Segundo Ensslin (1997), no método MACBETH, a equipe de projeto, a partir de seus julgamentos, constrói uma escala de valores para cada requisito de projeto. Esta construção envolve, basicamente, duas etapas. Na primeira, ocorre a definição da grandeza de cada requisito utilizada para medir o desempenho das alternativas de concepção (por exemplo, nível de resistência mecânica da parede do componente, nível do acabamento superficial do componente). Na segunda, ocorre o estabelecimento da escala de valores para as grandezas definidas.

Para construir a escala de valores de cada requisito de projeto, a equipe de projeto deve realizar a seguinte pergunta: "Dados os níveis de impactos de cada requisito de projeto, sendo a alternativa de concepção hipotética A mais atrativa que a alternativa de concepção hipotética B, a diferença de atratividade entre A e B é muito fraca, média ou forte ...?"

Para auxiliar este julgamento, recomenda-se a utilização de uma escala semântica, formada por algumas categorias de diferença de atratividade, conforme exemplificado a seguir: C<sub>1</sub> - Diferença de atratividade é muito fraca (1); C<sub>2</sub> - Diferença de atratividade é fraca (2); C<sub>3</sub> - Diferença de atratividade é moderada (3); C<sub>4</sub> - Diferença de atratividade é forte (4); C<sub>5</sub> - Diferença de atratividade é muito forte (5); e, C<sub>6</sub> - Diferença de atratividade é extrema (6). (Ensslin, 1997)

Assim, por exemplo, considerando os níveis de impactos definidos para o descritor "resistência estrutural" em N/mm<sup>2</sup>, a diferença de atratividade entre N<sub>4</sub> (resistência estrutural entre 15 e 20 N/mm<sup>2</sup>) e N<sub>2</sub> (Resistência estrutural entre 5 e 9 N/mm<sup>2</sup>) é forte (C<sub>4</sub>).

• **Tarefa 2.3.4: Construir a matriz de juízo de valor para cada requisito de projeto:** utilizando a escala semântica obtida na tarefa anterior, a equipe de projeto deve expressar o quanto atrativo é possuir duas concepções hipotéticas, com requisitos de projeto impactando em diferentes níveis. Este julgamento deve ser realizado para todos os níveis de requisitos possíveis e a equipe de projeto deve ter em mente as informações provenientes das especificações de projeto, obtidas na fase de projeto informacional.

Esta matriz, ilustrada na tabela 4.16, é do tipo triangular superior e mostra o juízo de valor para o requisito "resistência estrutural do componente". Neste caso, considerou-se as diferenças de atratividade C<sub>1</sub> (muito fraca), C<sub>2</sub> (fraca), C<sub>3</sub> (moderada), C<sub>4</sub> (forte), C<sub>5</sub> (muito forte) e C<sub>6</sub> (extrema). Nesta tabela, por exemplo, o valor em negrito indica que a diferença de atratividade de uma alternativa de concepção com resistência estrutural entre 15 e 20 N/mm<sup>2</sup> (N<sub>4</sub>) e a alternativa de concepção com resistência estrutural entre 5 e 9 N/mm<sup>2</sup> (N<sub>2</sub>) é forte(4).

Tabela 4.16. Matriz de juízo de valor para o requisito de projeto "resistência estrutural".

	N <sub>4</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>
N <sub>4</sub> - Resistência estrutural entre 15 e 20 N/mm <sup>2</sup>	-	3	<b>4</b>	5
N <sub>3</sub> - Resistência estrutural entre 10 e 14 N/mm <sup>2</sup>		-	3	4
N <sub>2</sub> - Resistência estrutural entre 5 e 9 N/mm <sup>2</sup>			-	3
N <sub>1</sub> - Resistência estrutural entre 1 e 4 N/mm <sup>2</sup>				-

É importante colocar que, quando a quantidade de níveis da escala de valores aumenta, pode ocorrer problemas de inconsistência de julgamentos, conforme descrito no Anexo O.

- **Tarefa 2.3.5: Construir a escala de avaliação para cada requisito de projeto:** nesta construção busca-se estabelecer uma escala de valores para os julgamentos realizados pela equipe de projeto. Para construir esta escala, optou-se pelo MACBETH, uma vez que possibilita a passagem de uma escala semântica, declarada pela equipe de projeto, para uma escala numérica, onde se possa mensurar o desempenho das alternativas de concepção numa mesma base. Nesse sentido, o MACBETH é um modelo para resolver o problema de construção da escala numérica através de uma função matemática.

Para auxiliar a operacionalização deste processo de construção pode ser empregado o programa MACBETH Versão 1.1<sup>®</sup> (1997) disponível na World Wide Web em <http://www.cised.pt/macbeth.htm>. Na tabela 4.17 se apresenta um exemplo da escala MACBETH para o requisito de projeto "resistência estrutural", conforme o julgamento da equipe de projeto mostrado na tabela 4.16. Os valores da escala foram obtidas empregando-se o referido software.

Tabela 4.17. Escala MACBETH para o requisito de projeto "resistência estrutural".

	N <sub>4</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala Macbeth
N <sub>4</sub>	-	3	4	6	100
N <sub>3</sub>		-	3	4	66,67
N <sub>2</sub>			-	3	33,33
N <sub>1</sub>				-	0

- **Tarefa 2.3.6: Determinar os níveis de impacto bom e neutro para cada requisito de projeto:** a equipe de projeto deve definir os níveis de impacto bom e neutro, dentre os vários níveis apresentados, para cada requisito de projeto. Este procedimento é necessário para eliminar a influência de níveis de impacto considerados muito negativos, segundo o avaliador, de forma a não prejudicar a determinação das taxas de substituição (pesos) de cada requisito.

Para auxiliar a determinação dos níveis de impacto bom e neutro, a equipe de projeto deve ter em mente o resultado das especificações de projeto, principalmente, os valores estabelecidos para as metas de cada requisito de projeto. Neste caso, o nível bom pode ser atribuído para o valor correspondente à meta. Na tabela 4.18 está representado o nível bom e o neutro para o requisito "resistência estrutural do componente".

Tabela 4.18. Identificação dos níveis de impacto bom e neutro do requisito "resistência estrutural".

	Resistência estrutural do componente
BOM	N <sub>4</sub> - Resistência estrutural entre 15 e 20 N/mm <sup>2</sup>
NEUTRO	N <sub>2</sub> - Resistência estrutural entre 5 e 9 N/mm <sup>2</sup>

Em termos econômicos, propõe-se que a equipe de projeto estabeleça os níveis de impacto dos requisitos de custo, considerando o valor do custo meta do componente injetado, o qual foi especificado na fase de projeto informacional. Nos Capítulos 2 e 3, colocou-se que o processo de

projeto pode ser conduzido segundo a abordagem de "projeto para o custo" e "projeto para o mínimo custo". (Mondem, 1999).

Na abordagem de projeto para o custo, deseja-se que o componente tenha um valor de custo estimado próximo ao custo-meta, considerando um nível de qualidade desejada e implementada. Logo, o nível BOM para o requisito custo estimado do componente deve ser atribuído àquele nível que contemplar o valor do custo-meta. E, o nível NEUTRO pode ser um daqueles inferiores ao custo meta, decidido de forma coerente.

Na abordagem de projeto para o mínimo custo deseja-se que o custo estimado do componente injetado seja o menor possível e inferior ao custo-meta, então o nível BOM deve ser aquela situação abaixo do custo-meta e o menor possível, estabelecido de maneira coerente. E, por sua vez, o nível NEUTRO pode ser aquele atribuído ao custo-meta.

Na figura 4.30 está ilustrado um exemplo da determinação dos níveis de impacto para o requisito de projeto "custo do componente injetado", considerando as abordagens citadas e um custo meta de R\$ 70,00. No projeto para o custo, o nível bom corresponde ao valor do custo meta. E, na abordagem de projeto para o mínimo custo o nível bom é atribuído ao nível de impacto R\$ 5,00.

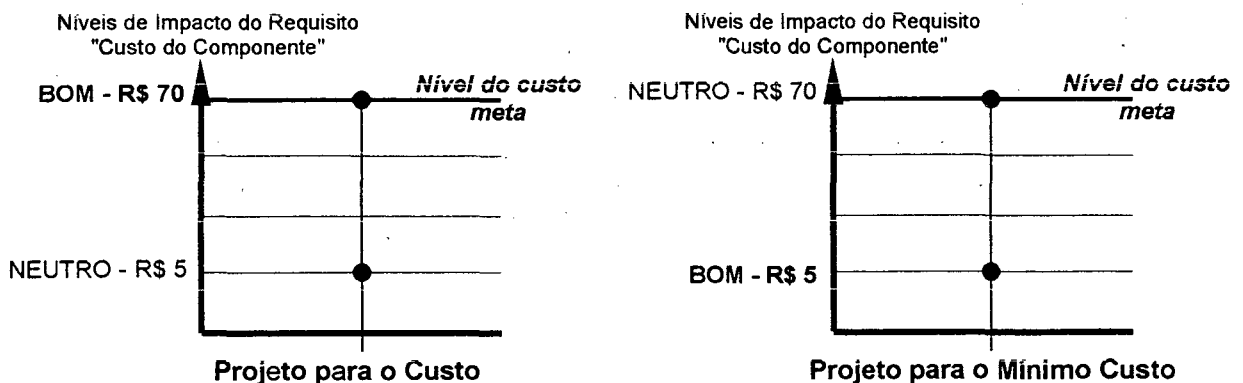


Figura 4.30. Diferença de níveis de impacto do requisito "custo do componente" nas abordagens de "projeto para o custo" e "projeto para o mínimo custo".

• **Tarefa 2.3.7: Alterar a escala dos valores encontrados pela metodologia Macbeth:** para avaliar as alternativas de concepção, considerando o resultado da determinação dos níveis de impacto bom e neutro para cada requisito de projeto, é necessário escalar novamente os valores encontrados na tarefa 2.3.5 pelo método MACBETH. Para isto, emprega-se a equação da reta (4.27):

$$V(a) = \mu(a) \cdot \alpha + \beta \quad (4.25)$$

onde,  $V(a)$  = valor da nova escala;

$\mu(a)$  = valor da escala de Macbeth;

$a$  = variável da equação;

$\alpha$  = coeficiente angular da equação da reta;

$\beta$  = constante da equação da reta;

Assim, considerando a escala de MACBETH para o requisito de projeto "resistência estrutural" e os níveis de impacto bom ( $N_4$ ) e neutro ( $N_2$ ), a mudança de escala MACBETH,

estabelecida na tabela 4.17, fornece os resultados apresentados na tabela 4.19. As equações (4.28), (4.29) e (4.30) foram empregadas para alterar as escalas.

$$\text{Equação 1: } 100 = 100 \cdot \alpha + \beta \tag{4.28}$$

$$\text{Equação 2: } 0 = 33,33 \cdot \alpha + \beta \tag{4.29}$$

$$\alpha = 1,50 \text{ e } \beta = -50 \tag{4.30}$$

Na figura 4.31 está ilustrado este processo de transformação de escalas.

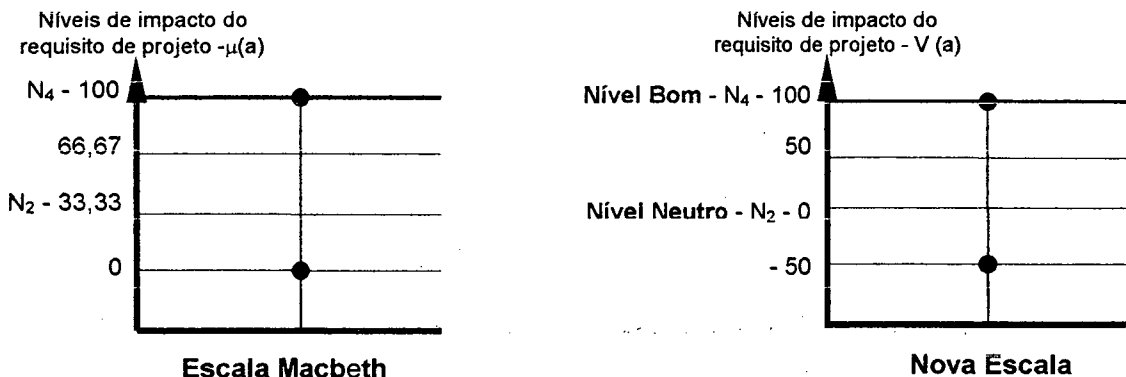


Figura 4.31. Transformação de escala para o requisito "resistência estrutural"

Na tabela 4.19 está representada a nova escala de valores para o requisito de projeto "resistência estrutural".

Tabela 4.19. Nova escala de valor para o requisito de projeto "resistência estrutural".

	N <sub>4</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala MACBETH - μ(a)	Nova Escala - V(a) = 1,50 · μ(a) - 50
N <sub>4</sub>	-	3	4	6	100	100
N <sub>3</sub>		-	3	4	66,67	50
N <sub>2</sub>			-	3	33,33	0
N <sub>1</sub>				-	0	- 50

• **Tarefa 2.3.8: Definir os pesos de importância dos requisitos de projeto:** o método MACBETH permite que, o mesmo tipo de procedimento utilizado para determinar a escala de valores de cada requisito de projeto seja empregado para obter os pesos de importância dos requisitos de projeto.

Entretanto, na metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados, propõe-se que, ao invés de utilizar os procedimento do método MACBETH, sejam empregados os pesos de importância dos requisitos de projeto obtidos na Primeira Matriz do QFD, resultado do relacionamento desses requisitos com as necessidades dos clientes, assim como, entre os requisitos de projeto na Matriz de Correlação do QFD, determinado na tarefa 1.7.6. Como estes pesos foram estabelecidos com base em discussões e extensiva análise entre os membros da equipe de projeto do produto, acredita-se que o resultado final obtido seja mais consistente.

A figura 4.31 sintetiza, esquematicamente, esta proposição. No caso, tem-se o emprego do método MACBETH para determinar os valores dos níveis de impacto de cada requisito de projeto e, o emprego da Primeira Matriz do QFD para definir os pesos de importância de cada requisito de projeto.

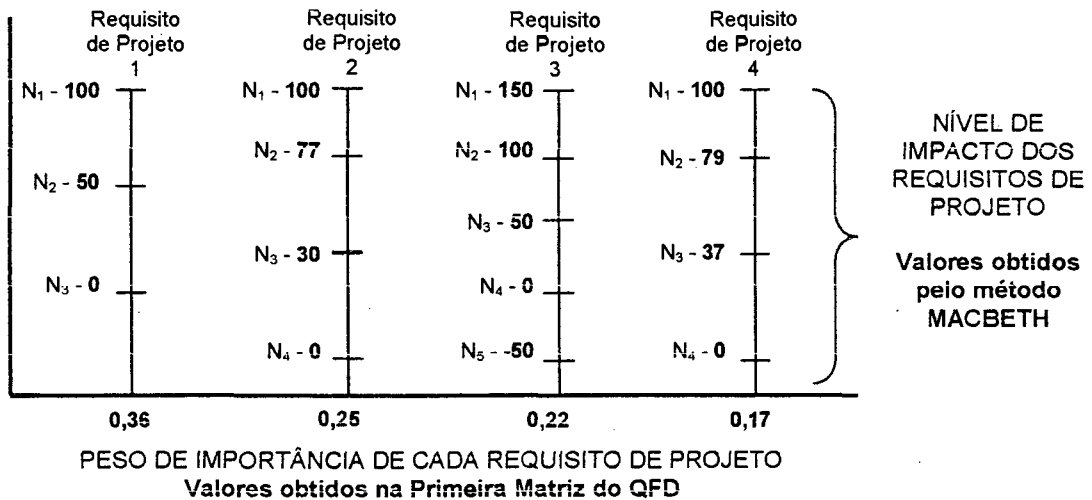


Figura 4.31. Emprego do método MACBETH para determinar o nível de impacto de cada requisito de projeto e a Primeira Matriz do QFD para determinar o peso de importância dos requisitos de projeto.

• **Tarefa 2.3.9: Descrição das alternativas de concepção do componente injetado:**

neste momento, as alternativas de concepção devem ser caracterizadas de forma objetiva considerando os descritores, determinado na tarefa 2.3.2.

Em outras palavras, a equipe de projeto deve identificar como as alternativas de concepção se enquadram (impactam) nos descritores de cada requisito de projeto. Em termos econômicos, o valor do custo estimado direto unitário das alternativas de concepção, obtidos na etapa 2.2 da metodologia proposta, deve ser empregado para caracterizar estas concepções.

Para auxiliar esta caracterização, as informações provenientes da fase de geração de alternativas de concepção, por meio dos atributos dos princípios de solução podem ser empregadas. Neste caso, deve ser considerado como o conjunto de atributos dos princípios de solução de cada alternativa de concepção impacta nos descritores de requisitos de projeto.

Na tabela 4.20 é apresentado um exemplo da descrição de alternativas de concepção.

Tabela 4.20. Exemplo de caracterização das alternativas de concepção do componente injetado.

	Concepção 1		Concepção 2		Concepção 3	
	Descrição	Nível	Descrição	Nível	Descrição	Nível
Resistência estrutural (N/mm <sup>2</sup> )	17	N <sub>4</sub>	12	N <sub>3</sub>	18	N <sub>4</sub>
Custo direto unitário do componente (R\$)	48	N <sub>3</sub>	48	N <sub>3</sub>	68	N <sub>4</sub>
Acabamento superficial	Liso	N <sub>4</sub>	Corrugado	N <sub>2</sub>	Corrugado	N <sub>2</sub>
Largura da parede (mm)	10	N <sub>2</sub>	7	N <sub>3</sub>	7	N <sub>3</sub>
Custo do molde	Alto	N <sub>4</sub>	Médio	N <sub>3</sub>	Alto	N <sub>4</sub>
Moldabilidade	Elevada	N <sub>2</sub>	Alta	N <sub>2</sub>	Elevada	N <sub>3</sub>
Tempo de montagem (s)	20	N <sub>3</sub>	22	N <sub>3</sub>	16	N <sub>4</sub>



• **Tarefa 2.3.10: Comparar e avaliar as alternativas de concepção:** uma vez concluída a caracterização das alternativas de concepção, pode-se proceder à comparação das mesmas a fim de permitir a escolha da concepção mais adequada para o projeto do produto. Para auxiliar esta comparação e avaliação, os resultados obtidos nas demais etapas podem ser representados numa matriz de decisão semelhante à matriz apresentada por Ferreira (1997) e Pugh (1995).

Nesta matriz, como ilustrado na tabela 4.21, nas colunas da esquerda são apresentados os requisitos de projeto avaliados, seus níveis de impactos e peso de importância obtidos, respectivamente, nas tarefas 2.3.6 e 2.3.8. Nas demais colunas são representadas as alternativas de concepção geradas para o componente injetado. Nesta representação são descritos os níveis de impacto de cada alternativa de concepção, determinados na tarefa 2.3.9, e seus, respectivos, valores obtidos na tarefa 2.3.7. Como resultado, tem-se uma avaliação global das propostas das alternativas de concepção geradas para o componente injeto.

A tabela 4.21 mostra um exemplo da matriz empregada para avaliar o desempenho global das alternativas de concepção do componente injetado.

Tabela 4.21. Resultado da avaliação global das alternativas de concepção geradas.

REQUISITOS DE PROJETO				CONCEPÇÃO 1		CONCEPÇÃO 2		CONCEPÇÃO 3	
Lista de Requisitos	Peso <sup>1</sup>	Bom <sup>2</sup>	Neutro <sup>2</sup>	Nível <sup>3</sup>	Valor Escala <sup>4</sup>	Nível <sup>3</sup>	Valor Escala <sup>4</sup>	Nível <sup>3</sup>	Valor Escala <sup>4</sup>
Resistência estrutural	0,10	N <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>4</sub>	100	N <sub>3</sub>	50	N <sub>4</sub>	100
Custo direto unitário componente	0,20	N <sub>4</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>3</sub>	48	N <sub>3</sub>	48	N <sub>4</sub>	68
Acabamento superficial	0,08	N <sub>4</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>4</sub>	100	N <sub>2</sub>	23	N <sub>3</sub>	57
Largura da parede	0,17	N <sub>5</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	23	N <sub>3</sub>	47	N <sub>3</sub>	47
Custo do moide	0,15	N <sub>5</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>4</sub>	83	N <sub>3</sub>	49	N <sub>4</sub>	83
Moldabilidade	0,18	N <sub>4</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	17	N <sub>2</sub>	17	N <sub>3</sub>	37
Tempo de montagem	0,12	N <sub>4</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>3</sub>	79	N <sub>3</sub>	79	N <sub>4</sub>	100
<b>DESEMPENHO DAS ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÃO (Σ PESO.VALOR ESCALA)</b>				<b>56,50<sup>5</sup></b>		<b>44,32<sup>6</sup></b>		<b>67,26<sup>7</sup></b>	
<b>CUSTO META DO COMPONENTE INJETADO</b>				<b>R\$ 70,00<sup>8</sup></b>					

1) Valores obtidos na tarefa 2.3.8;

2) Valores obtidos na tarefa 2.3.6;

3) Valores obtidos na tarefa 2.3.9;

4) Valores obtidos na tarefa 2.3.7;

5)  $(0,10.100 + 0,20.48 + 0,08.100 + 0,17.23 + 0,15.83 + 0,18.17 + 0,12.79 = 56,50)$ ;

6)  $(0,10.50 + 0,20.48 + 0,08.23 + 0,17.47 + 0,15.49 + 0,18.17 + 0,12.79 = 44,32)$ ;

7)  $(0,10.100 + 0,20.68 + 0,08.57 + 0,17.47 + 0,15.83 + 0,18.37 + 0,12.100 = 67,26)$ ;

8) Valor proveniente das especificações de projeto do componente injetado;

Analisando os resultados descritos na tabela 4.21, a equipe de projeto pode observar que a alternativa de concepção 3 apresenta o maior valor de avaliação global (67,26) e, considerando o valor de custo-meta de R\$ 90,00 e que o projeto do produto seja conduzido segundo a abordagem de "projeto para o custo" esta alternativa apresenta um desempenho melhor em relação às demais.

Em suma, através desta sistemática proposta, têm-se elementos suficientes para realizar a seleção criteriosa e fundamentada da alternativa de concepção do componente injetado.

- **Tarefa 2.3.11: Selecionar a concepção do componente injetado:** a última tarefa, referente à seleção da concepção mais adequada para o componente injetado, envolve a consideração das informações obtidas na tarefa anterior, simultaneamente, com as possíveis abordagens de custo no projeto de produtos.

No projeto para o custo, busca-se otimizar o desempenho funcional do componente injetado, por meio da introdução de novas características no mesmo, de modo que o seu custo alcance o valor do custo-meta especificado. No exemplo apresentado na tabela 4.21, ao selecionar a concepção 3, podem ser introduzidas alterações no projeto de modo que o seu custo alcance o valor do custo meta, por exemplo, através do emprego de um material mais nobre e acabamento superficial de qualidade superior, entre outras ações.

No projeto para o mínimo custo deseja-se um produto que atenda às necessidades funcionais dos clientes, com um valor de custo mais baixo possível. Neste contexto, o custo estimado do produto deve ser menor ou igual ao custo-meta. Por sua vez, esta abordagem pode ser empregada, principalmente, para selecionar aquelas alternativas de concepção do componente injetado, cujo desenvolvimento foi motivado pela necessidade de redução de custo do mesmo.

Desta forma, ao final da fase de projeto conceitual, a equipe de projeto tem disponível uma concepção do componente injetado. As próximas fases do desenvolvimento do produto envolvem o projeto preliminar e detalhado, onde são avaliados, principalmente, o aspecto de moldabilidade do produto e a manufaturabilidade do molde de injeção. Entretanto, considerando os objetivos desta Tese, estas fases de desenvolvimento do produto não serão estudadas.

# **CAPÍTULO 5. DESENVOLVIMENTO COMPUTACIONAL DO SOFTWARE DE APOIO A DEFINIÇÃO DAS ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO DE COMPONENTES INJETADOS**

## **5.1. Introdução**

Para auxiliar a operacionalização da fase de projeto informacional da metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados, descrita no Capítulo 4, foi desenvolvido o protótipo de programa computacional denominado SISCOI (Software de Apoio à Definição das Especificações de Projeto de Componentes Injetados).

O software SISCOI foi implementado em programação visual e orientada a objetos, utilizando a ferramenta Borland C++ Builder (Borland, 1997) e o banco de dados Paradox (Borland, 1997) para armazenamento das informações de projeto. O desenvolvimento do SISCOI foi realizado tomando como base os recursos implementados por Ogliari (1999) no tocante à ferramenta denominada QFD (Quality Function Deployment) e o software intitulado SISMOD, desenvolvido por Maribondo (2000), o qual procurou agregar novas ferramentas aos softwares já desenvolvidos.

O objetivo deste capítulo é apresentar a implementação computacional das ferramentas propostas para auxiliar a fase de projeto informacional da metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados. Em outras palavras, será descrito o software SISCOI.

## **5.2. O Software SISCOI**

O software SISCOI busca auxiliar a equipe de projeto no processo de definição das especificações de projeto de componentes injetados. A implementação deste software teve como base as ferramentas propostas na metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados e detalhadas nos Anexos desta tese. Desta forma, foram implementadas as 10 ferramentas de projeto propostas na fase de projeto informacional, além do check-list. O ambiente principal do SISCOI, ilustrado na figura 5.1, apresenta a Primeira Matriz do QFD e seus campos de preenchimento.

Em termos estruturais, o software SISCOI constitui-se dos seguintes elementos:

- Base de dados que permite a manipulação, edição, recuperação e armazenamento de informações de projeto. Por exemplo, base de dados de princípios inventivos da TRIZ;
- Base de dados responsável pelo armazenamento de informações resultante de relacionamentos realizados pela equipe de projeto. Por exemplo, entre necessidades dos clientes e requisitos de projeto;
- Interface de entrada e manutenção de dados, representada pelas telas do programa. Por exemplo, a tela de definição das fases do ciclo de vida do componente;
- Ferramenta de apoio, as quais podem ser entendidas como sendo subrotinas implementadas para executar determinadas atividades. Por exemplo, a subrotina de busca por princípios inventivos da TRIZ; e,

- Relatórios técnicos, nos quais são apresentados os resultados impressos das etapas do processo de definição das especificações de projeto. Cada uma das ferramentas implementadas apresenta recursos para imprimir as informações manipuladas.

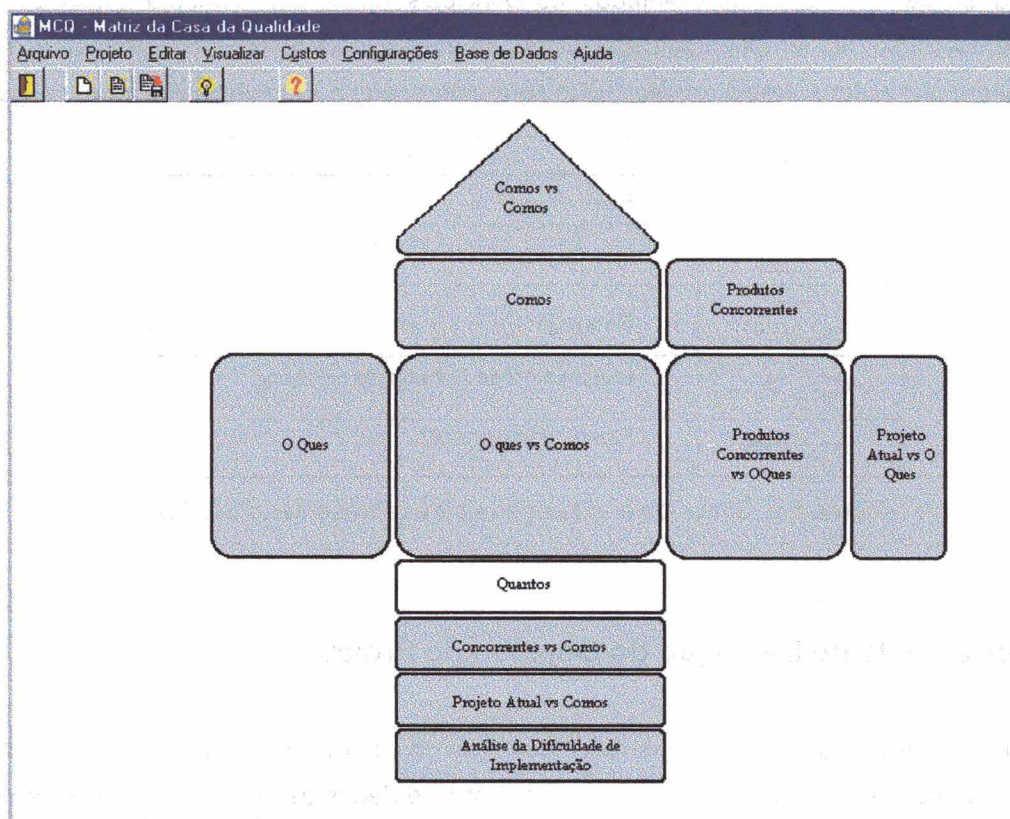


Figura 5.1. Ambiente principal do software SISCOI.

Para facilitar o entendimento do SISCOI, no Anexo P desta tese, está apresentada a estrutura do programa contendo as bases de dados, interface de entrada e manutenção de dados, ferramentas de apoio e relatórios técnicos.

Os menus do SISCOI estão organizados de forma a facilitar o emprego das ferramentas de projeto e preparação de informações de custo de componentes injetados, conforme citado a seguir:

- **Menu Arquivo:** Iniciar projeto, abrir projeto, salvar projeto, salvar projeto como, importar necessidades e importar requisitos;
- **Menu Projeto:** Definição do problema, definição das fases do ciclo de vida, definição das restrições de projeto, estabelecimento das necessidades, definição dos requisitos, definição das especificações, TRIZ, matriz de definição das diretrizes de projeto e check-list da fase de projeto informacional.
- **Menu Editar:** O quês, comos, concorrentes, o que vs comos, como vs como, concorrentes vs o quês, concorrentes vs comos, projeto atual vs o quês, projeto atual vs comos, dificuldade de implementação;
- **Menu Visualizar:** Casa da qualidade e relatório;
- **Menu Custos:** Preparação de Informações;
- **Menu Configurações:** Quantos, produtos concorrentes, rótulos e escalas;

- **Menu Base de Dados:** Atributos dos concorrentes, material de injeção, máquina injetora, molde de injeção, diretrizes de projeto, questões e check-list.
- **Menu Ajuda:** Conteúdo (help) e "sobre".

Na sequência, serão apresentados os principais ambientes computacionais do SISCOI através da descrição das ferramentas constituintes da metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados. Nesta apresentação será empregada a simbologia ilustrada na figura 5.2.

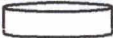




SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Base da dados
	Interface gráfica
	Relatório
	Mecanismo de tomada de decisão
	Fluxo de informação

Figura 5.2. Simbologia empregada para representar o SISCOI.

### 5.2.1. Ferramenta de Definição do Objetivo de Projeto

Em termos estruturais, a ferramenta de definição do objetivo de projeto, conforme ilustrado na figura 5.3, compõe-se dos seguintes elementos: a) base de dados de informações gerais e questões de oportunidades. b) bases de dados de máquinas injetoras, a qual contém informações sobre as propriedades destes equipamentos; c) base de dados de materiais, que contém informações sobre as propriedades dos materiais plásticos; d) interface de entrada e manutenção de informações de cadastro das empresas envolvidas no projeto do produto, de identificação de oportunidades e de interpretação preliminar do problema de projeto.

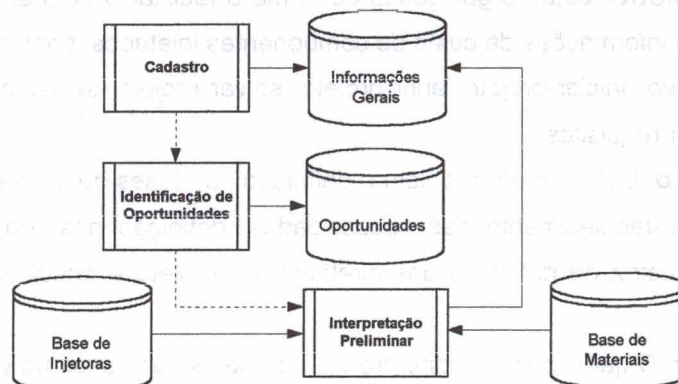


Figura 5.3. Arquitetura de ferramenta de definição do problema de projeto.

A utilização desta ferramenta, ilustrada na figura 5.4, inicia-se selecionando no menu "Projeto" a ferramenta "Definição do Problema". No momento, são cadastradas as empresas e/ou responsáveis envolvidos no projeto do produto. Na sequência, considerando um conjunto de questões específicas,

a equipe de projeto tem a possibilidade de identificar as oportunidades de negócio. Estas questões são armazenadas na base de dados de questões, a qual está descrita no item 5.2.12. Finalmente, define-se o nome do produto, o pedido do solicitante, a produção estimada de componentes por ano, o tipo geral de material do componente injetado, o tipo de máquina injetora, o investimento disponível para aquisição do molde de injeção e, principalmente, o objetivo geral de projeto, do tipo de projeto (inovativo ou evolutivo) e do tipo de produto (único ou conjunto-sistema).

Figura 5.4. Interface de definição e interpretação do problema de projeto.

## 5.2.2. Ferramenta de Definição das Fases do Ciclo de Vida

A implementação desta ferramenta foi realizada tomando como base o modelo do ciclo de vida do componente injetado apresentado na tabela 4.1.

Desta forma, tomando como base as informações provenientes da ferramenta de definição do problema de projeto, são identificadas os elementos envolvidos em cada fase do ciclo de vida, assim como as funções e aspectos a serem levados em conta no projeto do produto. Em termos estruturais, como ilustrado na figura 5.5, esta ferramenta é formada por uma base de dados com informações gerais provenientes da ferramenta de definição do problema de projeto, uma segunda base de dados onde são armazenadas as informações manipuladas e a interface de manipulação de dados.

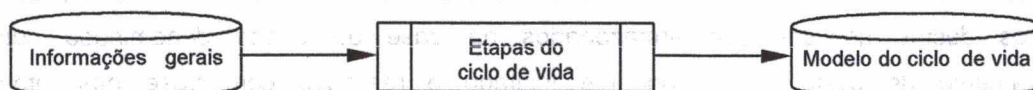


Figura 5.5. Arquitetura da ferramenta de definição das fases do ciclo de vida do componente.

Na interface desenvolvida, ilustrada na figura 5.6, são apresentadas as informações referentes ao objetivo do projeto, proveniente da ferramenta de definição do problema de projeto. Assim, a equipe de projeto tem recursos para determinar, com maior propriedade, as fases do ciclo de vida, os elementos envolvidos nestas fases e descrever as principais funções, atividades e aspectos a serem considerados no projeto do produto.

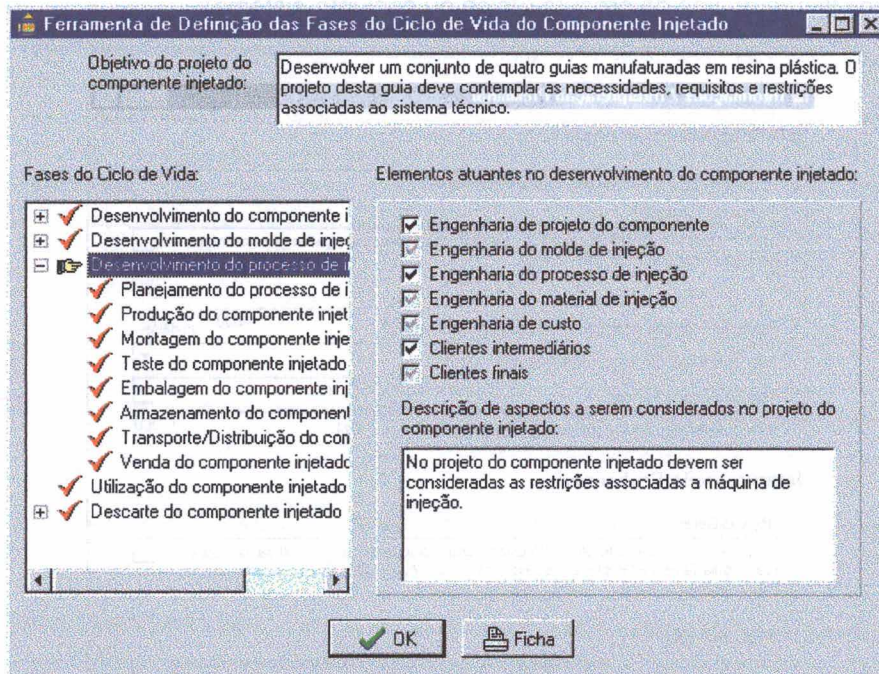


Figura 5.6. Interface de definição das fases do ciclo de vida do componente injetado.

### 5.2.3. Ferramenta de Preparação de Informações para Estimar o Custo do Componente Injetado

No SISCOI, a ferramenta de preparação de informações de custos encontra-se disponível no menu "Custos", onde também estão disponibilizados os recursos destinados à estimativa e à redução de custo do componente injetado. Na metodologia proposta a preparação de informações de custos envolve as etapas de levantamento de informações de produtos similares, a identificação do custo meta e o desdobramento do custo do ciclo de vida do componente injetado.

Em termos estruturais, conforme ilustrado na figura 5.7, esta ferramenta compõe-se da base de dados do ciclo de vida do produto, de máquinas, molde, material de injeção e custos e, das interfaces (telas) destinadas a levantar informações sobre os produtos similares, definir o custo meta do componente e desdobrar o custo do ciclo de vida. As bases de máquinas, molde e material de injeção são empregadas para levantar informações de produtos similares. A definição do custo meta do componente injetado é realizada com base nas informações obtidas sobre estes produtos. Os resultados destas análises são armazenados na base de dados denominada custos. O desdobramento de custo do componente injetado é realizado com base nas informações armazenadas na base de dados do ciclo de vida do produto.

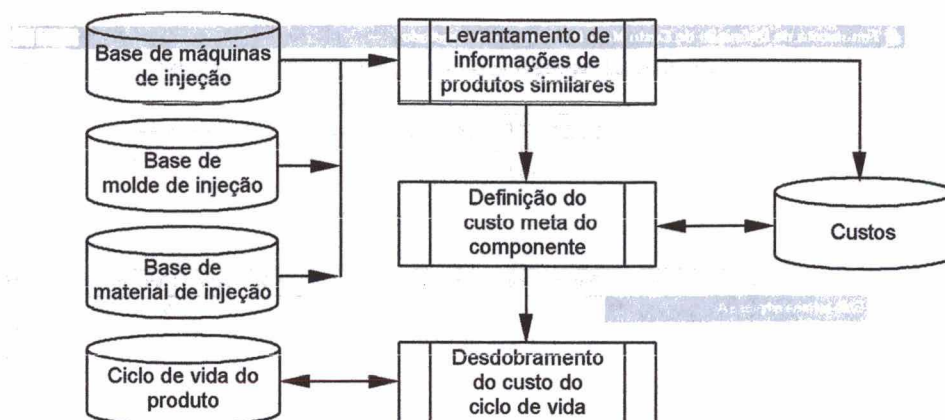


Figura 5.7. Estrutura da ferramenta de preparação de informações de custos.

Na interface de levantamento de informações de produtos similares, ilustrada na figura 5.8, são editadas informações sobre produtos semelhantes àquele em desenvolvimento, os quais podem ser provenientes da própria empresa ou da concorrência. Nesse ambiente, são registradas informações destes componentes e suas propriedades técnicas e econômicas, as quais estão associadas ao próprio produto, material, molde e processo de injeção. Para conseguir estas informações são acessados dados provenientes das respectivas bases de dados. As informações obtidas são empregadas, posteriormente, para definir o custo do componente injetado.

Tela de interface da ferramenta de levantamento de informações de produtos similares. O formulário contém os seguintes campos e valores:

- Produto Similar: Material de Injeção | Molde de Injeção | Processo de Injeção
- Este produto similar é fabricado pela:  Concorrência  Própria Empresa.
- Especificação do componente: Guia externa empresa A
- Número total de componentes produzidos por hora: 100
- Largura máxima do componente: 83
- Comprimento máximo do componente: 120
- Altura máxima do componente: 25
- Espessura máxima da parede do componente: 4
- Tolerância: 0,1
- Acabamento: Normal
- Preço de venda: R\$25,00
- Função do componente: Guiar externamente a cédula
- Características e diferenciação do produto: O produto apresenta um elevado número de nervuras e formas complexas.
- Lucro unitário: R\$3,00

Figura 5.8. Interface da ferramenta de levantamento de informações de produtos similares.

As informações registradas na figura 5.8, como descrito no fluxograma da figura 5.7, são enviadas à ferramenta de definição do custo meta. Na interface desta ferramenta, ilustrada na figura 5.9, os dados levantados são apresentados segundo a sua procedência, isto é, se resultam de análises da concorrência ou da empresa. No caso, as guias da empresa B e C são procedentes da concorrência e, a guia da empresa A é oriunda da própria empresa. Estas informações são uma orientação para a equipe de projeto determinar o lucro unitário estimado do novo componente.



Concorrentes	Preço de Venda	Lucro Unitário
Guia Empresa C	R\$33,00	R\$2,00
Guia empresa B	R\$20,00	R\$4,00

Produtos Similares	Preço de Venda	Lucro Unitário	Custo Unit. Dir. Material	Custo Unit. Dir.
guia externa empresa A	25	3	7,89	8,68

Lucro unitário estimado para o novo componente injetado: R\$2,00

Figura 5.9. Interface da ferramenta de definição do custo meta do componente injetado.

A definição do custo meta do produto, propriamente dita, é realizada na interface ilustrada na figura 5.10. Para isto, pode ser empregado o método baseado no mercado ou no custo. Desta forma, neste ambiente, a equipe de projeto tem uma orientação de como proceder para definir o custo meta.

**Método baseado no Mercado**

Custo meta = preço de venda unitário - lucro unitário

**Método baseado no Custo**

Custo meta = custo direto\* + lucro unitário

\* Determinado com base em produto similares

Custo meta unitário do componente injetado: 21,50

Figura 5.10. Interface de definição do custo meta unitário direto do componente injetado.

A última tarefa da preparação de informações de custos refere-se ao desdobramento do custo do componente. Para auxiliar esta operação foi implementada a interface ilustrada na figura 5.11. Nesta ferramenta, considerando as fases do ciclo de vida do produto, a equipe de projeto pode associar custos a estas fases e classificá-los em custos diretos ou indiretos, além de identificar as empresas geradoras destes custos. Como descrito ao longo desta tese, neste estudo está se interessado nos custos diretos do componente injetado que, segundo a metodologia proposta, devem ser considerados como requisitos de projeto. Desta forma, foi implementada uma interface que pergunta ao usuário, se o mesmo deseja acrescentar os custos diretos aos requisitos de projeto.

É importante ressaltar que estas ferramentas também serão implementadas no programa de apoio à estimativa de custos de componentes injetados, descrito no Capítulo 6, com o objetivo de auxiliar a equipe de projeto a realizar esta tarefa.

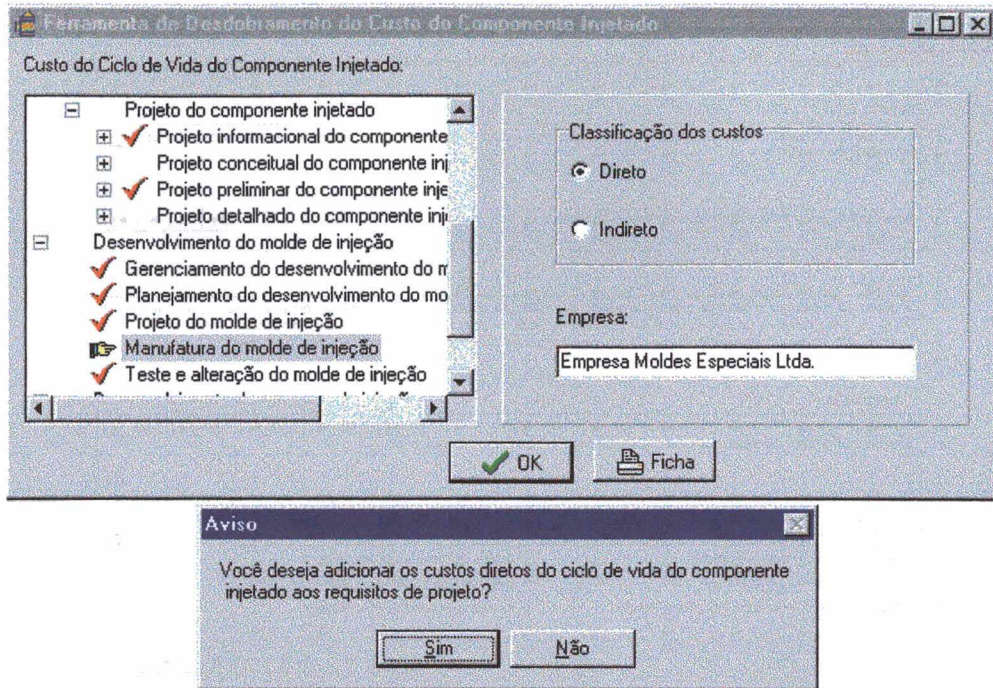


Figura 5.11. Interface de desdobramento do custo do componente injetado.

#### 5.2.4. Ferramenta de Estabelecimento das Necessidades dos Clientes

Esta ferramenta é constituída de um conjunto de questões elaboradas considerando as fases do ciclo de vida do componente. Como ilustrado na figura 5.12, estas perguntas são armazenadas na base de dados de questões. Neste caso, o usuário tem acesso a esta base de dados através da tela de interpretação de necessidades e, com a interpretação destas informações, pode estabelecer as necessidades dos clientes, as quais são armazenadas nas respectivas bases de dados. As informações resultantes do emprego desta ferramenta são enviadas à Primeira Matriz do QFD.

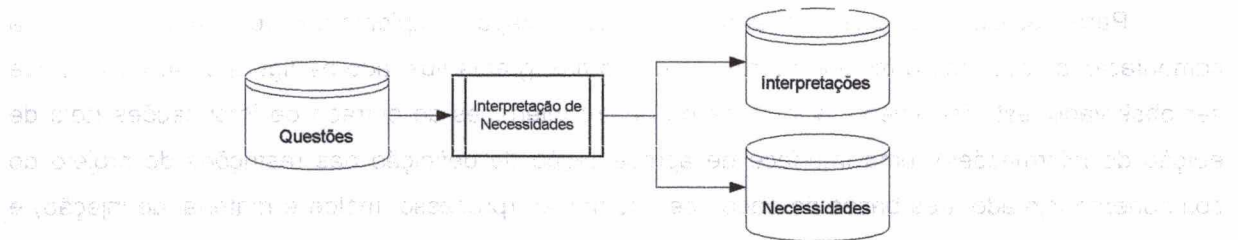


Figura 5.12. Estrutura da ferramenta de interpretação das necessidades dos clientes.

Na interface proposta para definir as necessidades dos clientes, ilustrada na figura 5.13, o usuário tem acesso a um conjunto de questões para cada fase do ciclo de vida do componente, as quais podem ser respondidas no campo apropriado. Com base nestas respostas, a equipe de projeto pode interpretar a declaração dos clientes sob a forma de requisitos do usuário, os quais são informações de entrada para o QFD. Para facilitar a operacionalização desta atividade foram implementados recursos que automaticamente transferem os requisitos para a matriz do QFD.

Projeto do componente Projeto / Manufatura do molde de injeção Manufatura do componente Material do componente

Pergunta:  
Quais são as principais características associadas a geometria, dimensões, tolerância, e aparência do componente dadas pelo molde de injeção ?

Tema: Formas (geometria, dimensões, tolerância, aparência)

Resposta:  
A forma do componente deve ser simples, evitando que a cédula, ao passar pelo conjunto de guias, fique presa. A forma final das guias deve ser tal que minimize a ocorrência de deflexão do mesmo. A aparência dos componentes deve ser normal, sem a necessidade de acabamento superficial especial. A forma da guia deve facilitar a montagem.

Interpretação:  
Forma do componente simples; as guias devem apresentar rigidez; as guias devem ser fácil de montar no sistema; as guias devem permitir fácil montagem dos demais componentes; aparência normal

Requisito do usuário	Peso	Justificativa do peso
<input checked="" type="checkbox"/> geometria do componente simples	3	Auxilia na manufatura do molde
<input type="checkbox"/> evitar deflexão do componente	5	Garante que as cédulas não irão enroscar
<input type="checkbox"/> fácil montagem sistema pressão componente	5	Auxiliar o processo de montagem

Imprimir OK

Figura 5.13. Interface para auxiliar a definição das necessidades dos clientes.

### 5.2.5. Ferramenta de Definição das Restrições de Projeto

Uma das etapas da metodologia proposta envolve a definição daquelas necessidades que devem ser contempladas, necessariamente, no projeto do componente injetado, independente do princípio de solução adotado. Em outras palavras, devem ser definidas as restrições de projeto do componente injetado, as quais estão classificadas em espaciais, geométricas e funcionais do sistema técnico, do processo de injeção, do molde e do material de injeção, além de custos do produto.

Para auxiliar a operacionalização desta etapa, implementou-se uma ferramenta computacional, segundo o modelo representado no fluxograma ilustrado na figura 5.14. Como pode ser observado, esta ferramenta é formada de quatro interfaces de entrada de informações (tela de edição de informações), uma interface de apresentação de definição das restrições de projeto do componente injetado, três bases de dados de informação (processo, molde e material de injeção) e uma base de dados para armazenar as restrições de projeto.

As restrições do processo, do molde e do material de injeção são obtidas com o apoio das informações provenientes das respectivas bases de dados. As restrições associadas ao sistema e da custos são obtidas considerando o conhecimento e a experiência do usuário. O conjunto destas informações são armazenadas na base de dados de restrições de projeto. Na sequência, o programa SISCOI analisa a compatibilidade entre as restrições de projeto e, no caso de serem identificadas incompatibilidades, são emitidas mensagens aos usuários de modo a corrigir os eventuais problemas. O estudo de compatibilidade é realizado com base nas informações descritas na tabela F.1. Caso contrário, na tela de restrições de projeto, representada na figura 5.14, são apresentadas as restrições finais a serem consideradas no projeto do componente injetado.

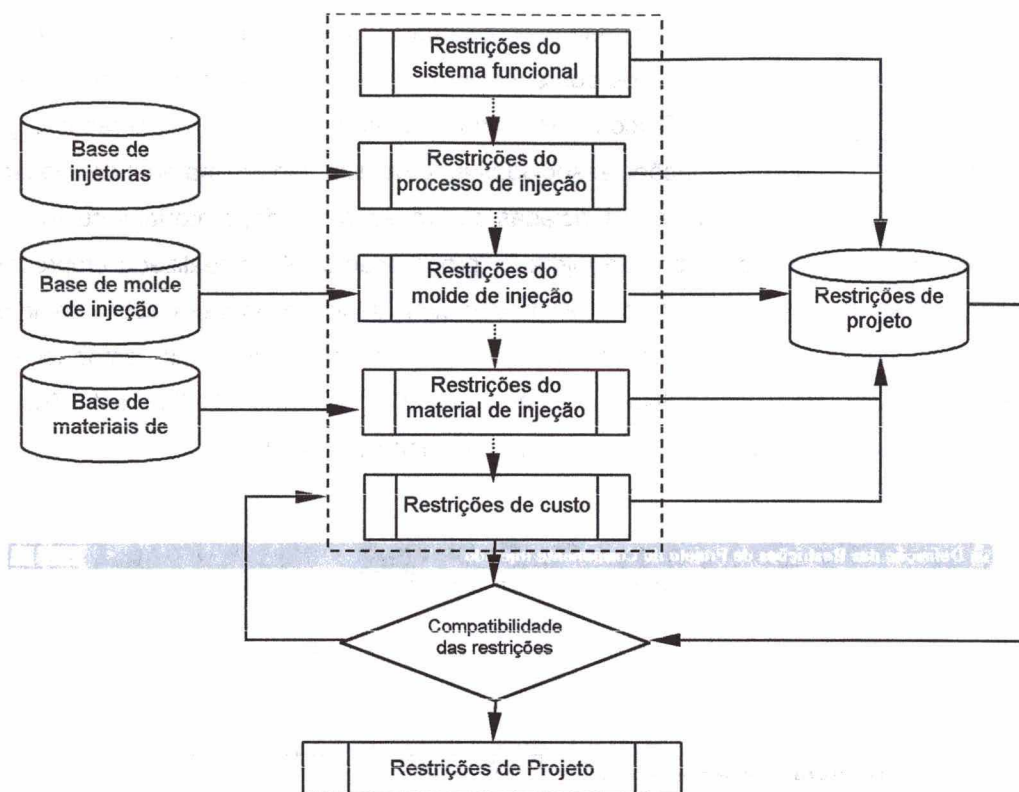


Figura 5.14. Estrutura computacional da ferramenta de definição das restrições de projeto.

Para definir as restrições de projeto do componente, foram consideradas as etapas e as tarefas descritas na metodologia proposta. Como ilustrada na figura 5.15, foram implementadas interfaces para as restrições espaciais, funcionais e do ciclo de vida associadas ao sistema técnico.

Figura 5.15. Interface de definição das restrições associadas ao sistema técnico.

Nesta interface, em relação às restrições geométricas, foram implementados recursos que permitem referenciar (adicionar) arquivos contendo formas ou figuras, que representam a interação entre o componente e o sistema. O ícone "Próximo" requer que o usuário, durante o projeto do produto, também determine as restrições associadas ao processo, molde, material de injeção e custo.

Com a edição das informações associadas ao processo, molde, material e custo, a definição das restrições de projeto do componente injetado, propriamente dita é realizada empregando-se o check-list apresentado na tabela F.1, o qual propõe uma série de análises sobre as informações provenientes dos campos de conhecimento envolvidos no desenvolvimento do componente injetado. Para auxiliar a realização destas análises, o usuário deve clicar no ícone "Definir restrições de projeto do componente injetado" representado na interface ilustrada na figura 5.16.

Figura 5.16. Interface de definição das restrições de projeto do componente injetado.

O resultado da análise de compatibilidade das informações manipuladas é apresentado na figura 5.17. Nesta interface implementada, a equipe de projeto tem disponíveis as seguintes informações: dimensões máximas permitidas para o componente (altura, comprimento, largura); restrições funcionais (função principal e funções parciais); restrições geométricas (lista de princípios empregados para conectar o componente ao sistema e interagir com o meio ambiente); restrições associadas à distribuição, venda, uso, retirada e descarte do componente; restrições econômicas (custo direto máximo do componente e preço máximo a ser pago pelo molde). Além disto, implementaram-se recursos que permitem adicionar informações suplementares sobre as restrições do sistema técnico, processo, molde e material de injeção, além de custos.

Definição das Restrições de Projeto do Componente Injetado

**Dimensões do componente:**

Altura do componente (mm):

Comprimento do componente (mm):

Largura do componente (mm):

**Restrições funcionais:**

Função principal do componente:

Funções parciais do componente:

**Restrições geométricas:**

Princípios utilizados para conectar o componente ao sistema:

Princípios utilizados para interagir com o meio:

O molde de injeção pode apresentar gavetas?  Sim  Não

**Restrições associadas a distribuição, venda, uso, retirada e descarte do componente injetado:**

Limitação com relação a distribuição e venda que determinam as características do componente injetado:

Limitação com relação ao uso que determinam as características do componente injetado:

Limitação com relação a retirada e descarte que determinam as características do componente injetado:

**Restrições econômicas:**

Qual o custo direto máximo do componente injetado?

Qual o preço máximo a ser pago pelo molde de injeção?

**Informações adicionais que definem as restrições de projeto do componente injetado:**

Sistema técnico:

Processo de injeção:

Molde de injeção:

Material de injeção:

Custo:

Figura 5.17. Interface de definição das restrições de projeto do componente injetado.

## 5.2.6. Ferramenta de Definição dos Requisitos de Projeto do Componente Injetado

No desenvolvimento do SISCOI da ferramenta de estabelecimento dos requisitos de projeto foram consideradas as funcionalidades implementadas por Ogliari (1999). Neste sentido, como ilustrado na figura 5.18, o usuário tem disponível para consulta uma base de dados contendo um conjunto de atributos do componente injetado que busca auxiliar na tradução das necessidades dos

clientes em requisitos de projeto. Estes atributos são típicos parâmetros ou variáveis que poderão ser considerados no projeto de componentes injetados, dependendo das necessidades dos clientes. Como se apresentam, estes atributos configuram uma das parcelas do requisito de projeto. Sua configuração completa dependerá, ainda, da definição do valor desejado para o atributo e sua unidade, conforme os campos indicados na interface de edição dos requisitos. (Ogliari, 1999)

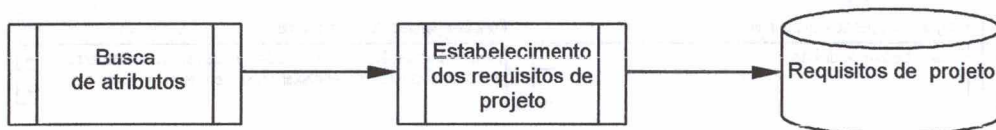


Figura 5.18. Estrutura da ferramenta de estabelecimento dos requisitos de projeto.

A interface implementada para auxiliar a definir os requisitos de projeto de componentes injetados está ilustrada na figura 5.19.

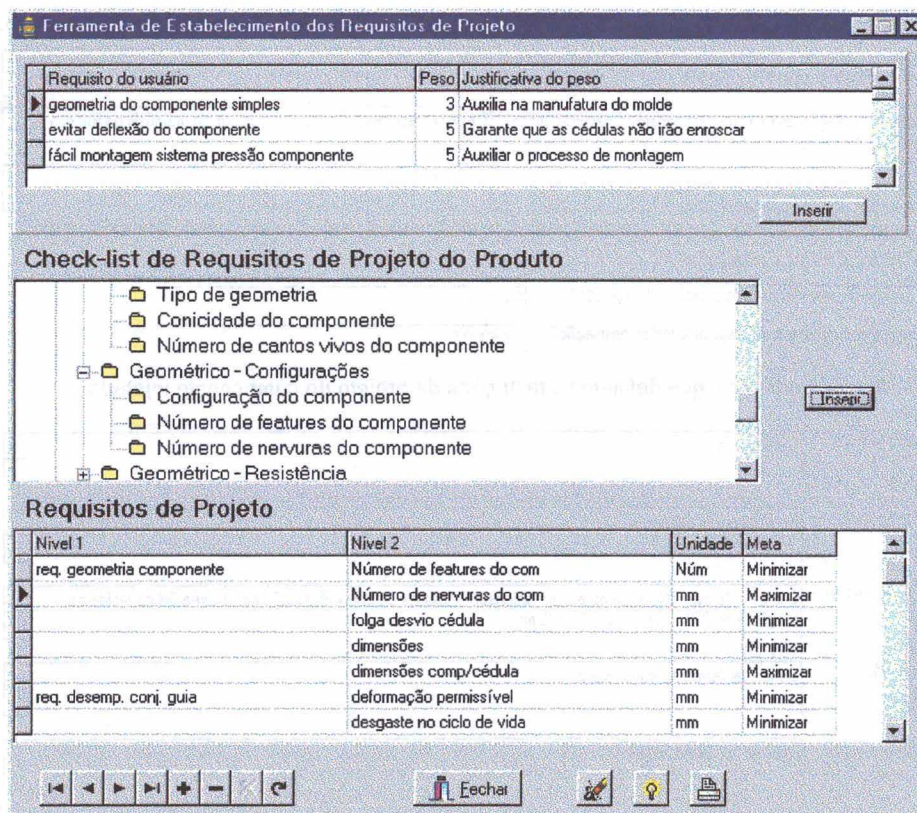


Figura 5.19. Interface para auxiliar a definição dos requisitos de projeto.

### 5.2.7. Ferramenta da Primeira Matriz do QFD

A implementação da Primeira Matriz do QFD foi realizada tomando como base os trabalhos de Ogliari (1999) e Maribondo (2000). A última versão da Casa da Qualidade, implementada por Maribondo (2000), apresentou os recursos de: i) edição das necessidades dos clientes (O Ques); ii) edição dos requisitos de projeto (Comos); iii) relacionamento entre necessidades dos clientes e requisitos de projeto (O ques vs Comos); iv) relacionamento entre requisitos de projeto (Comos vs Comos); v) análise de produtos concorrentes em relação às necessidades dos clientes (Produtos Concorrentes vc O ques); e, vi) identificação dos requisitos mais importantes (Quantos).

Com o objetivo de aprimorar esta ferramenta e considerar as características pertinentes ao domínio de projeto de componentes injetados foram implementados novos recursos à Primeira Matriz do QFD, sendo eles: i) análise do projeto atual em relação às necessidades dos clientes, considerando os produtos da concorrência (Projeto Atual vs O que); ii) análise do produtos concorrentes em relação aos requisitos de projeto (Concorrentes vc Comos); iii) análise do projeto atual em relação aos requisitos de projeto (Projeto Atual vs Comos); e, iv) análise de dificuldade de implementação. Na figura 5.1 está representada a tela principal desta ferramenta de projeto.

A estrutura desta ferramenta, como ilustrada na figura 5.20, constitui-se de: i) base de dados de necessidades dos clientes; ii) base de dados de requisitos de projeto; iii) base de dados de produtos concorrentes, onde se armazenam os produtos identificados; iv) base de dados de relacionamentos, onde armazena-se os relacionamentos entre os campos da matriz; v) interface de levantamento de necessidades dos clientes, um recurso opcional para editar as necessidades sem recorrer à ferramenta de levantamento das necessidades dos clientes; vi) interface de levantamento de produtos concorrentes e; vii) interface de análise de dificuldade de implementação.

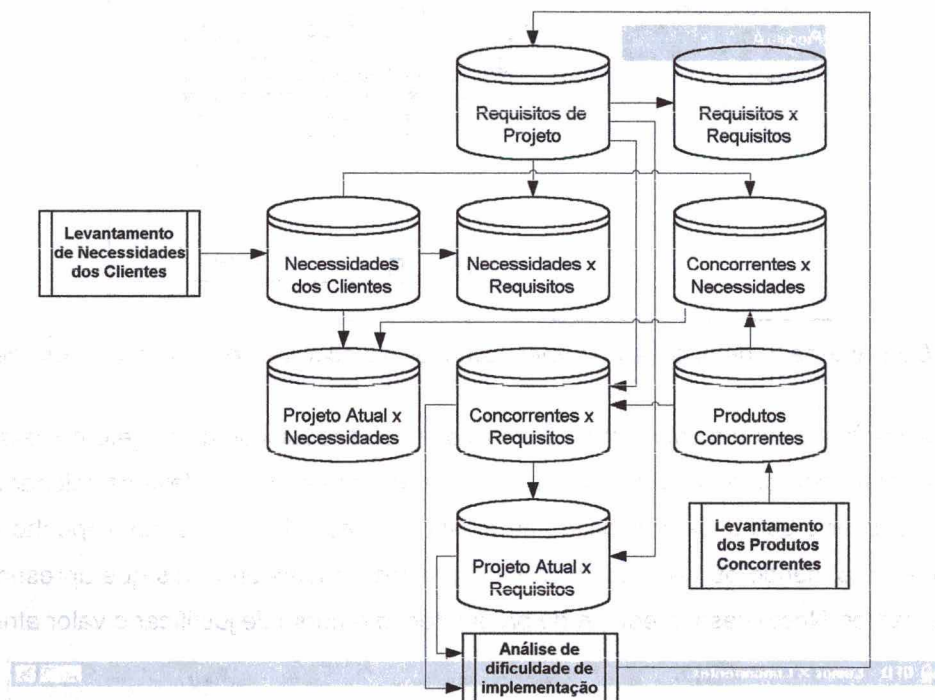


Figura 5.20. Estrutura da ferramenta da Primeira Matriz do QFD.

Considerando os novos recursos implementados, na sequência, serão descritos os ambientes de análise do projeto atual em relação às necessidades dos clientes, avaliação dos produtos concorrentes em relação aos requisitos de projeto, análise do projeto atual em relação aos requisitos de projeto, considerando os produtos concorrentes e análise de dificuldade de implementação do produto. Os demais recursos da ferramenta do SISCOI referentes à Matriz do QFD não serão descritos, uma vez que foram abordados por Ogliari (1999) e Maribondo (2000).

Na análise do projeto atual em relação às necessidades dos clientes, a equipe de projeto tem a possibilidade de estabelecer parâmetros de desempenho para o projeto em desenvolvimento, considerando o resultado da análise dos produtos concorrentes em relação às necessidades. Para



auxiliar o estabelecimento destes parâmetros foi implementada a interface ilustrada na figura 5.21. Assim, o usuário ao selecionar uma determinada necessidade do cliente tem o conhecimento do desempenho dos produtos concorrentes e, assim pode estabelecer o parâmetro de desempenho para o novo produto, o qual varia na escala de 0 a 5. Os valores maiores são atribuídos quando se deseja elevada performance. Nesta implementação tem-se o recurso de justificar os valores atribuídos. Ao final pode-se imprimir um relatório, clicando no ícone Ficha, com o resultado das análises.

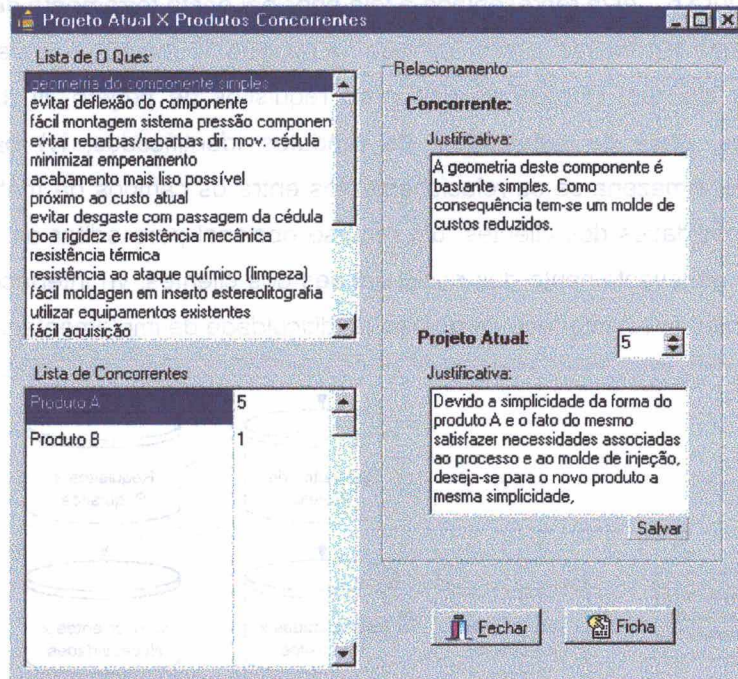


Figura 5.21. Interface de análise do projeto atual em relação as necessidades dos clientes.

A análise dos produtos concorrentes em relação aos requisitos de projeto é realizada com o auxílio da interface ilustrada na figura 5.22. Para isto, a equipe de projeto deve selecionar um produto concorrente e avaliar o seu desempenho frente à lista dos requisitos. Este desempenho é expresso pela escala de 1 a 5, sendo os valores maiores destinados àqueles produtos que apresentarem uma performance melhor. Neste caso, a equipe de projeto tem o recurso de justificar o valor atribuído.

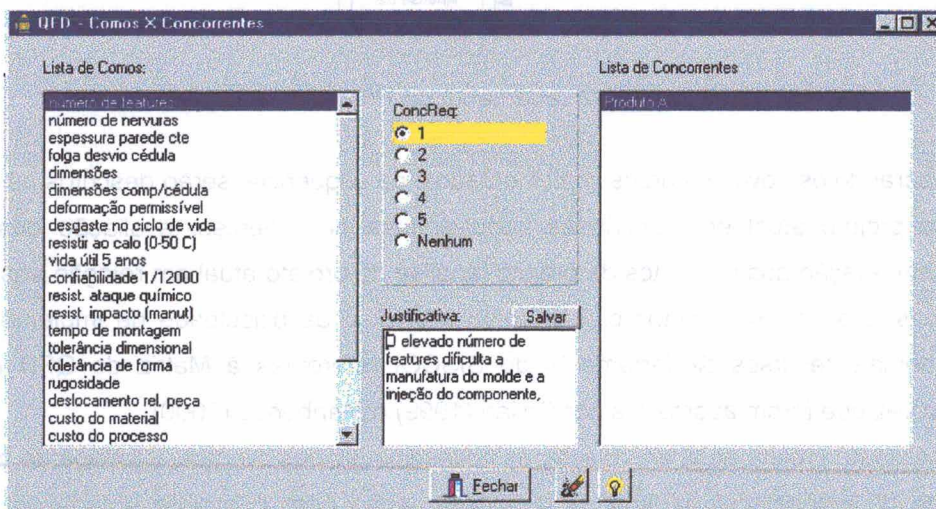


Figura 5.22. Interface para análise dos produtos concorrentes em relação aos requisitos de projeto.

Na interface de análise do projeto atual em relação aos requisitos de projeto, ilustrada na figura 5.23, busca-se estabelecer parâmetros de desempenho para o novo produto, considerando o resultado dos produtos concorrentes. Assim, ao usuário ao selecionar um dado requisito, são apresentados os valores de desempenho dos produtos concorrentes, os quais foram determinados na tela anterior. Na sequência, considerando esta informação, a equipe de projeto pode determinar o parâmetro de desempenho do novo produto, numa escala de 0 a 5. Os valores maiores são destinados para as melhores performances. Ao final, pode-se imprimir um relatório apresentando o resultado das análises.

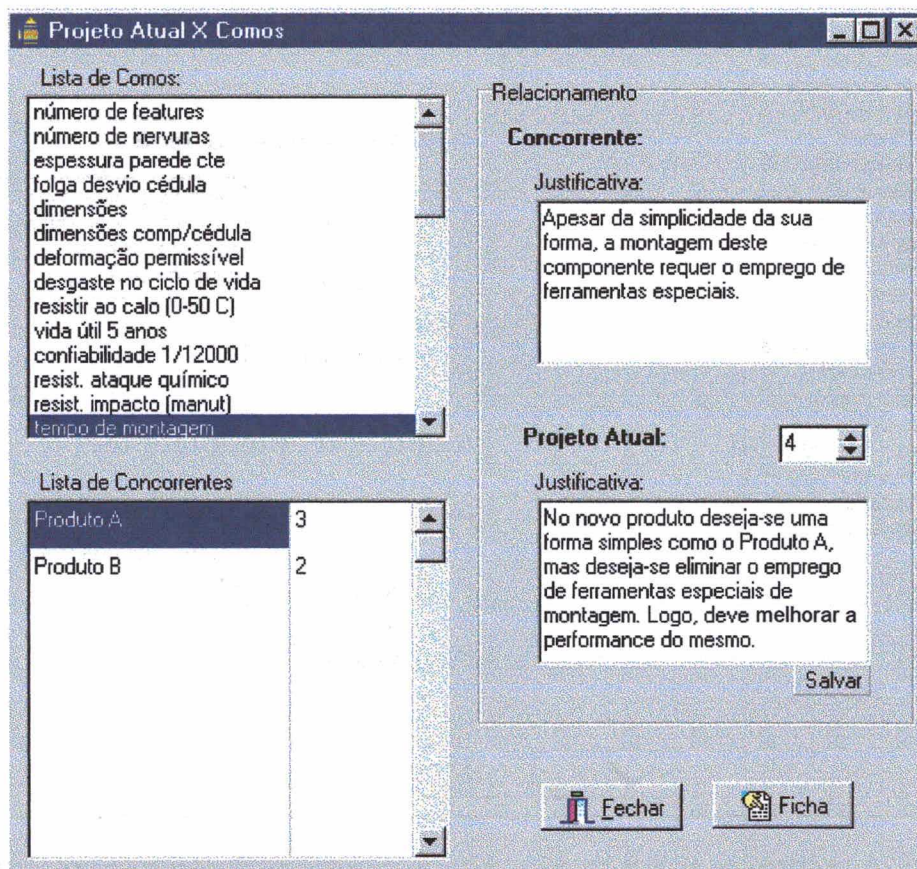


Figura 5.23. Interface de análise do projeto atual em relação aos requisitos de projeto.

Para analisar a dificuldade de implementação dos requisitos de projeto no produto em desenvolvimento, implementaram-se os recursos apresentados na interface ilustrada na figura 5.24. Desta forma, quando usuário seleciona um requisito de projeto, são listados os valores atribuídos aos produtos concorrentes e ao projeto atual. Considerando essas informações, a equipe de desenvolvimento de produto tem a possibilidade de estabelecer os níveis de dificuldade de implementação técnica e econômica para o projeto em questão.

Na tela apresentada na interface ilustrada na figura 5.24, considerando o requisito de projeto “número de features”, para o “Produto A” tem-se um desempenho 1, enquanto para o “Projeto Atual” tem-se a meta de desempenho. Considerando estas metas, estabeleceu-se que o nível de dificuldade de implementação técnica é “4 – difícil”, uma vez que “deve ser projetado um conjunto de encaixes,

os quais dependem de restrições associadas ao sistema". Também, definiu-se que o nível de dificuldade de implementação econômica é "2-fácil", pois o custo do esforço necessário para desenvolver estas formas é baixo.

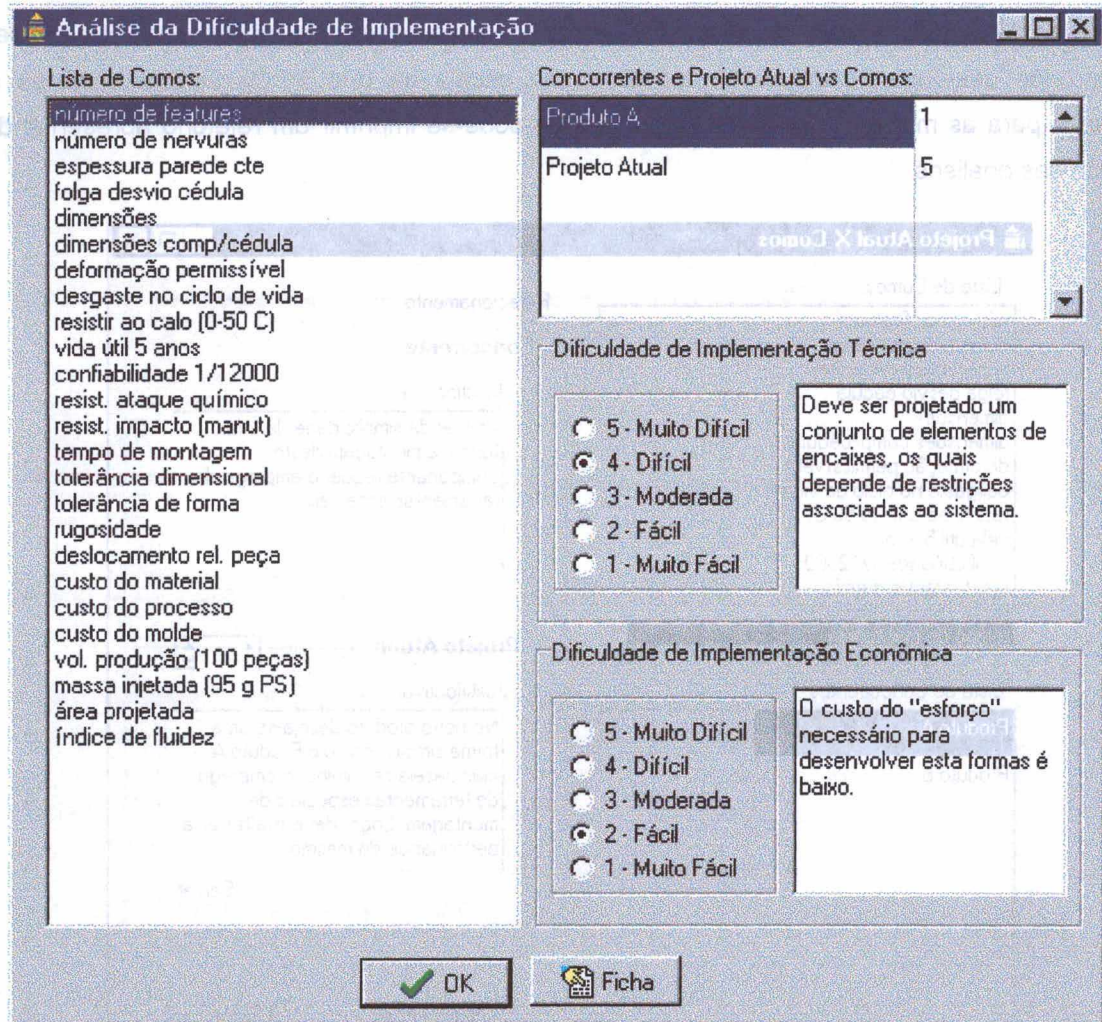


Figura 5.24. Interface de análise de dificuldade de implementação técnica e econômica.

Um novo recurso implementado refere-se à identificação dos campos da Matriz do QFD. Assim, ao usuário passar o cursor do mouse sobre os campos da ferramenta, visualiza-se um texto explicativo do objetivo ou da análise realizada no referido campo da ferramenta.

Ao final da utilização desta ferramenta de projeto, a equipe de desenvolvimento do componente injetado tem a possibilidade de "desenhar" e imprimir a Primeira Matriz do QFD. Para isto, o usuário deve, inicialmente, clicar no menu "Visualizar" e, na sequência em "Casa da Qualidade". O resultado do desenho da Casa da Qualidade está ilustrado na figura 5.25.

Com a conclusão do "desenho" da Primeira Matriz do QFD, o usuário clicando com o botão direito do mouse sobre a tela do computador, tem acesso às ferramentas de definição das especificações de projeto, TRIZ e matriz de diretrizes de projeto do componente injetado. Desta forma, a equipe de projeto pode dar seqüência às demais etapas de desenvolvimento do produto.

Relacionamento		Telhado	
● Forte 5	⊕ Fortemente Positivo 5	⊕ Positivo 1	⊖ Negativo -1
○ Médio 3			⊖ Fortemente Negativo -5
○ Fraco 1			

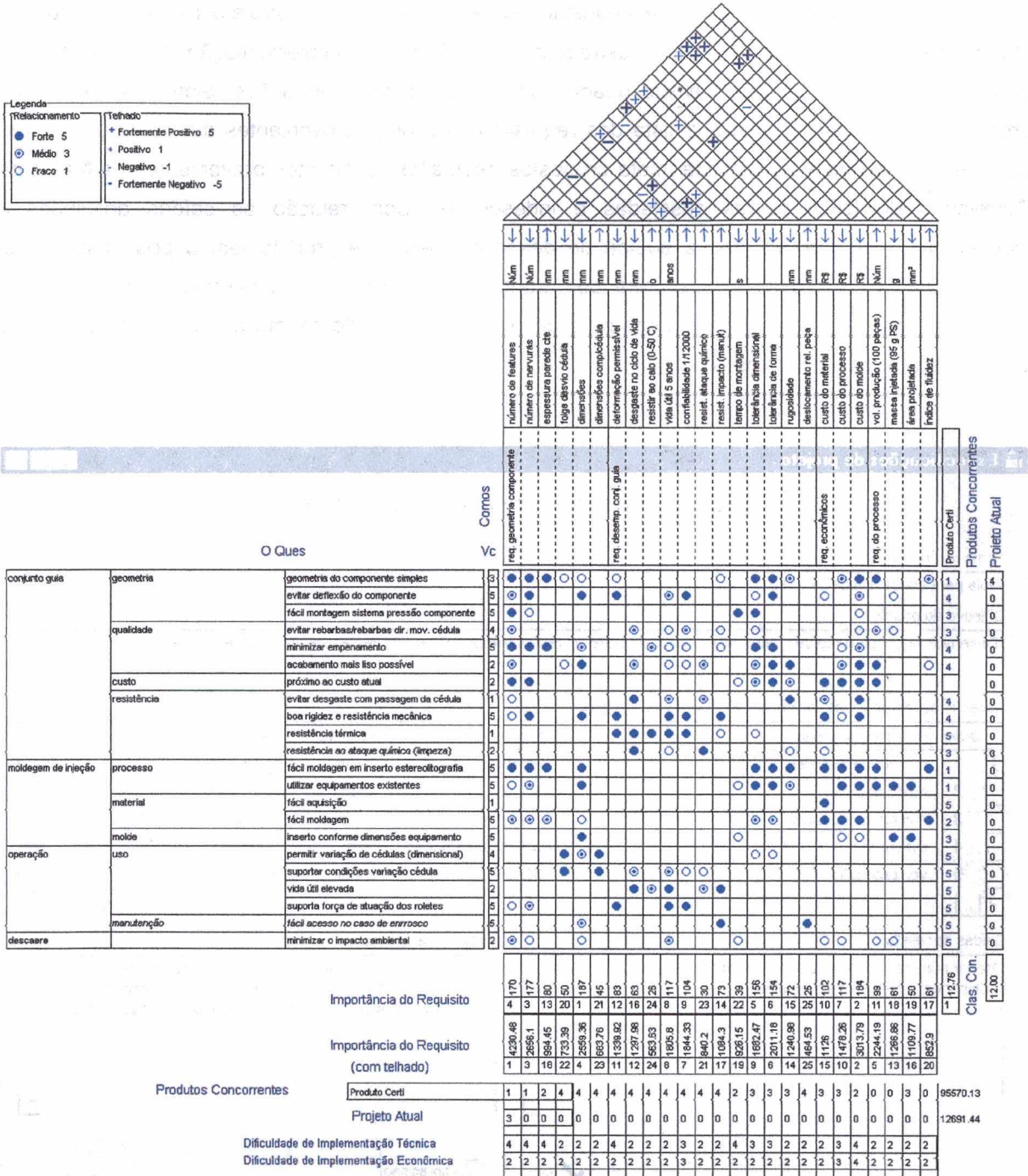


Figura 5.25. Representação da Casa da Qualidade ou Primeira Matriz do QFD.

### 5.2.8. Ferramenta de Definição das Especificações de Projeto do Componente

As especificações de projeto do componente injetado constituem um conjunto de informações que compreendem: os requisitos de projeto; as saídas desejadas e indesejadas para os requisitos de projeto; os valores associados aos requisitos de projeto; as restrições espaciais, geométricas e funcionais associadas ao sistema técnico, ao processo, ao molde, ao material de injeção e de custos; e, às diretrizes de projeto de componentes injetados.

Com o objetivo de auxiliar a definição das especificações de projeto foi implementado o Quadro de Especificações de Projeto, ilustrado na figura 5.26. Esta implementação teve como base o trabalho de Maribondo (2000). Neste quadro, são descritas as informações relativas ao nome do produto, ao objetivo do projeto, à lista dos requisitos de projeto provenientes da Matriz do QFD e, seus respectivos valores, unidade, meta propostas, requisitos conflitantes provenientes da Matriz de Correlação do QFD, saídas desejadas e indesejadas. Com relação às saídas desejadas e indesejadas, nesta ferramenta, a equipe de desenvolvimento de produto tem a possibilidade de, respectivamente, expressar o que pretendem atingir e evitar com a consideração do requisito nas especificações de projeto. A ferramenta para definir as diretrizes de projeto do componente injetado serão descritas nos próximos itens.

Nome do Produto:  
Guia para coleta de cédulas

Objetivo do projeto:  
Desenvolver um conjunto de quatro guias manufaturadas em resina plástica. O projeto desta guia deve contemplar as

Especificações de projeto do componente injetado: PADRÃO

Ordem	Requisito de projeto	Valor	Unidade	Meta proposta	Requisitos conflitantes
1	número de features	Sem valor	Núm	Minimizar	
2	custo do molde	6000,00	R\$	Minimizar	12
3	número de nervuras	Sem valor	Núm	Minimizar	11/7/17
4	dimensões	Conforme restrições	mm	Minimizar	
5	vol. produção	100	Núm	Maximizar	

Saídas desejadas  
Menor número de features a fim de tornar a forma do componente injetado mais simples.

Saídas Indesejadas  
Elevado número de features gerando formas complexas para o produto e, conseqüentemente dificultando o processo de manufatura do molde de injeção e elevando os seus custos.

OK Impressão

Figura 5.26. Interface de definição especificações de projeto do componente injetado.

Em termos estruturais, conforme ilustrado na figura 5.27, a ferramenta de definição das especificações de projeto compõem-se da; i) base de dados de requisitos de projeto, onde são listados os requisitos de projeto do componente injetado; ii) ferramenta de apoio da Matriz de Correlação do QFD, onde são listados os requisitos conflitantes; iii) interface de entrada de informação, representada pelo quadro de especificações de projeto; e, iv) base de dados que armazenam as informações manipuladas na ferramenta, onde são guardados os valores dos requisitos, lista de requisitos conflitantes, saídas desejadas e indesejadas.

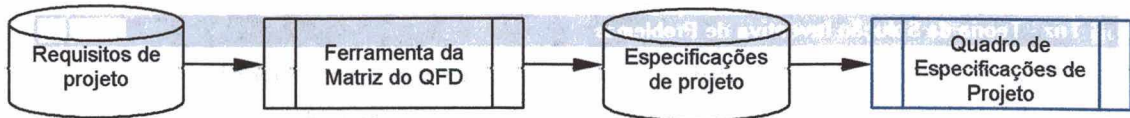


Figura 5.27. Fluxograma estrutural da ferramenta de definição das especificações de projeto.

### 5.2.9. Ferramenta de Projeto da TRIZ - Teoria da Solução Inventiva de Problemas

Segundo a metodologia proposta, empregando-se a TRIZ, são identificados caminhos para solucionar as contradições entre os requisitos de projeto. Inicialmente, a equipe de projeto busca associar parâmetros de engenharia aos requisitos e, na sequência identificar os princípios inventivos para solucionar estas contradições. Para auxiliar esta operacionalização, desenvolveu-se um programa, cuja estrutura, ilustrada na figura 5.28, é formada pelos banco de dados de requisitos de projeto, especificações de projeto, parâmetros de engenharia, relacionamentos da TRIZ e princípios inventivos, além da interface de manipulação de dados e o programa de apoio de busca de princípios.

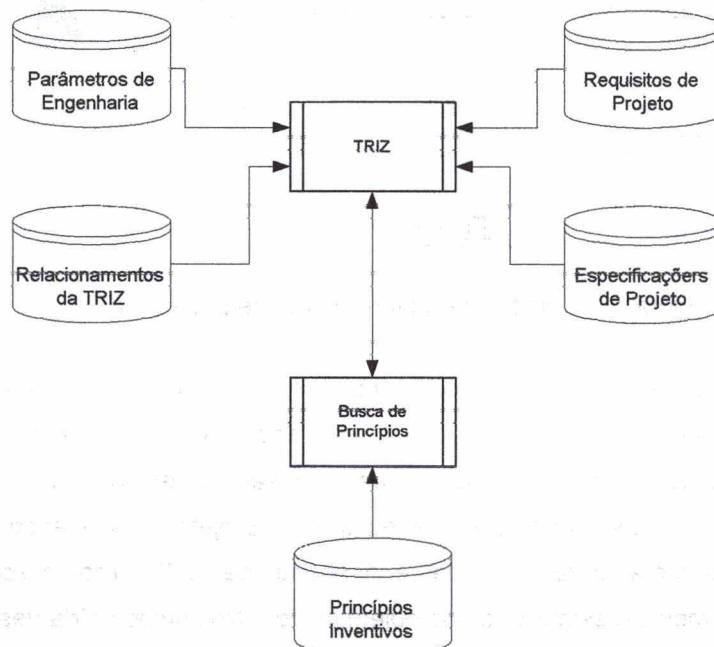


Figura 5.28. Fluxograma estrutural da ferramenta de projeto da TRIZ.

Na base de dados de requisitos de projeto são armazenados os parâmetros técnicos e econômicos provenientes da Matriz do QFD. Na base de dados das especificações de projetos, está armazenada a lista dos requisitos conflitantes, seus valores e metas, saídas desejadas e indesejadas. Da mesma forma, os 39 parâmetros de engenharia e 40 princípios inventivos da TRIZ são armazenados em bancos de dados específicos. Na base de dados de relacionamento da TRIZ são armazenadas as informações da Matriz de Contradição. Para auxiliar a equipe de projeto a identificar os princípios inventivos da TRIZ, implementou-se a interface ilustrada na figura 5.29.

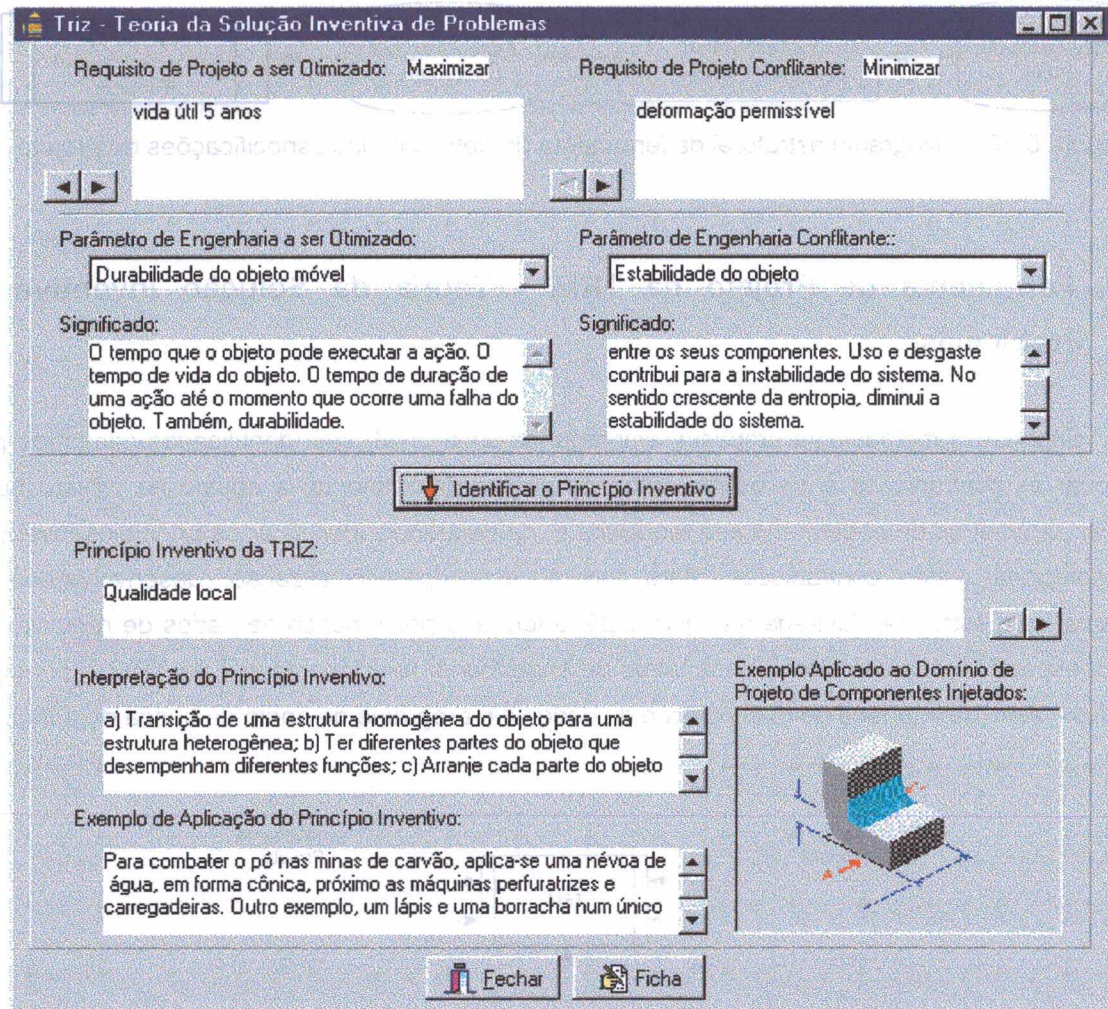


Figura 5.29 . Interface da ferramenta de projeto da TRIZ.

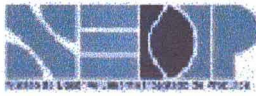
Como pode ser observado, na parte superior da ferramenta, tem-se conhecimento do requisito de projeto a ser otimizado (por exemplo, maximizar a vida útil - cinco anos) e o respectivo conflitante (minimizar a deformação permissível), os quais são provenientes da Matriz de Contradição do QFD. Considerando estas informações, a equipe de projeto, consultando a base de dados, identifica o correspondente parâmetro de engenharia da TRIZ (no caso, respectivamente, durabilidade do objeto móvel e estabilidade do objeto móvel). No campo saída desejada e indesejada, o usuário tem um entendimento maior do requisito de projeto, facilitando a utilização da ferramenta proposta.

Na sequência, clicando o ícone "Identificar o princípio inventivo", o SISCOI, por meio da ferramenta de apoio denominada "busca por princípios", identifica, na referente base de dados, os correspondentes princípios inventivos que podem ser utilizados no projeto do produto para minimizar ou eliminar as contradições entre os requisitos de projeto. Neste exemplo, são identificados os princípios qualidade local, inversão e transformação dos estados químicos e físicos de um objeto. No caso, são apresentadas as informações referentes ao princípio inventivo "Qualidade Local".

Para auxiliar o emprego desta ferramenta, foram implementados os campos explicativo do parâmetro de engenharia e, também de interpretação e exemplificação do princípio inventivo no

projeto de produtos genéricos. Considerando o projeto de componentes injetados, implementou-se um recurso gráfico que mostra a aplicação do princípio inventivo no projeto deste tipo de produto.

Ao final do uso desta ferramenta, assim como para as demais, pode ser impresso o relatório, como ilustrado na figura 5.30.



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

<b>Ordem de serviço</b> Número: 1	<b>Objetivo Geral:</b> Desenvolver um conjunto de quatro guias estruturadas em resina plástica. O projeto desta guia deve contemplar as necessidades,
	<b>Contratante:</b> Fundação CERTI

---

### Teoria da Solução Inventiva de Problemas

**Esta ferramenta apresenta uma série de orientações, princípios inventivos, para a solução das contradições entre os requisitos de projeto do produto.**

**Requisitos de Projeto em Contradição**

Requisito a ser otimizado: vida útil 5 anos	Meta: Maximizar
Requisito conflitante: deformação permitível	Meta: Minimizar

---

**Parâmetro de Engenharia da TRIZ**

Parâmetro de engenharia a ser otimizado: Durabilidade do objeto móvel	
Interpretação: O tempo que o objeto pode executar a ação. O tempo de vida do objeto. O tempo de duração de uma ação até o momento que ocorre uma falha do objeto. Também, durabilidade.	
Parâmetro de engenharia conflitante: Estabilidade do objeto	
Interpretação: Representa a integridade do sistema e a relação entre os seus componentes. Uso e desgaste controlado para a instabilidade do sistema. No sentido crescente da entropia, diminui a estabilidade do sistema.	

---

**Princípios Inventivos da TRIZ**    **Qualidade local**

**Interpretação**

a) Transição de uma estrutura homogênea do objeto para uma estrutura heterogênea; b) Ter diferentes partes do objeto que desempenham diferentes funções; c) Arranjar cada parte do objeto sob condições mais favoráveis para sua operação;

**Exemplo genérico**

Para combater o pó nas minas de carvão, aplica-se uma névoa de água, em forma cônica, próximo às máquinas perfuratricas e carregadeiras. Outro exemplo, um ímã e uma borracha num único componente.

**Exemplo aplicado ao domínio de projeto de componentes injetados**

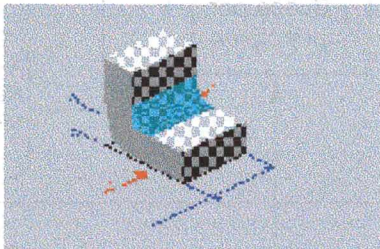


Figura 5.30. Relatório da ferramenta de projeto da TRIZ.



### 5.2.10. Ferramenta de Definição das Diretrizes de Projeto do Componente Injetado

A implementação computacional da ferramenta de definição das diretrizes de projeto do componente injetado segue a mesma filosofia da ferramenta da TRIZ.

Como ilustrado na figura 5.31, em termos estruturais, esta ferramenta compõe-se dos seguintes elementos: i) base de dados de requisitos de projeto, que contém a lista de requisitos provenientes da matriz do QFD; ii) base de dados de especificações de projeto, que armazena os requisitos e nas respectivas metas, valores e requisitos conflitantes; iii) base de dados de parâmetros de engenharia otimizados, que possuem um conjunto de parâmetros relacionados ao projeto e manufatura do componente injetado que devem ser melhorados; iv) base de dados de parâmetros de engenharia conflitantes, que apresenta um conjunto de parâmetros relacionados ao projeto e manufatura do componente injetado que dificulta ou causa problemas no desenvolvimento deste tipo de produto; v) base de dados de relacionamentos da matriz de diretrizes, onde são armazenados os relacionamentos entre os parâmetros de engenharia a serem otimizados e conflitantes e suas diretrizes de projeto; vi) ferramenta de busca de princípios, responsável pela identificação de diretrizes de projeto dado um conjunto de parâmetros de engenharia; vii) base de regras de projeto de componentes injetados, que apresenta uma lista de regras para solução de um dado conflito entre os parâmetros de engenharia; viii) base de estratégias de projeto de componentes injetados, que apresenta uma lista de estratégias para solução de um dado conflito entre os parâmetros de engenharia; e, ix) base de princípios de projeto de componentes injetados, que apresenta uma lista de formas básicas empregadas para solucionar um dado conflito de projeto entre os parâmetros de engenharia.

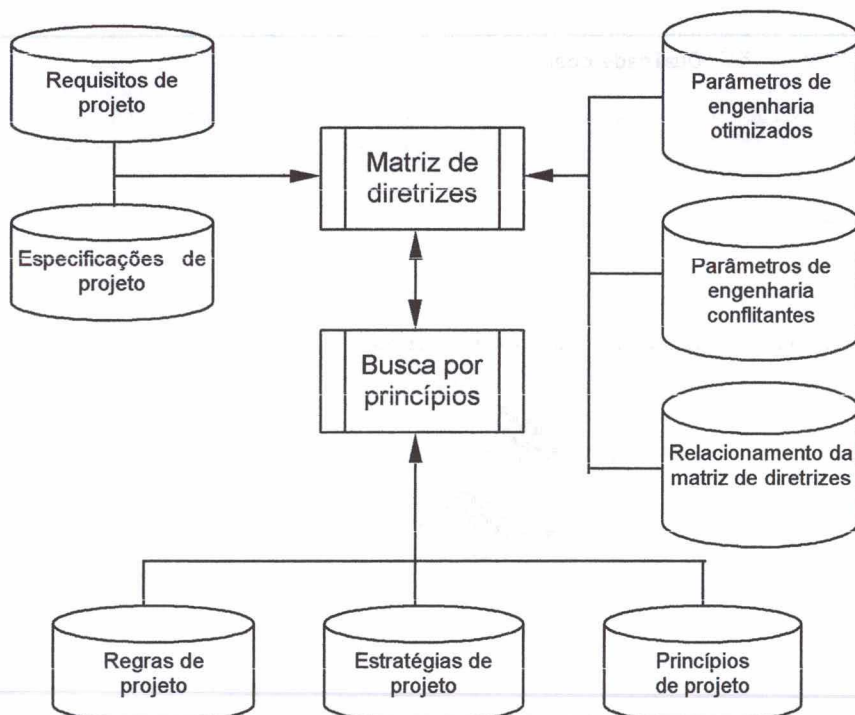


Figura 5.31. Estrutura da ferramenta de definição das diretrizes de projeto do componente injetado.

Para auxiliar a operacionalização do processo de definição das diretrizes de projeto do componente injetado foi implementada a interface ilustrada na figura 5.32. Nesta interface são apresentados os requisitos de projeto e suas respectivas metas, saídas desejadas e indesejadas. Estas informações são provenientes do quadro de especificações de projeto. A seguir, a equipe de projeto deve identificar o correspondente parâmetro de engenharia. Na sequência, clicando no ícone "Identificar a Diretriz de Projeto", o programa por meio da ferramenta de "busca de princípios", identifica a correspondente estratégia, regra ou princípios de projeto de componentes injetados, a ser empregados para solucionar as contradições entre os requisitos.

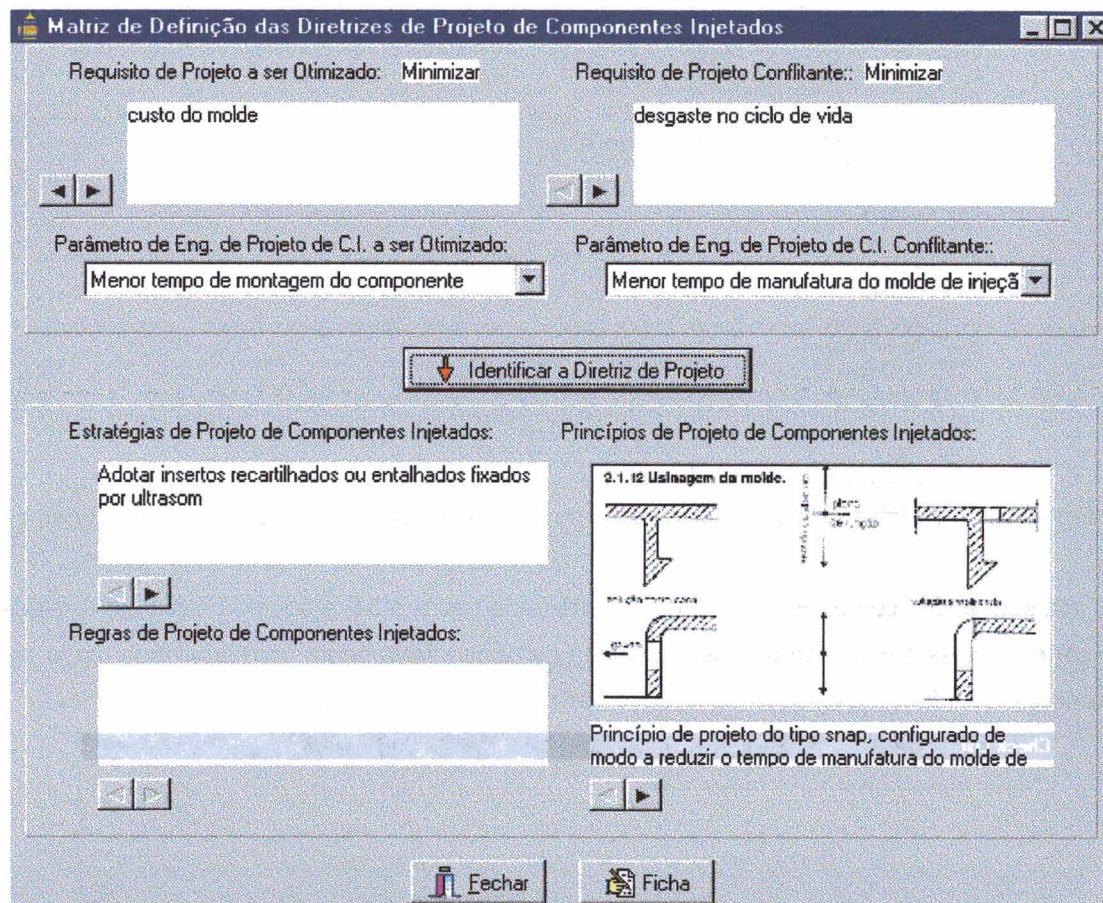


Figura 5.32. Interface de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados.

O resultado da utilização desta ferramenta é apresentada sob a forma de um relatório técnico, o qual é produzido clicando sobre o ícone "Ficha". Este relatório, assim como os demais, irão compor as especificações de projeto do componente injetado.

### 5.2.11. Check-list da Fase de Projeto Informacional

Para auxiliar a avaliação da fase de projeto informacional, foram elaboradas questões, relativas a cada etapa da metodologia proposta, visando certificar que a equipe de projeto considerou distintos aspectos relativos ao ciclo de vida no desenvolvimento de componentes injetados.

Na interface inicial implementada, ilustrada na figura 5.33, a equipe de projeto pode selecionar a fase do ciclo de vida que deseja verificar se as informações necessárias ao desenvolvimento do produto foram estabelecidas.

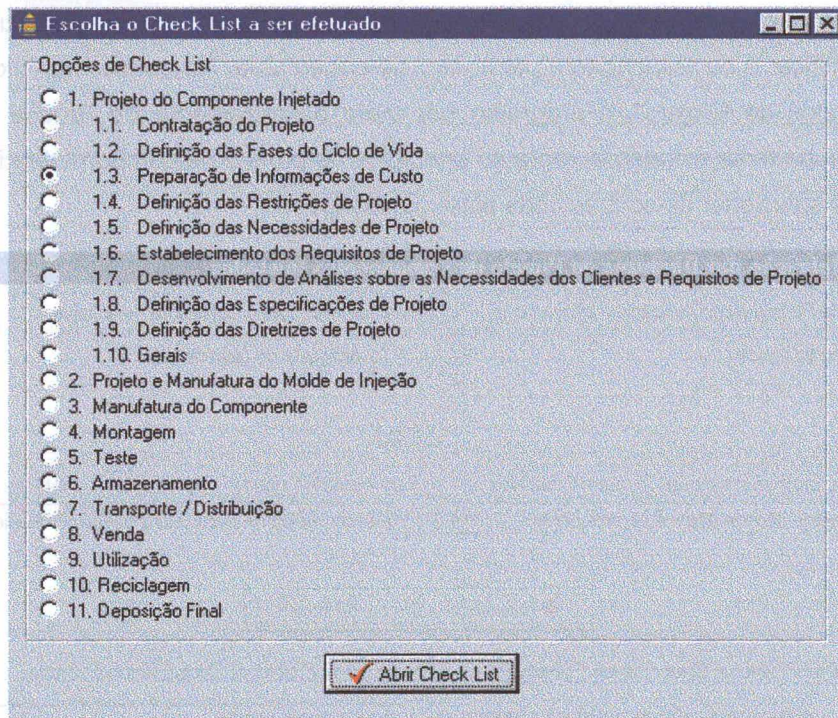


Figura 5.33. Interface inicial da ferramenta do check-list da fase de projeto informacional.

Na sequência, conforme ilustrado na interface da figura 5.34, a equipe de projeto tem acesso a uma série de questões. E, também tem a opção de abrir a ferramenta correlacionada, caso deseje complementar as informações que não foram determinadas anteriormente.

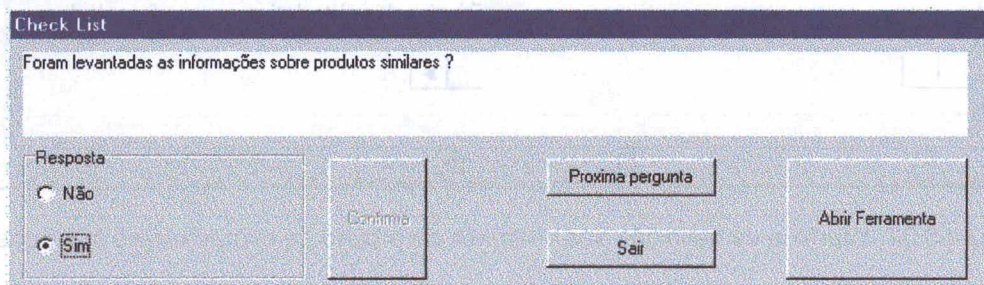


Figura 5.34. Interface com questões do check-list.

## 5.2.12. Bases de Dados do SISCOI

Para auxiliar a operacionalização do processo de projeto do componente injetado, por meio da utilização das ferramentas implementadas no SISCOI, foram empregadas bases de dados de máquinas injetoras, moldes de injeção, materiais de injeção, questões e diretrizes de projeto.

A base de dados de questões foi implementada tendo como ponte o trabalho de Maribondo (2000), sendo as informações adaptadas ao domínio de projeto de componentes injetados.

A base de dados de atributos dos componentes foi extraída do trabalho de Ogliari (1999).

Na base de dados de materiais de injeção, ilustrada na figura 5.35, são armazenados os distintos tipos de materiais empregados na fabricação de componentes injetados, juntamente, com as suas propriedades, tais como: pressão de injeção, relação L/D, temperatura de injeção do material, temperatura do molde e temperatura de extração do material, além do custo direto por kg.

Figura 5.35. Base de dados de material de injeção.

Na base de dados de máquinas injetoras, ilustrada na figura 5.36, são armazenados diferentes tipos de injetoras e suas propriedades: força de fechamento, largura e comprimento entre colunas, largura e comprimento entre placas, altura máxima e mínima do molde, curso de abertura da injetora, relação L/D, capacidade de injeção e plastificação e custo direto por hora de operação.

Figura 5.36. Base de dados de máquinas de injeção.

Na base de dados de moldes de injeção, ilustrada na figura 5.37, são armazenadas as seguintes informações: tipo de ferramental, largura, comprimento, altura máxima e mínima do molde, largura e comprimento da cavidade, altura da placa fixa e móvel, curso de extração e preço.

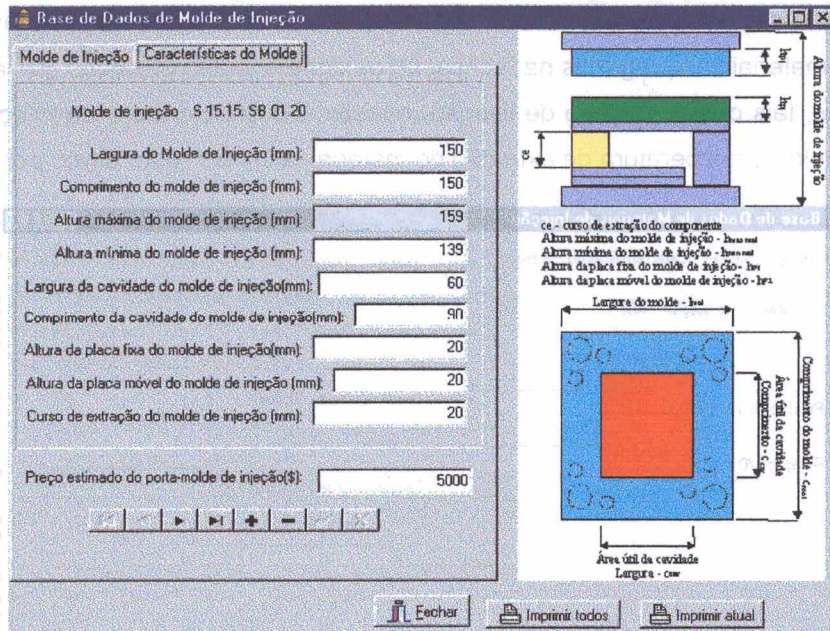


Figura 5.37. Base de dados de molde de injeção.

Na base de dados de manutenção das diretrizes de projeto de componentes injetados, ilustrada na figura 5.38, são apresentados recursos para editar os parâmetros a serem otimizados, os parâmetros conflitantes, as estratégias, as regras e os princípios de projeto de componentes injetados. Desta forma, a equipe de projeto clicando sobre o ícone "+", pode adicionar informações a base de dados e, no ícone "-", pode excluir informações.

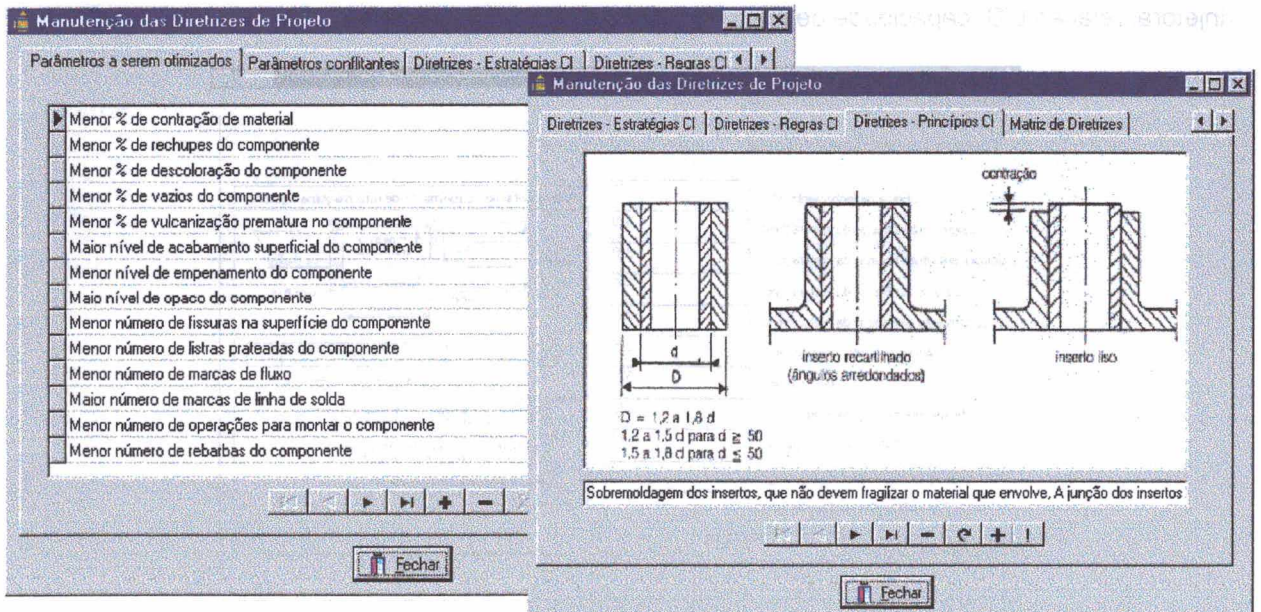


Figura 5.38. Interface da base de dados de diretrizes de projeto - edição de informações.

Na interface ilustrada na figura 5.39, são armazenados os relacionamentos entre as informações adicionadas na interface ilustrada na figura 5.38. Assim, o usuário pode inserir ou remover as diretrizes de projeto da base de dados. No caso de inserir, após selecionar um parâmetro a ser otimizado e conflitante e sua respectiva diretriz de projeto deve clicar no ícone "inserir".

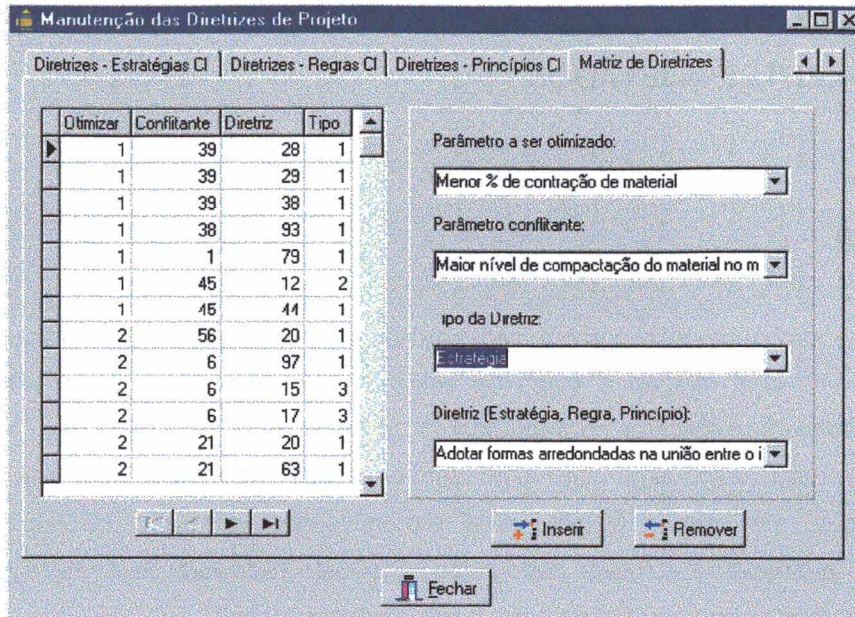


Figura 5.39. Base de dados de diretrizes de projeto - relacionamento das informações.

Na base de dados de manutenção de questões, ilustrada na figura 5.40, são editadas e armazenadas as questões relacionadas ao ciclo de vida do componente injetado. Estas questões são empregadas na ferramenta de definição das necessidades dos clientes.

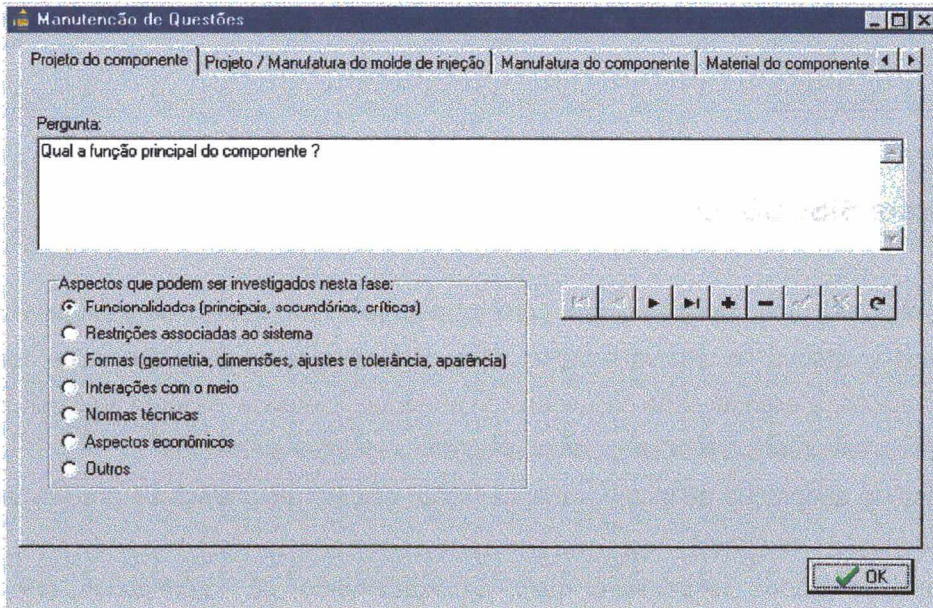


Figura 5.40. Base de dados de questões de projeto de componentes injetados.

### 5.3. Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentadas as diversas interfaces implementadas e constituintes do SISCOI. Nesta implementação, procurou-se desenvolver recursos para auxiliar a operacionalização da fase de projeto informacional da metodologia proposta. A seguir, será apresentada a implementação do software de apoio a estimativa de custo de componentes injetados.

## 6. DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE DE APOIO À ESTIMATIVA DE CUSTOS DE COMPONENTES INJETADOS

### 6.1. Introdução

A implementação deste programa computacional busca auxiliar a operacionalização da metodologia proposta com relação à etapa de estimativa de custos de componentes injetados, conforme os procedimentos descritos no Capítulo 4.

Com o emprego da linguagem de modelagem orientada à objetos denominada UML (Unified Modeling Language), a linguagem "Object Pascal" e o ambiente de programação Delphi Versão 5.0<sup>®</sup> desenvolveu-se o protótipo do software denominado SisCusto (Software de Apoio à Estimativa de Custo de Componentes Injetados), que será apresentado neste capítulo.

É importante ressaltar que, como foi descrito no Capítulo 3, o processo de estimativa de custos de componentes injetados envolve as fases de preparação de informações de custos e estimativa de custos. No software SISCOI, descrito no Capítulo 5, foram apresentados recursos para auxiliar a etapa de preparação de informações de custos de componentes injetados. Entretanto, na implementação do SisCusto também optou-se pela implementação destes recursos, uma vez que deseja-se obter um software que apoie o processo de estimativa de custos de componentes injetados em todas as suas fases.

### 6.2. O Software SISCUSTO

O software SisCusto busca auxiliar a equipe de projeto no processo de estimativa de custos de componentes injetados. A implementação deste software teve como base as ferramentas propostas para auxiliar a estimativa de custos de componentes injetados, descrita no Capítulo 4.

Em termos estruturais o SisCusto constitui-se dos seguintes elementos:

- Base de dados que permitem a manipulação, edição, recuperação e armazenamento de informações de projeto.
- Base de dados responsável pelo armazenamento de informações resultante de relacionamentos realizados pela equipe de projeto.
- Interface de entrada e manutenção de dados, representada pelas telas do programa.
- Ferramenta de apoio, as quais podem ser entendidas como sendo sub-rotinas implementadas para executar determinadas atividades.
- Relatórios técnicos, nos quais são apresentados os resultados impressos das etapas do processo de definição das especificações de projeto.

Os menus do SisCusto implementados são:

- **Menu Arquivo:** com opções para abrir, salvar, salvar como e sair do programa;

- **Menu Preparação de Informações:** com recursos para se desenvolver o estudo completo de preparação de informações para estimar custo. Este estudo considera as tarefas de inserir informações de produtos similares e novos, definir o custo meta e desdobrar o custo do componente injetado novo. Também se implementaram recursos para realizar estas tarefas independentemente;

- **Menu Estimativa de Custo:** com meios para se elaborar o estudo completo de estimativa de custo de componentes injetados através do método do ciclo de vida ou do método da similaridade. Também foram implementados recursos para estimar o custo do componente injetado, empregando-se um dos métodos citados;

- **Menu Abordagens de Custo:** contendo informações para tratar o problema da estimativa segundo as abordagens de "design to cost" ou "design to minimum cost";

- **Menu Base de Dados:** contendo informações que podem ser manipuladas sobre os distintos tipos de material de injeção, máquina de injeção e porta-molde;

### 6.3. Desenvolvimento do SISCUSTO

O desenvolvimento do SisCusto foi realizado com auxílio da linguagem de modelagem orientada a objetos denominada UML (*Unified Modeling Language*), juntamente com recursos de modelagem de outras linguagens (Larman, 1998) (Booch *et al.*, 1999).

O processo de desenvolvimento do SisCusto foi conduzido segundo uma metodologia estabelecida com base nos conhecimentos adquiridos em Larman (1998) e Booch *et al.* (1999), a qual está estruturada nas etapas de análise, projeto, implementação e testes, como descrito a seguir:

- **Etapa 1: Definição do problema:** com base nas informações descritas na metodologia de projeto e estimativa de custo, elaborou-se uma série de estudos visando o entendimento do problema, a definição das necessidades do programa, o estabelecimento dos requisitos do cliente, a definição de relatórios, menus, interfaces e tabelas com funcionalidades do mesmo.

- **Etapa 2: Desenvolvimento do diagrama de casos de uso:** elaborado para identificar o objetivo, o escopo, as informações de entrada, as informações de saída, os atores e as tarefas necessárias para operacionalizar cada tarefa do processo de estimativa de custo do componente injetado, segundo a metodologia proposta.

Assim, inicialmente, tendo em vista a definição do problema a ser resolvido com o desenvolvimento do software, iniciou-se a elaboração dos diagramas de caso de uso gerais e, a partir destes, buscou-se o refinamento das informações até atingir um nível de detalhamento maior, estabelecendo-se os diagramas de casos de uso específicos. Na figura 6.1 está ilustrado o diagrama de caso de usos mais geral estabelecido para o SisCusto.

Os demais diagramas de casos de uso do SisCusto estão disponíveis em Silva (2001) e Lassance (2001). Uma vez finalizada a elaboração dos diagramas de casos de uso, foi estabelecida uma estrutura hierárquica apresentando o relacionamento entre estes diagramas. Na sequência, iniciou-se a elaboração do modelo conceitual do programa.



Diagrama de Casos de Uso		Realizar Projeto
Objetivo dentro do Contexto.		Cliente conseguir estimar o custo do componente novo
Escopo.		Estimativa de custos de componentes injetados
Pré-Condições.		Informações sobre o componente disponíveis
Término com Sucesso.		O Cliente estima o custo do componente.
Término com falha.		O Cliente não estima o custo do componente.
Atores Primários		Cliente.
Atores Secundários		_____
Gatilho.		Cliente completa a etapa de geração de concepção do componente.

Descrição	Passo	Ação
	1	Iniciar Projeto
	2	Preparar Informações
	3	Escolher Método(s) de Estimativa do Custo
	4	Imprimir relatório
	5	Aprovar resultado
	6	Salvar Projeto
	7	Terminar Projeto
Extensão	Passo	Ação Alternativa
	5 a	Retornar ao passo 2, se há necessidade de preparar informações
	5 b	Retornar ao passo 2, se não há necessidade de preparar informações

Figura 6.1. Diagrama de casos de uso geral do SISCUSTO.

- **Etapa 3: Desenvolvimento do modelo conceitual:** representa a relação entre conceitos, atributos e associações relacionadas aos conceitos. Estes conceitos podem ser entendidos como sendo idéias, coisas ou objetos do mundo real e não representam componentes de software (Larman, 1998). Este modelo constitui uma base para a elaboração do diagrama de classe.

O modelo conceitual do SisCusto está ilustrado na figura Q.1. do Anexo Q.

- **Etapa 4: Elaboração do diagrama de classes:** ilustra as especificações das classes e interfaces do sistema, incluindo estas classes, associações e atributos, interfaces com operações e constantes, métodos, informações dos atributos, navegabilidade e dependências.

Para desenvolver este diagrama procurou-se focar as classes pertencentes ao domínio do problema de estimativa de custo de componentes injetados (isto é, as classes denominadas produto, processo, molde, material de injeção e custo). E, as classes do domínio da solução do problema, isto é, aquelas necessárias para resolver o problema da implementação computacional (isto é, a classe gerente e interface). O gerente pode ser entendido como sendo a interface principal do programa, cuja função é controlar as demais interfaces gráficas e as classes do domínio do problema. O diagrama de classe do SisCusto está apresentado na figura Q.2 do Anexo Q.

Com relação aos métodos, para facilitar o entendimento dos mesmos, estes foram listados com nível de detalhamento maior e classificados por classe para melhor visualização, como mostra o exemplo descrito na figura 6.2. Os demais métodos estabelecidos para o SisCusto estão disponíveis em Silva (2001) e Lassance (2001).

<u>Classe Produto</u>
<b>Function:</b> <i>FornecerMolde</i>
<b>Parâmetros:</b> <i>Nenhum</i>
<b>Valor Retorno:</b> <i>Molde</i>
<b>Comentário:</b> <i>Função que retorna o objeto Molde do Produto.</i>

Figura 6.2. Exemplo do método “fornecer molde de injeção” da classe produto.

- **Etapa 5: Elaboração do diagrama de sequência:** tem o intuito de mostrar a ordem das interações dos atores externos (usuário) com o sistema e os eventos que eles geram (Larman, 1998). Este diagrama demonstra como as tarefas do processo dos diagramas de casos de uso são executadas pelo sistema, por meio das suas devidas trocas de informações (interações) entre os objetos. Os diagramas de sequência do SisCusto estão descritos em Silva (2001) e Lassance (2001).
- **Etapa 6: Desenvolvimento do diagrama de estados:** elaborado com o intuito de mostrar como os objetos se comportam na execução do programa. Este diagrama está mostrado no Anexo Q.
- **Etapa 7: Implementação do programa em Delphi:** a implementação do programa SisCusto foi realizada utilizando o software Delphi ©.
- **Etapa 8: Testes do programa:** avaliar a implementação do SisCusto comparando os resultados obtidos através do programa computacional implementado com aqueles estabelecidos manualmente, por meio da sistemática proposta no Capítulo 4. Estes testes foram realizados durante o processo de desenvolvimento do programa computacional.

A seguir serão descritas as ferramentas implementadas no SisCusto.

#### 6.4. Ferramentas de Preparação de Informações de Custos de Componentes Injetados

Segundo a metodologia proposta, o processo de preparação de informações envolve as tarefas de levantamento de informações de produtos similares, definição do custo meta e desdobramento do custo do ciclo de vida do componente injetado. A implementação da ferramenta de preparação de informações para estimar o custo do componente injetado, foi realizada tomando como base estas tarefas. Como resultado, tem-se a interface gráfica ilustrada na figura 6.3.

Nesta interface, a equipe de projeto tem a possibilidade de preparar as informações de custo por meio do "estudo completo" ou executando as tarefas separadamente.

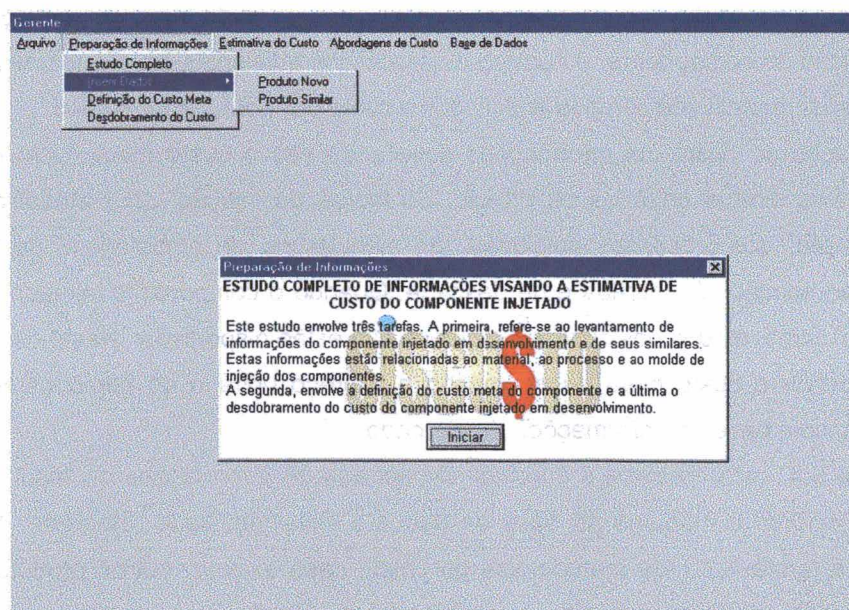


Figura 6.3. Interface de preparação de informações de custos de componentes injetados.

A apresentação desta ferramenta será realizada através do estudo completo, que se inicia com a inserção de informações do produto similar, conforme descrito na Etapa 1.3.1 da metodologia proposta. Como descrito na metodologia proposta, estas informações auxiliam na definição do custo meta do componente injetado em desenvolvimento e na estimativa do custo das alternativas de concepção. As informações a serem levantadas sobre os produtos similares, são: origem (concorrência ou própria empresa), espessura da parede do produto, profundidade, volume, peso, raio do cilindro (se, o componente em desenvolvimento for de forma cilíndrica), quantidades produzidas e características. Na sequência, o usuário deve inserir informações sobre o material de injeção, porta-molde, molde de injeção, máquina injetora, processo de injeção e custo.

Em se tratando das informações de material, porta-molde e máquina injetora, implementou-se uma base de dados, conforme descrito no item 6.7, contendo as características destes elementos. Assim, o usuário pode selecionar o material, o porta-molde e máquina injetora mais adequada para o projeto do componente injetado em questão. É importante ressaltar que os dados destas bases são os mesmos daqueles implementados no SISCOI, os quais, entretanto, diferem da sua estrutura.

As informações a serem estabelecidas são as seguintes: i) **material**: nome, difusividade, densidade, custo por kg, calor específico, condutividade térmica, temperatura de extração e temperatura de injeção; ii) **porta-molde**: nome, preço, largura, comprimento, altura máxima, altura mínima, largura máxima da cavidade, largura mínima da cavidade, comprimento máximo da cavidade, altura da placa fixa, altura da placa móvel e curso de extração; iii) **máquina de injeção**: nome, potência, força de fechamento, largura entre colunas, comprimento entre colunas, largura da placas, comprimento das placas, altura mínima, altura máxima, curso de abertura, relação L/D, capacidade de injeção, capacidade de plastificação, custo por hora da máquina e tempo de ciclo de seco.

No caso do molde de injeção, o usuário deve inserir informações sobre o custo da cavidade, volume de material injetado, número de cavidade do molde, temperatura do molde de injeção, volume do canal e custo do molde, o qual é atualizado, automaticamente, considerando o valor do custo da cavidade e do molde. Em se tratando do processo de injeção, o usuário deve informar a vazão do processo, perdas de material no processo, rendimento, percentual do tempo de extração em relação ao tempo de injeção do componente, o número de processos adicionais envolvidos na manufatura do componente e seus, respectivos, tempos envolvidos e custo por hora, se for o caso.

Com relação ao custo, as informações solicitadas são o custo meta, lucro unitário, preço unitário e os custos diretos unitários de projeto, do molde de injeção, do material de injeção, do processo de injeção, dos processos adicionais, de manufatura, de embalagem, de transporte, de operação, de manutenção, de retirada e de descarte. Quando o componente injetado for oriundo de empresas concorrentes, alguns dos custos solicitados não estão disponíveis. Neste caso, a equipe de projeto deverá definir o custo meta, lucro unitário e o preço unitário do componente injetado em desenvolvimento, com base em informações do mercado.

Na figura 6.4. está ilustrada a interface de entrada de informações da máquina injetora. O usuário deve selecionar a máquina na base de dados e clicar no ícone "atualizar". Na sequência, como descrito na tarefa 1.3.1 da metodologia proposta, caso existam outros produtos similares, o procedimento descrito deve ser realizado novamente para estes produtos.

Valores do Produto		Nome da Máquina	Valores da Base de Dados	
Battenfeld 150 / 50 cdc B			Battenfeld 150 / 50 cdc B	
W	5,52	Potência	5,52	W
KN	150	Força Fechamento	150	kN
mm	220	Largura Entre Colunas	220	mm
mm	220	Comprimento Entre Colunas	220	mm
mm	380	Largura Placas	380	mm
mm	380	Comprimento Placas	380	mm
mm	100	Altura Mínima	100	mm
mm	350	Altura Máxima	350	mm
mm	100	Curso Abertura	100	mm
	19,6	Relação LD	19,6	
g	20,4	Capacidade de Injeção (PS)	20,4	g
g/s	6,5	Capacidade de Plastificação	6,5	g/s
R\$/h	22	Custo por Hora Máquina	22	R\$/h
s	1,43	Tempo Ciclo Seco	1,43	s

Figura 6.4. Interface de entrada de informações sobre a máquina de injeção.

Na figura 6.5 está ilustrada a interface de entrada de informações da concepção a ser projetada, a qual é semelhante às interfaces de levantamento de informações de produtos similares.

Suporte da bandeja	Nome do Produto
Origem	
<input checked="" type="radio"/> Produto Novo	
Espessura da Parede	50 mm
Profundidade	125 mm
Volume do Componente	0.00002 m <sup>3</sup>
Peso	0.01 Kg
Raio do Cilindro	0 mm
Quantidade Produzida	1000000 unidades
Características	Suporte da bandeja da empresa A.

Figura 6.5. Interface de entrada de informações da alternativa de concepção.

Segundo a metodologia proposta, como descrito na etapa 1.3.2, com base nas informações dos produtos similares levantadas, pode ser definido o custo meta do componente. Para auxiliar esta

definição, as informações de custos são apresentadas na interface ilustrada na figura 6.6. Neste caso, as informações de produtos similares oriundos da própria empresa apresentam um nível de detalhamento maior em relação àqueles oriundos da concorrência.

Produto Similar Concorrência		Custos					
Nome	Preço Unitário	Lucro Unitário	Operação	Manutenção	Retirada	Descarte	Direto Unitário do Componente
Bandeja Similar 3	7.5	0	0	0	0	0	0

Produto Similar Empresa									
Nomes									
Componente	Preço Unitário	Lucro Unitário	Custo Meta	Custo Material/Kg	CDU Material	CD/h Máquina	CD Processo	CDU Molde	CDU Manufatura
Suporte Similar 1	15	0.5	7.5	3.2	0.0546	30.5	0.0984	0.0746	0.3276
Suporte Similar 2	13.6	1.5	11.5	4.2	0.0541	30.5	0.987	0.0826	1.1437

Nome Produto Similar	Suporte Similar 1	Suporte Similar 2
Nome Processo Adicional	Montagem no sistema	Montagem no sistema
Custo/h	10	10

Figura 6.6. Interface de visualização dos custos dos produtos similares.

Na sequência, com base nas informações apresentadas na figura 6.6 e considerando a metodologia proposta, a equipe de projeto pode definir o custo-meta do componente injetado pelo método baseado no mercado ou pelo método baseado no custo. Para isto, implementou-se a interface ilustrada na figura 6.7. Por se tratar de uma tarefa complexa, como descrito na metodologia proposta, nesta interface têm-se orientações para determinar o custo meta do componente injetado.

Figura 6.7. Interface de definição do custo do componente injetado.

A preparação de informações de custo, como descrito na etapa 1.3.3 da metodologia proposta, encerra-se com a tarefa de desdobramento de custo do componente injetado, cuja interface está ilustrada na figura 6.8. Nesta interface, observa-se que são apresentadas informações dos produtos similares e seus respectivos custos. Em se tratando do componente injetado em desenvolvimento, neste momento, somente estão disponíveis o seu nome, especificação de material, custo de material por quilo, custo direto do processo de injeção por hora, preço do porta-molde e custo da cavidade do molde de injeção. As demais informações são atualizadas ao final do processo de estimativa de custo do componente injetado. Assim, a equipe de projeto poderá comparar o valor de custo estimado do componente injetado com o, respectivo, custo dos produtos similares.

Produto em Desenvolvimento
 Produtos Similares | || Componente 1 | Componente 2 |
Nome do Componente	Componente	Componente 1	Componente 2
Custo de Material por Kg	4.2	4.2	4.2
Custo direto unitário do Material de Injeção	0	0.0515	0.05416
Custo direto por hora Máquina	30.5	30.5	40.5
Custo direto unitário do Processo de Injeção	0	0.15	0.1262
Preço do Porta-Molde	3400	3400	4700
Custo da Cavidade do Molde de Injeção	44300	36630	93060
Custo direto unitário do Molde de Injeção	0	0.0400	0.0977
Custo direto Unitário dos Processos Adicionais	0	0	0
Custo direto unitário de Manufatura	0	0.2416	0.2781
Custo direto unitário de Embalagem	0	0	0
Custo direto unitário de Transporte	0	0	0
Custo direto unitário de Operação	0	0	0
Custo direto unitário de Manutenção	0	0	0
Custo direto unitário de Retirada	0	0	0
Custo direto unitário de Descarte	0	0	0
Custo Meta	0	0.2	0.3
Lucro Unitário	0	0.3	0.4
Preço Unitário	0	0.5	0.7
**Custo Direto Unitário do Componente**	**0**	**0.2416**	**0.2781**

 At the bottom of the window, there are two buttons: 'Confirmar' and 'Fechar'."/>

Figura 6.8. Interface de desdobramento do custo do componente injetado.

A implementação desta interface teve o objetivo de permitir a visualização e conhecimento dos custos que compõem o custo do ciclo de vida do componente injetado. A seguir, serão descritas as ferramentas do SisCusto para auxiliar na estimativa de custo de componentes injetados.

## 6.5. Ferramentas de Estimativa de Custo do Componente Injetado

A estimativa de custo do componente injetado, como descrito na Etapa 2.2 da fase de projeto conceitual da metodologia proposta, envolve a determinação dos custos diretos de material, processo de injeção, molde de injeção, processos adicionais, operação, manutenção, retirada e descarte. Para estimar os custos de material, do processo e do molde de injeção, além dos custos dos processos adicionais, implementaram-se recursos computacionais, relativos ao método do ciclo de vida e ao método de similaridade. Com relação aos custos de operação, manutenção, retirada e descarte de

componentes injetados, devido à complexidade e à dificuldade de estabelecer um modelo matemático para estimar estes custos, foram implementados somente recursos para se informar estes custos

Na interface ilustrada na figura 6.9, a equipe de projeto tem a possibilidade de estimar o custo do produto optando pelo "estudo completo" ou selecionando diretamente o método desejado, isto é, o método do ciclo de vida ou o método da similaridade.

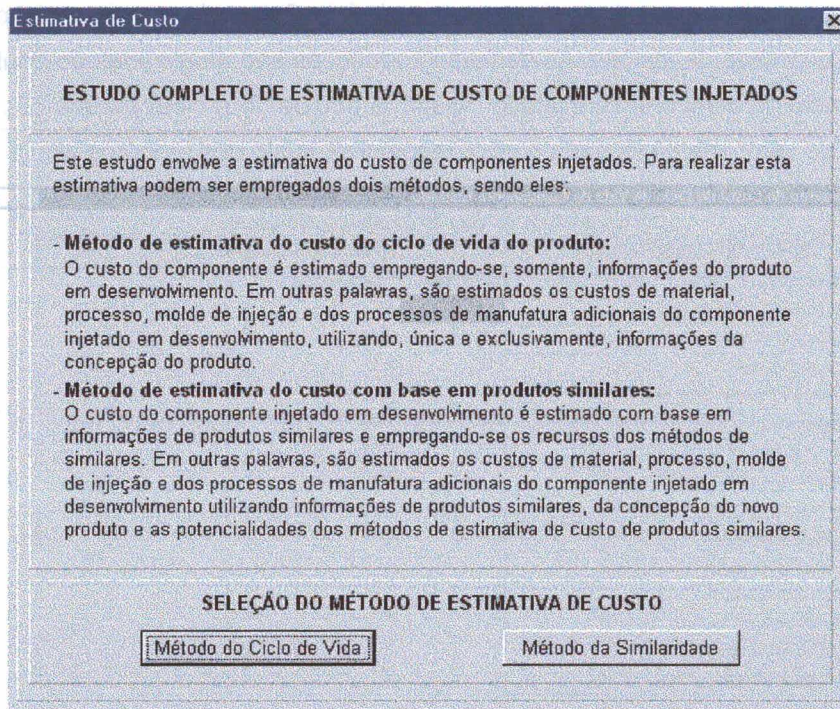


Figura 6.9. Interface de seleção do método de estimativa de custo do componente injetado.

A seguir, serão apresentadas as interfaces implementadas destes métodos de estimativa.

### 6.3.2.1. Ferramenta de Estimativa de Custo Direto Unitário do Componente Injetado pelo Método do Ciclo de Vida

A estimativa do custo direto unitário do componente injetado envolve a estimativa do custos diretos unitários de material, do processo de injeção, do molde e de processos adicionais.

Para estimar o custo do componente injetado pelo método do ciclo de vida, inicialmente, foram implementados recursos para determinar o custo de material. Neste caso, são apresentados dois métodos de estimativa de custos, sendo eles: i) o primeiro, considerando a equação (3.2), o custo do material do componente injetado é estimado, levando-se em conta o peso do componente, as perdas associadas ao processo e o custo de material por unidade de peso. ii) o segundo, considerando a equação (3.3), o custo do material do componente injetado é estimado levando-se em conta o volume do componente, o volume do canal de injeção, a densidade de material, o número de cavidade do molde e o custo de material por unidade de peso.

A interface implementada para estimar o custo de componentes injetados pelo segundo método está ilustrada na figura 6.10.

Figura 6.10. Interface de estimativa do custo de material - Método 2

No método do ciclo de vida, a segunda etapa envolve a estimativa do custo do processo de injeção que, por sua vez, é determinada pela estimativa dos tempos associados à injeção de material no molde, aplicação da pressão de recalque, resfriamento do componente e reset. Na sequência, serão descritos os recursos implementados no SisCusto para estimar estes tempos.

A implementação da interface para auxiliar a estimativa do tempo de injeção de material foi realizada considerando-se dois métodos. No primeiro, o tempo de injeção é estimado a partir de informações do volume de material injetado, pressão de injeção e potência da injetora, como descrito na equação (3.9). No segundo, este tempo é estimado com base na vazão de injeção como descrito na equação (3.10). A interface implementada está descrita na figura (6.11).

Figura 6.11. Interface de estimativa do tempo de injeção.



Como descrito no Capítulo 3, a estimativa do tempo de aplicação da pressão de recalque é realizada considerando um valor percentual do tempo de injeção. Neste caso, considerando a equação (3.7), implementou-se uma interface para auxiliar a determinação do tempo de aplicação da pressão de recalque.

Para estimar o custo associado ao tempo de resfriamento foram implementados três métodos. O primeiro, a ser aplicado no caso de placas retangulares, considerando as equações (3.18) e (3.19), possibilita estimar o tempo de resfriamento, a partir do conhecimento da espessura da parede da placa, da temperatura de injeção do material, temperatura recomendada para o molde, temperatura de extração do componente e índice de difusividade térmica do material. O segundo, a ser aplicado no caso de cilindros, permite estimar este tempo aplicando as equações (3.20) e (3.21). Nestes casos, pode ser estimado o tempo de resfriamento no centro e o tempo médio de resfriamento da placa. E, por sua vez, no terceiro método, o tempo de resfriamento do componente injetado é estimado considerando o modelo proposto nas equações (3.22) e (3.23), isto é, a partir de informações da maior espessura do componente, condutividade térmica, densidade e calor específico do material injetado.

Na figura 6.12 está ilustrada a interface implementada para auxiliar a estimativa do tempo de resfriamento de componentes injetados cuja forma assemelha-se a placas retangulares.

Figura 6.12. Interface para estimar o tempo de resfriamento do componente injetado.

A implementação da interface para estimar o tempo de reset da injetora foi realizada considerando o modelo proposto na equação (3.24), isto é, o tempo de ciclo seco da injetora, a máxima profundidade do componente e a máxima abertura da máquina.

Finalmente, considerando o rendimento do processo, ou seja, a quantidade de horas efetivamente utilizadas para produzir produtos com qualidade e aquelas disponíveis para a máquina para produzir estes produtos, assim como, o custo da injetora por hora e o número de cavidades do molde, a equipe de projeto tem a possibilidade de estimar o custo unitário direto do processo de injeção do componente injetado. A interface implementada para estimar o custo, considerando o resultado dos tempos estimados de injeção, aplicação da pressão de recalque, resfriamento e reset, está ilustrada na figura 6.13.

The screenshot shows a software window titled "Estimativa do Custo do Processo de Injeção - Resultado". The main heading is "ESTIMATIVA DO CUSTO DE PROCESSO DE INJEÇÃO" with a sub-heading "RESULTADO". There are two tabs: "Rendimento" and "Resultado", with "Resultado" selected. The interface contains a table of input parameters and their values:

Custo do Processo por Hora	30,5	R\$ / h
Rendimento do Processo de Injeção	100	%
Número de Cavidades do Molde de Injeção	2	unidades
Tempo de Injeção do Componente	1.5002	s
Tempo de Aplicação da Pressão de Recalque	0.3000	s
Tempo de Resfriamento do Componente	30.3636	s
Tempo de Reset	5.2062	s

Below the table is a button labeled "Estimar o Custo Direto do Processo de Injeção". At the bottom of the window, the result is displayed as "CUSTO UNITÁRIO DIRETO DO PROCESSO DE INJEÇÃO DO COMPONENTE" with a value of "1.5830" in a text box and an "OK" button.

Figura 6.13. Interface de estimativa do custo unitário direto do processo de injeção do componente.

O valor do custo do molde de injeção, segundo os preceitos desta tese, será considerado como informação de entrada. Sendo assim, considerando o custo do molde de injeção e o número de componentes produzidos no seu ciclo de vida, empregando-se a equação (4.24), pode ser estimado o custo direto unitário do molde de injeção do componente injetado.

Finalmente, o custo unitário direto dos processos adicionais de manufatura do componente injetado pode ser estimado considerando a equação (4.25), que envolve a estimativa do tempo necessário para executar uma certa operação de manufatura e seu respectivo custo por hora.

O resultado da estimativa do custo de material, do processo e do molde de injeção, dos processos adicionais são considerados na composição do custo direto unitário do componente injetado, como descrito na equação (4.7). Estes resultados são compilados na interface de custos estimados do componente injetado como ilustrado na figura 6.14.

É importante ressaltar que, os resultados obtidos nesta estimativa são atualizados na interface de desdobramento de custo, ilustrada na figura 6.8.

CARACTERÍSTICAS DO COMPONENTE INJETADO		
Nome do componente injetado	Componente 3	
Especificação do material de injeção do componente	PC - Polycarbonate	
Especificação da máquina injetora do componente	Battenfeld 150 / 50	
Especificação do molde de injeção do componente	S 30.30 SB 24 20	
CUSTO DO COMPONENTE INJETADO		
Custo de material por unidade de kg	4.2	R\$ / Kg
Custo direto unitário do material de injeção do componente	0.0868	R\$
Custo direto por hora máquina	30.5	R\$ / h
Custo direto unitário do processo de injeção do componente	0.1050	R\$
Preço do porta-molde	3400	R\$
Custo da cavidade do molde de injeção	44300	R\$
Custo direto unitário do molde de injeção	0.0477	R\$
Custo direto unitário de manufatura do componente	0.2396	R\$
Custo direto unitário de operação do componente	0	R\$
Custo direto unitário de manutenção do componente	0	R\$
Custo direto unitário de retirada do componente	0	R\$
Custo direto unitário de descarte do componente	0	R\$
Custo direto unitário estimado do componente injetado	0.2396	R\$
Custo Direto dos processos adicionais do componente injetado	0	R\$
Custo meta do componente	0.5	R\$
Lucro unitário do componente	0.2	R\$
Preço unitário do componente	0	R\$

OK

Figura 6.14. Interface de resultado de custos estimados do componente injetado.

### 6.5.2. Ferramenta de Estimativa de Custo Direto Unitário do Componente Injetado pelo Método da Similaridade

A estimativa do custo direto unitário do componente injetado pelo método da similaridade também envolve a estimativa do custo de material, do processo, do molde de injeção e dos processos adicionais. Entretanto, a natureza da informação requerida para estimar estes custos, empregando o método em questão, difere daquela empregada no método do ciclo de vida. Neste momento, as informações de entradas são dados dos produtos similares.

A estimativa do custo de material é realizada empregando-se as equações (4.8), (4.9) e (4.10). Desta forma, as informações obtidas sobre os produtos similares são apresentada na interface implementada e apresentada na figura 6.15. Assim, a equipe de projeto deve, inicialmente, selecionar o componente que se mostrar mais similar àquele em desenvolvimento. Na sequência, considerando as informações sobre o produto em desenvolvimento pode-se estimar o custo direto unitário de material do componente injetado.

O ícone "Editar" permite manipular as informações do produtos similares na interface de preparação de informações de custo, além de adicionar novos produtos similares aos existentes.

Estimativa do Custo de Material

**ESTIMATIVA DO CUSTO DE MATERIAL DO COMPONENTE INJETADO**

**Características dos Produtos Similares**

Nome	Volume do Canal (m³)	Volume do Componente (m³)	Custo
Bandeja Similar 3	0	1.25E-5	4.2
Suporte Similar 1	0	2.5E-5	3.2
Suporte Similar 2	0	1.75E-5	4.2

**Características do Produto em desenvolvimento**

Nome	Suporte da bandeja
Volume do Canal (m³)	0
Volume do Componente (m³)	1.72375E-5
Custo por Kg (R\$/Kg)	4.2
Densidade (Kg/m³)	1200
Número de Cavidades	2

Estimar Custo de Material    Editar

**CUSTO DIRETO UNITÁRIO DO COMPONENTE INJETADO (R\$)**

OK

Figura 6.15. Interface de estimativa do custo de material pelo método da similaridade.

O custo direto unitário do processo de injeção do componente é realizado empregando-se as equações (4.18), (4.19), (4.20), (4.21), (4.22) e (4.23). Para auxiliar a estimativa deste custo implementou-se a interface ilustrada na figura 6.16. Assim, a equipe de projeto deve selecionar um componente semelhante àquele em desenvolvimento e realizar a estimativa do seu custo.

Estimativa de Custo do Processo de Injeção

**ESTIMATIVA DO CUSTO DO PROCESSO DE INJEÇÃO DO COMPONENTE INJETADO**

**Características dos Produtos Similares**

Produto | Processo | Material | Molde | Custo

**Características dos Produtos**

Nome do Produto	Profundidade (mm)	Espessura da Parede (mm)
Componente 1	34	4
Componente 2	37	4.5

**Características do Componente Injetado em Desenvolvimento**

Nome do Produto	Componente 3
Nome do Material	PC - Polycarbonate
Densidade (Kg/m³)	1200

Estimar Custo do Processo    Editar Produto Novo    Editar Produto Similar

**CUSTO UNITÁRIO DO PROCESSO DE INJEÇÃO DO COMPONENTE (R\$)**

OK

Figura 6.16. Interface de estimativa do custo do processo de injeção pelo método da similaridade.

Os ícones "Editar Produto Novo" e "Editar Produto Similar" permitem, respectivamente, a manipulação de informações do produto novo e similar.

Da mesma forma, considerando o contexto desta Tese, para estimar o custo direto unitário do molde de injeção e o custo direto unitário dos processos adicionais de manufatura do componente injetado foram implementados os mesmos recursos do método do ciclo de vida.

O resultado da estimativa do custo direto unitário do componente injetado, obtido pelo método da similaridade, também é apresentado na interface ilustrada na figura 6.14 e atualizado na interface de desdobramento de custo.

## 6.6. Ferramenta de Abordagens de Custo

Na metodologia proposta, o processo de projeto pode ser conduzido levando em conta a abordagem de "projeto para o custo" ou "projeto para o mínimo custo". No SisCusto foram implementados recursos para comparar o custo meta do componente, estabelecido na etapa de preparação de informações de custos da interface ilustrada na figura 6.7, com o valor do custo direto unitário estimado do componente injetado. Como resultado desta comparação, tem-se uma indicação da ação a ser tomada sobre o projeto do produto a fim de contemplar a abordagem de custo. Na figura 6.17 está ilustrada a interface implementada referente à abordagem de projeto para custo.

**Design to Cost**

**Permite avaliar o componente injetado em desenvolvimento segundo a abordagem do "Design to Cost"**

Nesta abordagem, basicamente, busca-se otimizar o desempenho funcional do produto, por meio da introdução de novas características no componente, para que o custo deste produto alcance o valor do custo-meta.

Custo Meta do Componente	12.7
Custo Estimado do Componente	10.967

Avaliar

**Resultado**

Podem ser introduzidas modificações no componente injetado de modo a fazer com que o valor de custo estimado aproxime-se do valor de custo estimado. Estas modificações podem ser por exemplo: utilizar matéria prima mais nobre, adotar um acabamento superficial, melhorar o desempenho funcional do produto, entre outras.

OK

Figura 6.17. Interface de abordagem de "projeto para o custo" de componentes injetados.

## 6.7. Base de dados do SisCusto

Para auxiliar a estimativa do custo de componentes injetados, assim como a manipulação de informações referentes ao material de injeção, a máquina injetora e ao porta-molde.

No caso do material de injeção, as informações implementadas na base de dados, como ilustrada na figura 6.18, são a difusividade térmica do material, a condutividade térmica, a densidade, o calor específico, a temperatura de injeção do material, a temperatura de extração do componente e o custo de material por kg.

Nome da Máquina	Battenfeld 150 / 50 cdc A	
Potência	5.52	W
Força Fechamento	150	KN
Largura Entre Colunas	220	mm
Comprimento Entre Colunas	220	mm
Largura Placas	380	mm
Comprimento Placas	380	mm
Altura Mínima	100	mm
Altura Máxima	350	mm
Curso Abertura	100	mm
Relação LD	17.5	
Capacidade de Injeção (B. Poliestireno)	8.3	g
Capacidade de Plastificação	2.2	g/s
Custo por Hora Máquina	20	R\$/h
Tempo Ciclo Seco	1.43	s

Figura 6.18. Interface da base de dados de materiais de injeção de componentes injetados.

Em se tratando da base de dados de máquinas de injeção, foram implementados recursos para se manipular as seguintes informações das injetoras: potência, força de fechamento, largura entre colunas, comprimento entre colunas, largura e comprimento das placas, altura mínima e máxima do molde de injeção, relação L/D, capacidade de injeção e plastificação, custo por hora máquina e tempo de ciclo seco.

Por sua vez, a base de dados de porta moldes de componentes injetados foi implementada considerando informações de preço, largura, comprimento, altura máxima e mínima, largura e comprimento máximo da cavidade, altura das placas fixas e móvel e curso de extração.

### 6.3. Considerações Finais

Neste capítulo, foram apresentadas as diversas interfaces implementadas e constituintes do programa destinado a apoiar o processo de estimativa de custos de componentes injetados, denominado SisCusto. O resultado desta implementação busca refletir as proposições da metodologia proposta no Capítulo 4.

No próximo capítulo são apresentados estudos de casos envolvendo a aplicação da metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados, assim como, o emprego do SISCOI e do SisCusto.

## **7. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE PROJETO E ESTIMATIVA DE CUSTOS DE COMPONENTES INJETADOS**

### **7.1. Introdução**

Neste capítulo são apresentados estudos da aplicação da metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados. Serão considerados três casos, sendo eles:

- Aplicação 1: Projeto de um conjunto de guias para coletores de cédulas;
- Aplicação 2: Definição de especificações de projeto de produto B;
- Aplicação 3: Estimativa de custo da base de um conjunto ótico para motocicletas; e,

O objetivo principal deste capítulo é avaliar distintos aspectos relativos à aplicação da metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados, considerando três casos.

### **7.2. Aplicação da Metodologia Proposta**

O desenvolvimento de estudos de casos referentes à metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados, proposta no Capítulo 4, busca verificar:

- De forma geral, se o projeto destes componentes injetados ocorre dentro do contexto da Engenharia Simultânea, considerando a multidisciplinaridade e a interdisciplinaridade das informações, o conhecimento explícito e tácito de especialistas, assim como, levando em conta aspectos técnicos e econômicos relacionados ao projeto deste tipo de produto;

Estes estudos, especificamente, buscam verificar se a metodologia proposta fornece subsídios para:

- Definir as especificações de projeto de componentes injetados, segundo as características do desenvolvimento deste tipo de produto e considerando a multidisciplinaridade e a interdisciplinaridade das informações provenientes dos campos de conhecimento envolvidos nesta atividade, aspectos econômicos, a estrutura fragmentada das empresas do setor, segundo os preceitos da Engenharia Simultânea;

- Gerar alternativas de concepção de componentes injetados, de modo a possibilitar a exploração da viabilidade técnica e econômica das concepções geradas, assim como, o conhecimento, multidisciplinar e interdisciplinar, tácito e explícito de especialistas da área;

- Analisar, estimar e avaliar o custo do componente injetado, considerando o elevado nível de abstração e a pouca quantidade de informações disponíveis sobre o componente injetado na fase de projeto conceitual; e,

- Selecionar a melhor concepção de componentes injetados considerando aspectos técnicos e econômicos, simultaneamente, assim como possíveis abordagens de custo e o valor de custo-meta do produto.

Além disto, procurar-se-á avaliar o modo no qual os programas computacionais SISCOI e SisCusto auxiliam na operacionalização dos processos de definição das especificações de projeto e estimativa de custos de componentes injetados.

### 7.3. Aplicação 1: Desenvolvimento de Guias para Coletores de Cédulas

Como atividade relacionada ao programa PRONEX (Programa de Apoio a Núcleos de Excelência) do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, sob coordenação do Núcleo de Desenvolvimento de Processos e Produtos de Alta Tecnologia (PAT), realizou-se o projeto de um conjunto de guias para coletores de cédulas para máquinas de automação bancária.

O objetivo desta aplicação é realizar uma análise comparativa dos resultados do projeto do conjunto de guias, obtidas considerando duas situações: o projeto executando no âmbito do PAT e o projeto empregando a metodologia proposta e o software SISCOI. No final da seção é apresentada uma análise crítica deste estudo de caso. É importante ressaltar que, em decorrência da inexistência de informações de custos do produto, assim como, considerando os objetivos do projeto junto ao PAT, nesta aplicação, será considerada a questão da estimativa de custo do componente.

Portanto, nesta apresentação, ao se referir ao termo PAT, estar-se-á fazendo alusão a informações associadas ao desenvolvimento das guias obtidas no âmbito do programa do PRONEX. Por outro lado, ao se referir ao termo "estudo de caso" estar-se-á fazendo menção a informações relativas ao projeto das guias obtidas no âmbito desta Tese.

A obtenção das especificações de projeto do conjunto de guias do coletor de cédulas foi realizada com o apoio do software SISCOI. Os relatórios emitidos com o emprego do SISCOI estão representados no Anexo R.

O problema de projeto foi apresentado pelo cliente contratante, Empresa A; a uma equipe multidisciplinar tendo como base desenhos e o protótipo de um sistema coletor de cédulas de um equipamento de automação bancária, que já estava sendo desenvolvido por este contratante. Desta forma, o problema de projeto consiste do reprojeto do conjunto de guias do coletor de cédulas que, conforme ilustrado na figura 7.1, compõem-se de subsistemas destinados ao recebimento, validação, armazenamento e devolução de cédulas, os quais têm a função principal de guiar as cédulas.

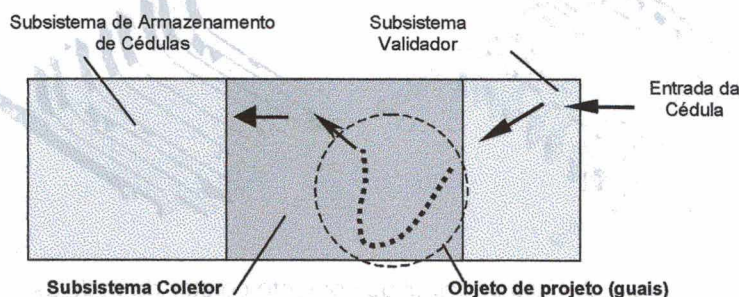


Figura 7.1. Esquema do sistema coletor de cédulas indicando o objeto de projeto do estudo de caso.



O sistema coletor de cédulas constitui-se de um mecanismo de transporte de cédulas, desde o sub-sistema validador até o sub-sistema de armazenamento. Para o transporte das cédulas no coletor, além dos mecanismos de tração, inclui-se também um conjunto de guias para suporte, condução e alinhamento das cédulas. O curso aproximado das cédulas é indicado pela linha pontilhada na Figura 7.1.

O conjunto atual de guias é constituído de 4 componentes, conforme esquema mostrado na Figura 7.2, sendo que as guias atuais apresentam problemas, principalmente de empenamento e elevado custo das ferramentas de fabricação. Além disso, os componentes 1 e 2 devem ser projetados para suportarem os esforços do mecanismo de tração da cédula (esforços das molas dos roletes tracionadores), os quais têm provocado deformações nas peças e o conseqüente desalinhamento e enrosco das cédulas na concepção existente.

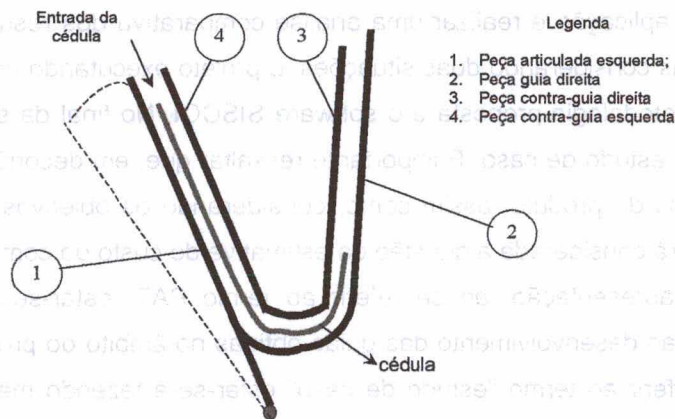


Figura 7.2 - Conjunto de guias do sistema coletor da Empresa A.

Tendo em vista a complexidade da guia 1 em relação às demais, somente, o projeto dessa guia será considerado neste estudo de caso. Na figura 7.3 está apresentado o detalhe da guia principal (guia 1) do conjunto, que foi projetada pelo cliente contratante. Neste conjunto, como pode ser observado, existe um elevado número de nervuras que foram introduzidas com o objetivo de evitar o empenamento da guia.

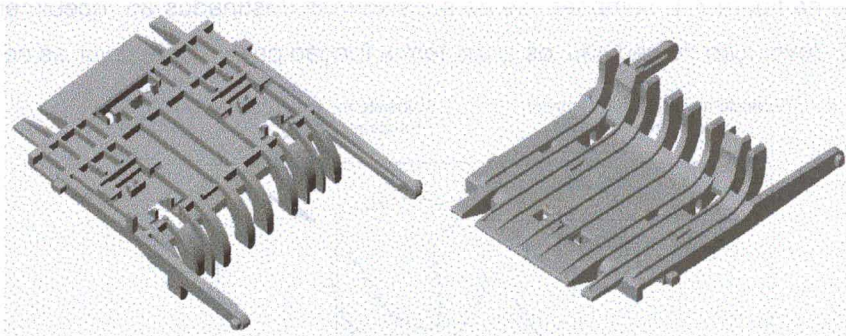


Figura 7.3. Guia principal do conjunto coletor de cédulas

Diante da exposição do problema de projeto do conjunto de guias do coletor, inicia-se este estudo de caso.

### 7.3.1. Fase de Projeto Informacional do Conjunto de Guias do Coletor

Na fase de projeto informacional, o desenvolvimento do estudo de caso envolveu as etapas propostas na metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados, descrita no Capítulo 4 desta Tese.

Na **etapa de definição do objetivo do projeto do produto** foram identificadas a empresa A contratante do projeto da guia denominada, o responsável do processo, molde e material de injeção e a equipe multidisciplinar de projeto. Com relação à identificação das oportunidades de negócio, as mesmas foram analisadas de forma genérica, considerando as informações quando do contato com o cliente contratante. Finalmente, com base nestas informações e empregando-se a ficha de definição de problema, registrou-se a solicitação de projeto (declaração do pedido solicitante, produção estimada por mês, tipo de material, injetora e investimento disponível para aquisição do molde), assim como, o objetivo geral do projeto do produto, o qual foi descrito da seguinte forma: "Desenvolver um conjunto de quatro guias manufaturadas em resina plástica. O projeto desta guia deve contemplar as necessidades, requisitos e restrições de projeto do sistema-técnico." Nesta etapa, o SISCO auxiliou com o registro das informações.

Em se tratando da **etapa de definição das fases do ciclo de vida do componente injetado**, considerando a estrutura de desdobramento do ciclo de vida proposta na tabela 4.1, foram selecionadas as fases de desenvolvimento das guias, do molde, do processo de injeção, utilização da guia. No projeto realizado no PAT, foram identificados elementos envolvidos (clientes internos e externos) no projeto do componente injetado. Uma análise crítica mostra que, esta identificação possibilita uma maior facilidade de coordenar e orientar a equipe de projeto na execução das demais etapas de desenvolvimento do produto.

Neste estudo de caso, em virtude da indisponibilidade de informações de custo do produto, a **etapa de preparação de informações de custo**, a qual envolve as tarefas de levantamento de informações de custo de produtos similares e definição do custo meta não foram consideradas. Nesta etapa, considerou-se, somente, a tarefa de desdobramento dos custos do ciclo de vida do componente. Como resultados, os custos diretos do processo, do molde e do material de injeção foram levados em consideração como requisitos de projeto da Primeira Matriz do QFD.

No desenvolvimento do projeto junto ao PAT, a **etapa de definição das necessidades dos clientes**, quarta etapa da metodologia proposta, foram realizadas reuniões com o cliente contratante do projeto e com os clientes internos. Os clientes internos, pessoas com conhecimentos multidisciplinares, manifestaram suas necessidades quanto ao projeto, ao processo, ao molde, ao material de injeção e a custos. Para auxiliar este levantamento foi empregado um check-list similar àquele descrito no Anexo E desta Tese. Desta forma, neste estudo de caso, optou-se por preservar as necessidades obtidas no projeto realizado junto ao PAT. Na tabela 7.1 estão listadas as necessidades dos clientes consideradas neste estudo de caso (Daré *et al.*, 2001).

Uma vez definidas as necessidades dos clientes, segundo a metodologia proposta, iniciou-se a **etapa de definição das restrições de projeto do componente injetado**. A equipe de projeto do PAT, analisando as necessidades dos clientes, definiu as seguintes restrições de projeto:

Tabela 7.1. Lista de necessidades de projeto do conjunto de guias do coletor. (Daré *et al*, 2001).

CAMPOS DE CONHECIMENTO		NECESSIDADES DOS CLIENTES
Conjunto guia	Geometria	Geometria do componente simples, evitar a deflexão do componente e fácil montagem do sistema de pressão no componente
	Qualidade	Evitar arestas e rebarbas na direção de movimentação da cédula, minimizar o empenamento e acabamento mais liso possível
	Custo	Custo do componente próximo ao custo atual
	Resistência	Evitar desgaste principalmente com a passagem de cédulas, estabilidade dimensional ao longo do ciclo de vida, boa rigidez e resistência mecânica, não ser higroscópico, resistência térmica e resistência ao ataque químico
Moldagem por Injeção	Processo	Fácil moldagem em insertos de STL e utilizar o equipamento existente
	Material	Fácil aquisição e fácil processamento
	Molde	Insertos dentro das dimensões nominais do equipamento de STL
Operação	Uso	Permitir variação de cédula, suportar variações nas condições da cédula, vida útil elevada e suportar força de atuação dos roletes
	Manutenção	Fácil acesso no caso de enrosco
Descarte		Minimizar o impacto ambiental

i) Restrições associadas ao sistema: manter o princípio de tracionamento da cédula, manter a posição dos furos das laterais do módulo de interface, medidas conforme o desenho atual do sistema (maior peça:  $c = 115,70$  mm,  $l = 88$  mm,  $e = 30,55$  mm), manter posição do sensor, do transdutor e da mola e não alterar a posição da barra de reforço, caso ela permaneça;

ii) Restrições associadas à manufatura: considerar as dimensões do inserto de estereolitografia de  $250 \times 250 \times 250$  mm), máxima força de fechamento de 50 t, altura do molde mínima de 225 mm e máxima de 575 mm e área útil do molde de  $270 \times 270$  mm.

Por sua vez, segundo a metodologia proposta, no projeto de componentes injetados, existem restrições associadas ao sistema, processo, molde, material de injeção e custo. Assim, considerando a metodologia proposta, foram obtidas as seguintes restrições de projeto adicionais para o produto:

i) Restrições funcionais associadas ao sistema-técnico: guiar as cédulas através do conjunto de guias, permitir articulação para limpeza das guias, fixar o sensor, fixar a mola dos roletes, encaixar / montar no sistema, limitar o ângulo de abertura da guia da frente para que seja fechada automaticamente quando do fechamento do sistema;

ii) Restrições geométricas associadas ao sistema-técnico: manter o princípio de tracionamento da cédula, a posição dos furos das laterais do módulo de interface e a posição da mola. Os elementos mola, sensor e transdutor utilizados no conjunto de guias do coletor serão preservados. Os princípios de solução empregados para fixar os mesmos devem considerar esta restrição de projeto. Além disto, o emprego de pequenas protusões para montar o conjunto das guias no sistema e a utilização de snaps para pressionar a mola contra os roletes e manter o posicionamento do sensor também são restrições geométricas do componente injetado;

iii) Restrições associadas ao molde de injeção: o molde de injeção não pode conter gavetas, uma vez que será empregado um inserto de STL;

iv) Restrições associadas ao processo de injeção: pressão de injeção máxima de 2500 bar;

v) Restrições associadas ao material de injeção: a resina utilizada não deve ser higroscópica;

vi) Restrições associadas a custo: o custo de aquisição dos 4 moldes, sendo um para cada guia, é de R\$ 16000,00.

Para definir estas informações empregou-se o check-List estruturado de definição das restrições de projeto de componentes injetados e o apoio da interface do SISCOI, ilustrada na figura 7.4. O emprego da metodologia proposta possibilitou identificar um maior número de restrições associadas à guia do coletor. O relatório com estas informações está apresentado no Anexo R.

**Definição das Restrições de Projeto do Componente Injetado**

**Dimensões do componente:**

Altura do componente (mm): 30

Comprimento do componente (mm): 115,699996348242

Largura do componente (mm): 88

**Restrições funcionais:**

Função principal do componente: Guiar as cédulas de dinheiro através do conjunto de guias.

Funções parciais do componente: Permitir articulação para limpeza das guias, fixar o sensor, fixar a mola dos roletes, encaixar/montar no sistema e limitar o ângulo de

**Restrições geométricas:**

Princípios utilizados para conectar o componente ao sistema: Pequenas protusões que são utilizadas para montar o conjunto das guias ao sistema. A posição da barra de

Princípios utilizados para interagir com o meio: Snaps devem ser empregados para pressionar a mola contra os roletes e manter o posicionamento do sensor. Os arquivos em

O molde de injeção pode apresentar gavetas?  Sim  Não

**Restrições associadas a distribuição, venda, uso, retirada e descarte do componente injetado:**

Limitação com relação a distribuição e venda que determinam as características do componente injetado: Sem restrições

Limitação com relação ao uso que determinam as características do componente injetado: O material do componente não deve degradar quando utiliza-se material químico para limpeza.

Limitação com relação a retirada e descarte que determinam as características do componente injetado: Sem restrições

**Restrições econômicas:**

Qual o custo direto máximo do componente injetado? 7,00

Qual o preço máximo a ser pago pelo molde de injeção? 4000,00

**Informações adicionais que definem as restrições de projeto do componente injetado:**

Sistema técnico: Sem restrições

Processo de injeção: A pressão de injeção máxima é de 2500 bar.

Molde de injeção: O inserto de STL, devido a limitações do equipamento, pode ter a dimensão máxima de 250 x 250 x 250 mm. A área projetada máxima do molde é de 270 x 270 mm e para as cavidades 152 x 122 mm.

Material de injeção: A resina empregada no conjunto de guias deve ser de material resistente a água, isto é, higroscópico.

Custo: Os recursos para aquisição dos 4 moldes sendo, 1 para cada guia, é de R\$ 16000,00.

Fechar Ficha

Figura 7.4 Interface com as restrições de projeto do conjunto de guias coletoras.

Na etapa de definição dos requisitos de projeto do componente, no projeto realizado junto ao PAT, considerando as necessidades dos clientes e empregando uma lista de requisitos de projeto, semelhante àquela apresentada no Anexo G, foram definidos os requisitos de projeto da guia do coletor. Desta forma, neste estudo de caso, optou-se por considerar os mesmos requisitos de projeto obtidos junto ao PAT, os quais estão descritos na tabela 7.2.

Em se tratando da etapa de desenvolvimento de análises sobre as necessidades dos clientes e requisitos de projeto do componente injetado, empregando-se a Primeira Matriz do QFD, foram realizadas análises sobre as necessidades dos clientes e requisitos de projeto, buscando um melhor entendimento do problema de projeto, para facilitar a definição das suas especificações.

Tabela 7.2. Lista de requisitos de projeto do conjunto de guias do coletor.

CAMPOS DE CONHECIMENTO	REQUISITOS DE PROJETO DAS GUIAS DO COLETOR
Requisitos geométricos dos componentes	Número de nervuras (minimizar), tolerância dimensional (minimizar), tolerância de forma (minimizar), número de features (minimizar), espessura de parede constante (maximizar), menor folga para desvio da cédula (lateral < 5 mm), dimensões das guias (minimizar) e dimensões compatíveis c/cédula (real: 63,5-65x140x0, 1-0,15)
Requisitos de desempenho do conjunto guia	Deformação permissível (minimizar), desgaste no ciclo de vida (minimizar), resistência ao calor (0-50 c), vida útil (5 anos), confiabilidade (1 falha a cada 12000 operações), resistência ao ataque químico (álcool, gordura, óleos, produtos de limpeza), resistência ao impacto (manutenção e limpeza), tempo de montagem (minimizar), rugosidade (minimizar) e deslocamento relativo entre peças (maximizar)
Requisitos econômicos	Custo do material (minimizar), custo do processo (minimizar) e custo do molde (minimizar)
Requisitos de processo	Volume de produção (1000 componentes por mês), massa injetada (95 g ps), área projetada (minimizar), índice de fluidez (maximizar)

No projeto do PAT essas análises envolveram somente as etapas de relacionamento das necessidades dos clientes com os requisitos de projeto, identificação dos requisitos mais importantes e análises elaboradas no telhado. Entretanto, como foi apresentado na metodologia proposta, sugere-se que também sejam realizadas análises de *benchmark*, planejada a qualidade do produto e avaliados fatores de dificuldade de implementação das metas de qualidade. Assim, neste estudo, como descrito a seguir, procedeu-se a análise completa sobre as necessidades e requisitos.

Para determinar o grau de importância das necessidades dos clientes, considerando o agrupamento das necessidades listadas na tabela 7.1, atribuíram-se pontos de importância às mesmas. Na seqüência, as necessidades foram relacionadas aos requisitos de projeto, onde observou-se uma integração efetiva entre os membros da equipe de projeto. A seguir, ocorreu o preenchimento dos demais campos da matriz.

A avaliação dos produtos concorrentes em relação às necessidades dos clientes foi realizada, considerando a guia produzida pelo cliente contratante, sendo atribuído pontos maiores para desempenhos melhores frente às necessidades. Na figura 7.5 está ilustrada a avaliação do produto concorrente (Produto A) em relação a necessidade "geometria simples", sendo que o desempenho é fraco (ponto de venda é fraco), como apresentado na tabela 4.3, devido ao elevado número de features do mesmo, sendo que se desejam componentes com geometria simples. Com base neste estudo, na seqüência, planejou-se a qualidade do novo produto.

Além disto, foram identificadas as contradições entre os requisitos de projeto na Matriz de Correlação do QFD, onde identificou-se a relação de dependência e/ou interdependência entre os mesmos. Finalmente, foram identificados os requisitos de projeto mais importantes, considerando o resultado do relacionamento entre as necessidades e os requisitos, juntamente, com a análise da matriz de correlação do QFD foram determinados os requisitos de projeto mais importantes. O resultado destas análises está apresentado na Primeira Matriz do QFD, ilustrada na figura 7.7.

Considerando as correlações do tipo negativa e fortemente negativa, obtidas na Matriz de Correlação do QFD e o resultado da classificação dos requisitos de projeto, foram estabelecidos aqueles a serem otimizados e conflitantes. Esta análise, sintetizada na tabela 7.4, foi realizada com o apoio do SISCOI e pode ser vista no quadro de especificações de projeto descritas no Anexo R.

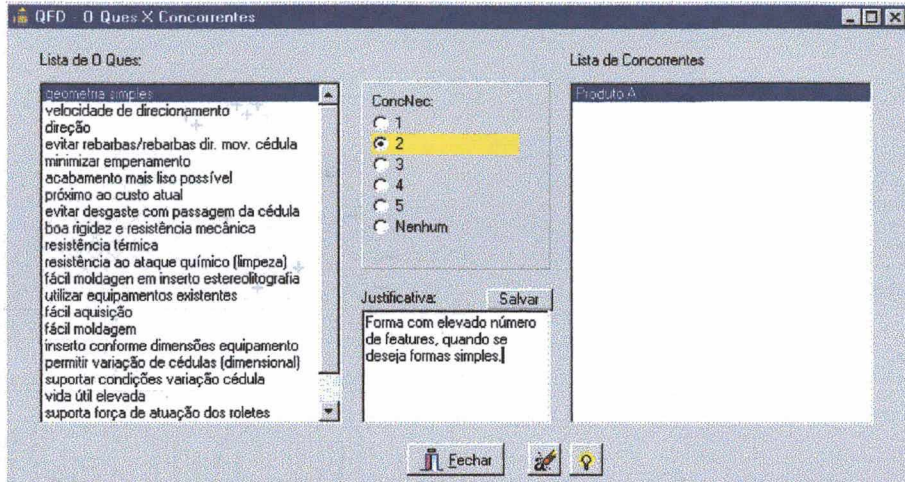


Figura 7.5. Avaliação da concorrência frente as necessidades dos clientes.

A seguir, neste estudo de caso, procederam-se análises sobre os produtos concorrentes em relação aos requisitos de projeto, onde procurou-se avaliar o desempenho do Produto A, para identificar características potenciais do mesmo que podem ser feitas na guia a ser projetada. Com base nestas informações, realizou-se o planejamento da qualidade do novo produto considerando os requisitos de projeto, cujo resultado está ilustrado na Matriz do QFD da figura 7.7.

Ao final, com base neste planejamento, avaliou-se a dificuldade da implementação da qualidade planejada para os requisitos de projeto para a guia do coletor. Como mostrado na figura 7.6, dado o requisito número de nervuras, o Produto A tem um desempenho fraco (valor=1) devido a sua complexidade elevada, causada pelo grande número de *features*. Para a guia nova, o planejamento da qualidade mostrou que se deseja um desempenho excelente (valor=5), ou seja, um produto de complexidade mínima, o mais simples possível. A avaliação da dificuldade de implementação técnica, classificada como difícil, indica que a equipe de projeto deverá concentrar um grande esforço técnico para contemplar os elementos de encaixes do componente no sistema (restrições de projeto). Por outro lado, o custo desse "esforço" é reduzido, principalmente, se a equipe de projeto se empenhar em reduzir o número de *features* da guia, nas fases iniciais de projeto.

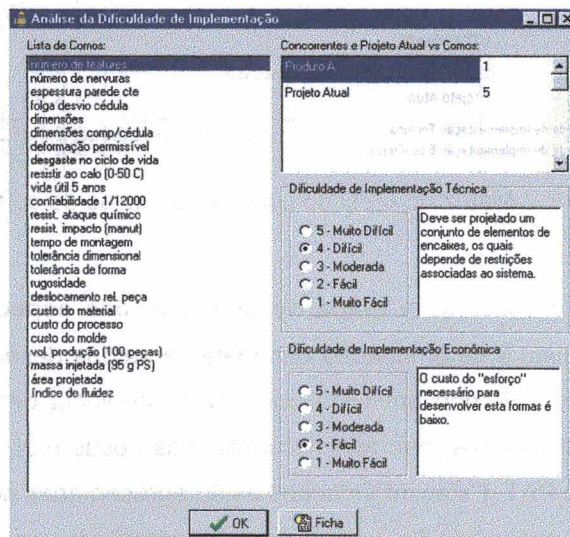


Figura 7.6. Interface para avaliação da dificuldade de implementação dos requisito de projeto.



Tabela 7.3. Especificações de projeto do conjunto da guia do coletor.

Requisitos de Projeto	Meta	Saída Desejada	Saída Indesejada	
1	Número de features	-	Menor número de features possível do componente. Propiciar facilidade de injeção. Propiciar redução do custo do molde, em função da facilidade de acabamento e da complexidade do mesmo.	Peças mais complexas, implica na possibilidade de gavetas no molde. Dificuldade de preenchimento.
2	Custo do molde	R\$ 16.000,00 (4 guias)	Menor custo. Redução do custo da peça;	Inviabilização do projeto.
3	Dimensões		Adequadas para a fabricação do molde. Adequadas para o sistema	Incompatíveis com a injetora e com o sistema
4	Número de nervuras	-	Menor número de features possível do componente. Propiciar facilidade de injeção. Propiciar redução de custo no molde, em função da facilidade de acabamento e da complexidade do mesmo.	Peças mais complexas pode exigir a presença de gavetas no molde. Dificuldades de preenchimento.
5	Volume de produção	100 peças	Fabricar as 100 peças num único molde	Fabricação de um novo molde para completar a produção.
6	Vida útil	5 anos		Gastos com reposição. Parada do equipamento para substituição do conjunto de guias ou peças.
7	Tolerância de forma	$\pm 1^\circ$	Componente com mínimo empenamento. Boa funcionalidade. Fácil montagem	Empenamento acima do tolerado. Difícil montagem. Problemas funcionais.
8	Confiabilidade	1/12000	Sem falhas.	Evitar erro no uso do equipamento.
9	Tolerância dimensional	Grau médio, conforme Empresa A	Compatível com o sistema.	Impossibilidade de montagem.
10	Custo do processo	-		
11	Desgaste no ciclo de vida		Desgaste mínimo.	Alto desgaste, comprometendo a funcionalidade do equipamento.
12	Massa injetada	89 g (PS)	Preenchimento total do componente.	Falhas no preenchimento.
13	Rugosidade	Conforme acabamento do molde	Fácil passagem da cédula.	Alta rugosidade, comprometendo a funcionalidade dos componentes.
14	Área projetada	130 X 256	Compatível com a capacidade da injetora.	Dificuldades de injeção. Defeitos na peça (rebarbas)
15	Custo do material	R\$ 500,00	Material de baixo custo, viabilizando a aquisição pelo projeto.	
16	Resistir ao impacto na manutenção	-	Resistir ao impacto causado pelo fechamento do cash code.	Quebra do componente. Gastos com reposição
17	Deformação permissível	0,2 mm	Atender requisitos funcionais.	Problemas funcionais (trancar cédula, dificultar funcionamento...).
18	Espessura da parede do componente	2 mm	Fácil fabricação do inserto por estereolitografia. Fácil injeção. Resistência mecânica	Dificuldades de fabricação do inserto. Dificuldades de injeção.
19	Resistir ao ataque químico	álcool "vidrex"	Resistir aos produtos de limpeza mais comuns.	Desgaste. Perda de propriedades mecânicas.
20	Índice de fluidez	> 10 g/10 min	Fácil moldagem. Preenchimento total da peça.	Geometria muito complexa exigindo índice de fluidez muito elevado.
21	Folga no desvio da cédula	$7^\circ$	Folga suficiente para observar um certo desvio da cédula. Possibilitar passagem da cédula. Desvio mínimo, não prejudicando a funcionalidade.	Trancar a cédula por falta de folga lateral.
22	Dimensões compatíveis com a cédula	Dimensões do Real	Largura das peças adequadas. Compatível com variações da cédula.	Trancar a cédula. Elevado atrito nas laterais.
23	Resistir ao calor	0 – 50° C	Manter propriedades mecânicas	Alteração das propriedades mecânicas.
24	Deslocamento relativo da peça		Permitir fácil acesso no caso de enrosco. Fechamento automático quando o cash code é fechado.	Ruptura da peça no momento em que o cash code é fechado. Dificuldades de acesso
25	Tempo de montagem		Fácil montagem das molas.	Tempo elevado de montagem das molas.



Na etapa de definição das diretrizes de projeto do componente injetado foram analisados os requisitos de projeto a serem otimizados e conflitantes e empregou-se a Matriz de Contradição da TRIZ e a Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados.

Inicialmente, os requisitos otimizados e conflitantes foram associados aos parâmetros de engenharia. Para isto, empregou-se a lista de parâmetros de engenharia da TRIZ, descrita na tabela J.1, e as informações da matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados, descrita no Anexo L. O resultado desta associação está sintetizado na tabela 7.4.

Tabela 7.4. Associação dos requisitos de projeto aos parâmetros de engenharia da TRIZ.

Requisito de Projeto			Parâmetro de Engenharia da TRIZ
Custo do molde	Minimizar	Requisito otimizado	Manufaturabilidade (32)
Número de nervuras	Minimizar	Requisito otimizado	Complexidade do dispositivo (36)
Vida útil de 5 anos	Maximizar	Requisito otimizado	Durabilidade do objeto estático (16)
Folga no desvio da cédula	Minimizar	Requisito otimizado	Adaptabilidade ou versatilidade (35)
Desgaste do ciclo de vida das guias	Minimizar	Requisito conflitante	Adaptabilidade ou versatilidade (35)
Deformação permissível	Maximizar	Requisito conflitante	Adaptabilidade ou versatilidade (35)
Confiabilidade 1/12000	Maximizar	Requisito conflitante	Confiabilidade (27)
Resistência ao impacto na manutenção	Maximizar	Requisito conflitante	Resistência (14)
Deformação permissível	Maximizar	Requisito conflitante	Adaptabilidade ou versatilidade (35)
Dimensões compatíveis com a cédula	Maximizar	Requisito conflitante	Adaptabilidade ou versatilidade (35)

A associação dos requisitos de projeto às informações da matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados está representada na tabela 7.5.

Tabela 7.5. Associação dos requisitos as informações da matriz de definição das diretrizes de projeto.

Requisitos de Projeto em Contradição			Matriz de Definição de Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados
Nome	Meta	Tipo	
Custo do molde	Minimizar	Otimizado	Menor número de processos para manufaturar o molde de injeção
Número de nervuras	Minimizar	Otimizado	Menor nível de empenamento do componente
Vida útil de 5 anos	Maximizar	Otimizado	Maior resistência estrutural do componente
Folga no desvio da cédula	Minimizar	Otimizado	Menor tolerância dimensional do componente
Desgaste do ciclo de vida das guias	Minimizar	Conflitante	Não tem similar na Matriz
Deformação permissível	Maximizar	Conflitante	Maior dimensão do componente
Confiabilidade 1/12000	Maximizar	Conflitante	Maior nível de tensão interna
Resistência ao impacto na manutenção	Maximizar	Conflitante	Maior nível de tensão interna
Deformação permissível	Maximizar	Conflitante	Menor espessura da parede
Dimensões compatíveis com a cédula	Maximizar	Conflitante	Não tem similar na Matriz

A identificação dos princípios inventivos, as regras, estratégias e princípios de projeto foram analisadas empregando-se, inicialmente, a matriz de contradição da TRIZ, sendo definidos os princípios inventivos que podem ser aplicados no projeto do conjunto de guias do coletor.

Na tabela 7.6 estão apresentadas as contradições de projeto e seus, respectivos, parâmetros de engenharia e princípios inventivos obtidos empregando-se a TRIZ.

Tabela 7.6. Relação de princípios inventivos da TRIZ para o projeto das guias.

Requisito de Projeto a ser Otimizado	Parâmetro de Engenharia Otimizado	Requisito de Projeto Conflitante	Parâmetro de Engenharia Conflitante	Princípio Inventivo da TRIZ
Custo do molde	Manufaturabilidade (32)	Desgaste do ciclo de vida das guias	Adaptabilidade ou versatilidade (35)	2 – Extração 13 – Inversão 15 – Dinamicidade
Número de nervuras	Complexidade do dispositivo (36)	Deformação permissível	Adaptabilidade ou versatilidade (35)	29 – Construção pneumática ou hidráulica 15 – Dinamicidade 28 – Substituição de um sistema mecânico 37 – Expansão térmica
Número de nervuras	Complexidade do dispositivo (36)	Confiabilidade 1/12000	Confiabilidade (27)	13 – Inversão 35 – Transformação dos estados físicos e químicos de um objeto 1 – Segmentação
Número de nervuras	Complexidade do dispositivo (36)	Resistência ao impacto na manutenção	Resistência (14)	2 – Extração 13 – Inversão 28 – Substituição de um sistema mecânico
Vida útil de 5 anos	Durabilidade do objeto estático (16)	Deformação permissível	Adaptabilidade ou versatilidade (35)	2 – Extração
Folga no desvio da cédula	Adaptabilidade ou versatilidade (35)	Dimensões compatíveis com a cédula	Adaptabilidade ou versatilidade (35)	Sem indicação de princípio inventivo.

A figura 7.8 apresenta a interface computacional da TRIZ. No caso, apresenta-se um exemplo de aplicação da TRIZ para os requisitos de projeto, custo do molde e desgaste do ciclo de vida das guias, onde se obteve o princípio de extração.

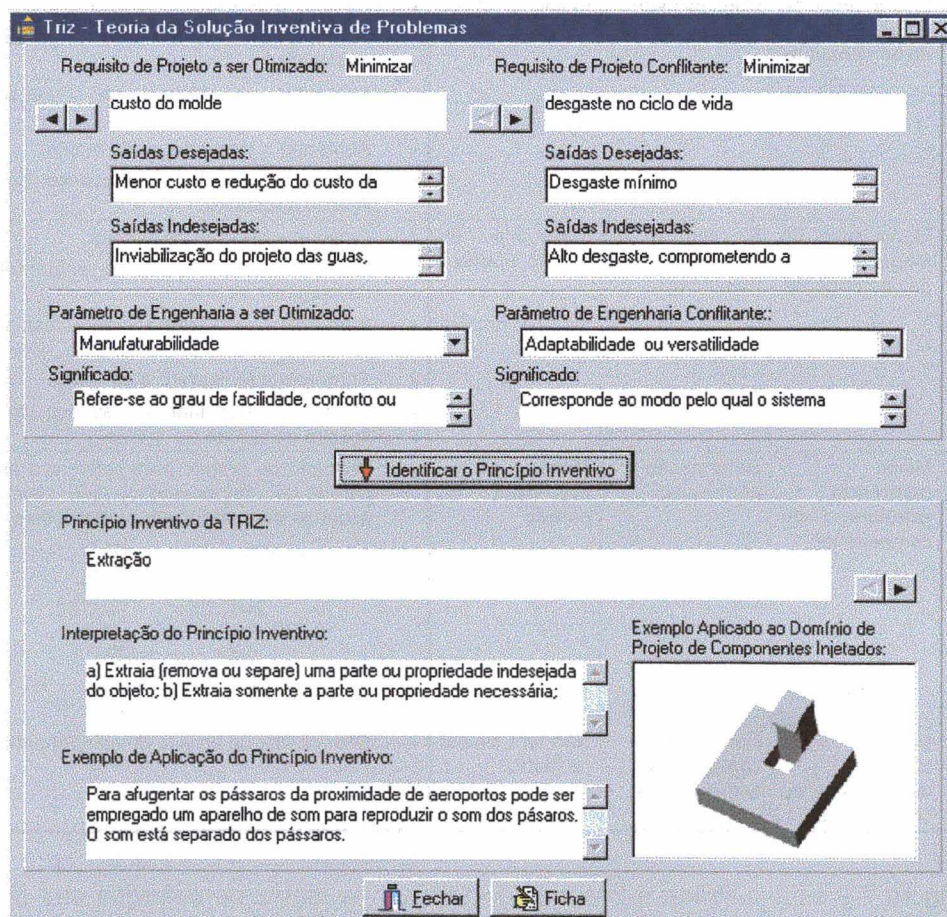
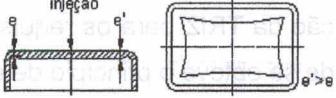
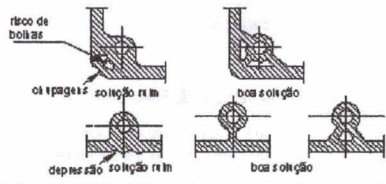


Figura 7.8. Exemplo da TRIZ para os requisitos custo do molde e desgaste do ciclo de vida das guias.

Da mesma forma, empregando-se a ferramenta da matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados, foram definidas as regras, estratégias e princípios de solução que podem ser utilizados no projeto do conjunto das guias. Na tabela 7.7 estão descritas as informações obtidas com o emprego da matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados.

Tabela 7.7. Relação de diretrizes para o desenvolvimento das guias do coletor de cédulas, empregando-se a matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados.

Requisito de Projeto a ser Otimizado	Parâmetro Otimizado	Requisito de Projeto Conflitante	Parâmetro Conflitante	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados
Custo do molde	Número de processos para manufaturar o molde de injeção	Desgaste do ciclo de vida das guias	Não tem similar na Matriz	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sem diretriz de projeto de componentes injetados.</li> </ul>
Número de nervuras	Menor nível de empenamento do componente	Deformação permissível	Maior dimensão do componente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inserir nervuras no componente.</li> <li>Alterar a espessura das nervuras do componente.</li> <li>Alocar adequadamente o ponto de injeção de material no componente.</li> <li>Princípio indicado para componentes que possuem grandes dimensões, sendo susceptíveis a deformações. Indica-se alimentação simultânea de todos os pontos de injeção.</li> </ul> 
Número de nervuras	Menor nível de empenamento do componente	Confiabilidade 1/12000	Maior nível de tensão interna	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diminuir a pressão de injeção.</li> <li>Aumentar a vazão de fluido refrigerante no molde de injeção.</li> <li>Aumentar o tempo de resfriamento do componente.</li> <li>Aumentar a temperatura do molde.</li> <li>Manter a velocidade de avanço do cilindro de injeção constante.</li> </ul>
Número de nervuras	Menor nível de empenamento do componente	Resistência ao impacto na manutenção	Maior nível de tensão interna	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diminuir a pressão de injeção.</li> <li>Aumentar a vazão de fluido refrigerante no molde de injeção.</li> <li>Aumentar o tempo de resfriamento do componente.</li> <li>Aumentar a temperatura do molde.</li> <li>Manter a velocidade de avanço do cilindro de injeção constante.</li> </ul>
Vida útil de 5 anos	Maior resistência estrutura do componente	Deformação permissível	Menor espessura da parede	<ul style="list-style-type: none"> <li>Princípio de projeto para reforçar a espessura da parede do componente injetado, visando reduzir o acúmulo de material em pontos locais.</li> </ul> 
Folga no desvio da cédula	Menor tolerância dimensional do componente	Dimensões compatíveis com a cédula	Não tem similar na Matriz	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sem diretriz de projeto de componentes injetados.</li> </ul>

Na figura 7.9 está ilustrada a interface do SISCOI da matriz de definição das diretrizes de projeto. Os requisitos conflitantes são o número de nervuras e a confiabilidade.

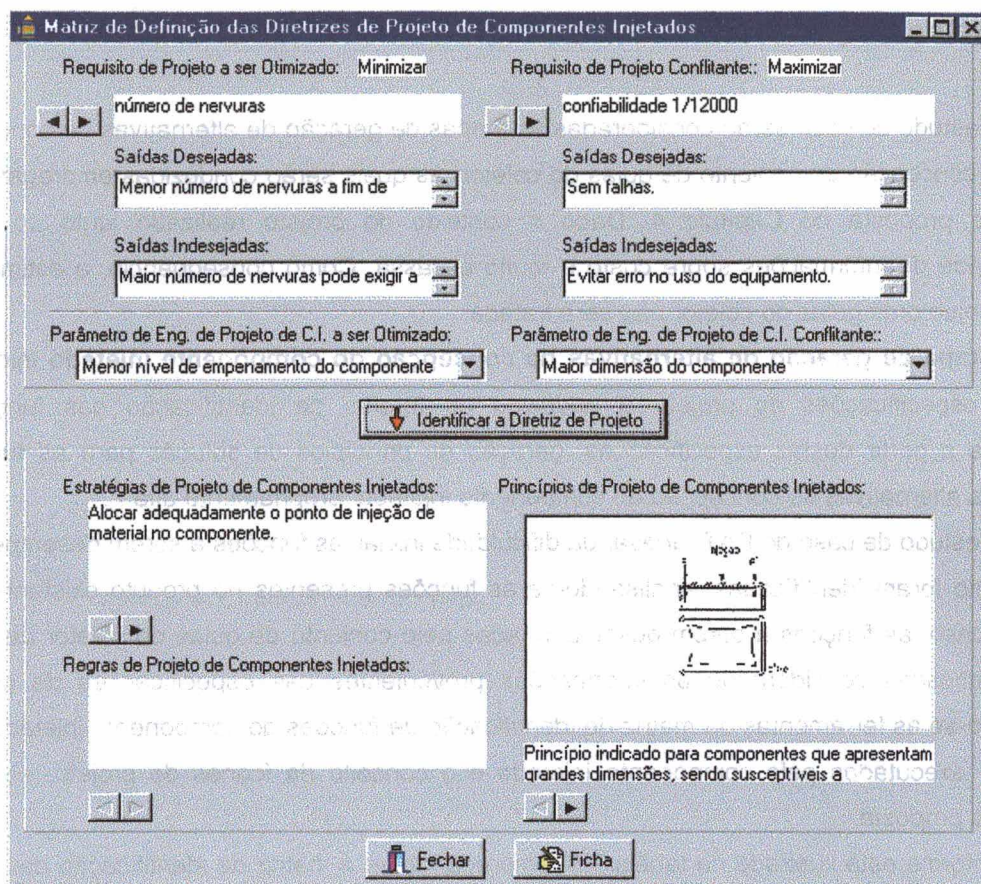


Figura 7.9. Exemplo de aplicação da matriz de definição das diretrizes de projeto das guias do coletor.

Em suma, através destas ferramentas, tem-se a possibilidade de considerar o conhecimento de especialistas no desenvolvimento do produto e tratar as contradições entre os requisitos de forma integrada, segundo os preceitos da Engenharia Simultânea.

A seguir, foram desenvolvidas possíveis soluções de projeto, aplicadas ao domínio de componentes injetados. Os princípios da TRIZ, descritos na tabela 7.6, mostram-se bastante genéricos. Sendo assim, devem ser adaptados para o projeto do conjunto de guias do coletor. O emprego desses princípios no projeto, segundo a metodologia proposta, será realizada na etapa de geração de alternativas de concepção de componentes injetado.

As informações descritas na tabela 7.7 indicam diretrizes relativas ao projeto de componentes injetados, ao processo e ao molde de injeção. Da mesma forma, as diretrizes relacionadas ao produto serão consideradas na etapa de geração das alternativas de concepção. Aquelas referentes ao processo e ao molde de injeção serão empregadas quando realizado o planejamento do processo de manufatura do produto, entretanto, ao se projetar o conjunto de guias do coletor já se podem ser desenvolvidas facilidades que facilitem o emprego destas diretrizes.

Finalmente, considerando as informações do check-list, apresentado na tabela 4.8, observou-se que as especificações de projeto obtidas são coerentes, apresentam consistência, adequabilidade e eficiência. Neste momento, dá-se como concluída a fase de projeto informacional, iniciando assim, o projeto conceitual da guia do coletor, a qual será descrita a seguir.

### 7.3.2. Fase de Projeto Conceitual do Conjunto de Guias do Coletor

No estudo de caso serão consideradas as etapas de geração de alternativas de concepção e seleção da concepção do conjunto de guias do coletor, as quais serão conduzidas empregando-se a metodologia proposta no Capítulo 4. Dado o contexto do projeto realizado junto ao PAT, a disponibilidade de informações sobre custo é muito escassa. Como consequência, a estimativa de custo do conjunto de guias do coletor não será tratada.

A etapa de geração de alternativas de concepção do componente injetado iniciou com base nas especificações do projeto e envolveu as tarefas de identificação das funções do componente a partir destas especificações, geração de princípios de solução para as funções e geração das alternativas de concepção do componente injetado, propriamente dita.

No estudo de caso do PAT, apesar da dificuldade inicial, as funções a serem desempenhadas pelo conjunto foram identificadas, analisando-se as funções presentes no produto existente. Neste estudo de caso, as funções a serem desempenhadas pelo conjunto de guias do coletor de cédulas foram identificadas considerando as informações provenientes das especificações de projeto e empregando-se as ferramentas da matriz de identificação de funções do componente injetado, a lista de funções executadas pelo componente injetado e o conceito de ícones de projeto, segundo a metodologia proposta.

Conforme está ilustrado na tabela 7.8, empregando-se a matriz de identificação das funções do componente injetado, nas suas linhas, foram listadas aquelas tarefas da fase de projeto informacional, cujos resultados permitem identificar direta ou indiretamente as funções e, nas colunas foram representadas as fases do ciclo de vida do componente injetado. Desta forma, realizando uma “viagem imaginária” pelas fases do ciclo de vida do produto, foram identificadas, para cada resultado das tarefas da fase de projeto informacional, as funções do conjunto de guias do coletor de cédulas.

Por exemplo, considerando a tarefa de definição das restrições associadas ao sistema, processo, molde, material de injeção e custo, que permite a identificação direta e indireta das funções do conjunto de guias, obteve-se os seguintes resultados para cada fase do ciclo de vida do produto foram definidos:

- i) Fase de projeto do produto: Guiar as cédulas;
- ii) Fase de montagem: fixar sensor, posicionar sensor, fixar roletes, fixar molas do rolete, encaixar guias no sistema e acoplar guias;
- iii) Fase de uso: articular guias, limitar ângulo de abertura, resistir as interpéries,

Assim, empregando-se as ferramentas de projeto, pode-se identificar as seguintes funções do conjunto de guias do coletor de cédulas: desmontar mola, desmontar roletes, desmontar sensor, desmontar transdutor, direcionar cédulas, evitar deflexão, evitar desgaste da cédula, evitar empenamento, fixar mola, fixar roletes, fixar sensor, fixar transdutor, guiar cédulas, limitar o ângulo de abertura, montar guias nas guias, montar guias no sistema, montar inserto STL, montar mola, montar roletes, montar sensor, montar transdutor, permitir variação de cédula, proteger contra interpéries, resistir mecanicamente e articular guia (prover acesso)



Na sequência, sob estas funções, realizaram-se algumas análises visando reduzir o seu número, uma vez que muitas delas mostravam-se compatíveis e similares. Assim, por exemplo, as funções montar mola e desmontar mola, fixar sensor e desmontar sensor, entre outras foram agrupadas. Desta forma, ao final chegou-se às seguintes funções associadas ao projeto da guia do coletor, listadas na tabela 7.9.

Tabela 7.9. Lista de funções associadas ao projeto da guia do coletor.

FUNÇÃO	INTERPRETAÇÃO
<b>Fixar mola</b>	Envolve as funções de montar e desmontar mola;
<b>Fixar transdutor</b>	Envolve as funções de montar e desmontar transdutor;
<b>Fixar sensor</b>	Engloba as funções de montar e desmontar sensor;
<b>Fixar roletes</b>	Incorpora as funções de montar e desmontar roletes;
<b>Guiar cédulas</b>	Envolve as funções evitar deflexões, evitar empenamento e resistir mecanicamente;
<b>Rotacionar guia (prover acesso),</b>	Envolve as funções de limitar o ângulo de abertura e acoplar as guias;
<b>Direcionar a cédula</b>	As cédulas não deve sair do curso provido pelas guias.
<b>Montar as guias no sistema</b>	Envolve as função de montar e desmontar as guias no sistema.

Com as funções da guia definidas, iniciou-se a geração de princípios de solução para cada uma destas funções. Para auxiliar esta geração empregou-se a lista de princípios de solução de componentes injetados, ilustrada na figura 4.24, e a relação entre funções e princípios de solução de componentes injetados, descrita na tabela 4.14, juntamente com demais métodos de criatividade, tais como: brainstorming, sinergia, analogias, instigação de questões e outros.

Além disto, segundo a proposição metodológica descrita no capítulo 4, para gerar os princípios de solução, também empregaram-se os princípios inventivos da TRIZ e as diretrizes da matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados, as quais foram obtidas na fase de projeto informacional.

Para organizar a apresentação destes princípios, empregou-se o método da matriz morfológica, como mostrado na figura 7.10.

Os princípios de solução obtidos são uma solução isolada para o projeto e precisam ser combinadas e agrupadas, constituindo a alternativa de concepção do conjunto de guias do coletor.

Assim, na sequência, segundo a metodologia proposta, foram geradas as concepções das guias do coletor, propriamente dita, a qual envolveu a combinação dos princípios de solução considerando aspectos técnicos e econômicos.

Inicialmente, empregando as estratégias de eliminação de princípios de solução obtidas com base nas especificações de projeto, foram excluídos da matriz morfológica aqueles princípios que não se mostram adequados ao projeto do produto. Com isto, as especificações de projeto foram avaliadas em relação aos atributos de cada princípio de solução da matriz morfológica.

Figura 7.10. Matriz morfológica geradas para o conjunto de guias do coletor de cédulas.

Funções das guias	Princípios de solução que desempenham as funções do conjunto de guias									
Fixar mola	Encaixe	Chanfros 1	Chanfros 2	Inserto moldado	Parafuso 1	Parafuso 2	Parede com snap	Parede com rolete	Snap molde com gaveta	Snap molde sem gaveta
Fixar transdutor	Parede sem snap	Parede com snap	Encaixe 1	Encaixe 2	Parafuso 1	Parafuso 2	Parede com snap	Parede com rolete	Snap molde com gaveta	Snap molde sem gaveta
Fixar sensor	Parede aberta	Parede sem snap	Furo escareado	Parede com snap	Encaixe 2	Parafuso 1	Parede com snap	Parede com rolete	Snap molde com gaveta	Snap molde sem gaveta
Fixar roletes	Ranhuradas	Anéis	Encaixe	Parede com snap	Encaixe 2	Parafuso 1	Parede com snap	Parede com rolete	Snap molde com gaveta	Snap molde sem gaveta
Guiar cédulas	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Parede 5	Parede 6	Parede 7	Parede 8	Snap molde com gaveta	Snap molde sem gaveta
Rotacionar guia (prover acesso)	Furo	Pino com encaixe	Snap e undercuts	Pino passante	Parede 5	Parede 6	Parede 7	Parede 8	Snap molde com gaveta	Snap molde sem gaveta
Direcionar a cédula	Chanfro 1	Parede	Chanfro 3	Snap e undercuts	Parede 5	Parede 6	Parede 7	Parede 8	Snap molde com gaveta	Snap molde sem gaveta
Montar as guias no sistema.	Protusões circulares	Protusões retangulares	Parafuso 1	Parafuso 2	Parafuso 3	Snap	Parede 7	Parede 8	Snap molde com gaveta	Snap molde sem gaveta



Por exemplo, para a função "fixar transdutor", o cliente contratante deseja que esta fixação seja manual (montabilidade do princípio de solução alta). Assim, considerando a restrição associada ao sistema técnico "forma da mola deve ser mantida", os princípios chanfro 1, chanfro 2, inserto moldado, parafuso 1 e parafuso 2 foram excluídos da matriz morfológica. Ainda, levando em conta o atributo "montabilidade" dos princípios "parafuso 1" e "parafuso 2" é baixa, pois requer o emprego de ferramentas especiais. Como resultado, estes princípios foram excluídos da matriz morfológica. Na tabela 7.10 está sintetizado o emprego das estratégias de eliminação neste estudo de caso, sendo apresentado os princípios de solução, excluídos da matriz morfológica e o critério empregado para tomar a decisão.

Tabela 7.10. Princípios de solução excluídos da matriz morfológica.

Funções das guias	Estratégias de Eliminação	Princípios de Solução Excluídos
Fixar mola	i) Restrições associada ao sistema técnico: a forma da mola deve ser preservada. ii) Restrições do molde: isento de gavetas	i) Chanfro 1, chanfro 2, inserto moldado, parafuso 1 e parafuso 2 ; ii) Snap com gaveta
Fixar transdutor	i) Restrições associada ao sistema técnico: a forma do transdutor deve ser preservada. ii) Montagem manual dos transdutores;	i) Encaixe 2; ii) Parafuso 1 e parafuso 2 ;
Fixar sensor	i) Restrições associada ao sistema técnico: a forma do sensor deve ser preservada.	i) Furo escareado, parafuso 1 e parafuso 2 ;
Fixar roletes	i) Restrições associada ao sistema técnico: a forma do rolete deve ser preservada. ii) Funcional: Fixar o rolete;	i) Encaixe ii) Ranhuras, pois não permitem fixar o mesmo neste projeto.
Guiar cédulas	- Sem estratégia de eliminação	Nenhum
Rotacionar guia	- Sem estratégia de eliminação	Nenhum
Direcionar a cédula	- Sem estratégia de eliminação	Nenhum
Montar as guias no sistema.	i) Manter a mesma solução, uma vez que não podem ser realizadas alterações no sistema coletor de cédulas;	i) Protusões circulares, parafuso 1, parafuso 2, parafuso 3 e snaps;

Na sequência, com base em estratégias de combinação, foram geradas as alternativas de concepção para a guia do coletor. Neste processo, por exemplo, para a função "fixar mola", considerando as especificações de projeto expressas através dos requisitos "custo do molde" e "manufaturabilidade", assim como o princípio inventivo da TRIZ "extração" (extraia, remova ou separe uma parte ou propriedade indesejada do objeto), selecionou-se para a concepção do componente injetado, o princípio de solução "snap molde sem gaveta", como ilustrado na figura 7.11.

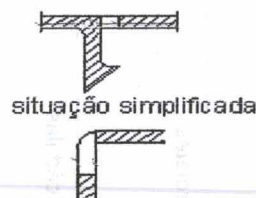


Figura 7.11. Forma de snap para molde de injeção isento de gaveta.

Em termos econômicos, na metodologia proposta, na combinação de princípios de solução visando a geração de alternativas de concepção também devem ser considerados os custos do vida do componente injetado. Desta forma, no caso da seleção do snap, considerou-se o requisito "custo do molde de injeção", ao selecionar um princípio de solução que dispensa a existência de gavetas no molde para realizar a sua extração, devido à abertura em sua base, como ilustrado na figura 4.14.

Ainda, para a função guiar cédulas, no caso dos requisitos "número de nervuras" e "deformação permissível", empregaram-se as informações oriundas da matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados "inserir nervuras no componente" e "alterar a espessura das nervuras do componente". Como resultado, chegou-se as formas ilustradas na figura 7.12.



Figura 7.12. Formas selecionadas para a função "guiar cédulas" considerando as informações da matriz de diretrizes de projeto de componentes injetados.

Como proposto na metodologia descrita no Capítulo 4, no processo de geração das alternativas de concepção, também devem ser considerados os atributos dos princípios de solução, segundo um critério de combinação. Assim, considerando que o cliente contratante deseja que a concepção seja facilmente manufaturada no molde de injeção (manufaturabilidade elevada) selecionou-se o princípio de solução ilustrado na figura 7.13.














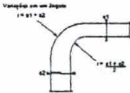
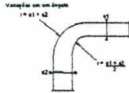






Figura 7.13. Formas selecionadas para a função "guiar cédulas" considerando o atributo manufaturabilidade do molde de injeção.

Como resultado, para a guia principal do sistema coletor de cédulas, foram geradas três alternativas de concepção. Na tabela 7.11 estão apresentados os princípios de soluções que compõem as alternativas de concepção desta guia do coletor. A função "fixar transdutor" não foi considerada, pois a mesma está presente somente nas demais guias do conjunto coletor de cédulas.

A seguir, segundo a metodologia proposta, considerando as três alternativas de concepção do conjunto de guias do coletor de cédulas, procedeu-se à seleção da concepção mais adequada para o projeto do produto. É importante ressaltar que a **etapa de estimativa de custo do componente injetado** não foi tratada neste estudo de caso.

Tabela 7.11. Princípios de solução excluídos da matriz morfológica.

Funções da guia 1	Alternativa de Concepção da Guia 1 do Coletor		
	Concepção 1	Concepção 2	Concepção 3
Fixar mola	 Parede com rolete	 Snap molde sem gaveta	 Encaixe
Fixar sensor	 Parede 1	 Parede com snap	 Parede sem snap
Fixar roletes	 Anéis	 Anéis	 Anéis
Guiar cédulas	 Parede 3	 Parede 5	 Parede 6
Rotacionar guia	 Snap e undercuts	 Pino com encaixe	 Pino passante
Direcionar a cédula	 Parede	 Parede	 Parede
Montar as guias no sistema.	 Protusões retangulares	 Protusões retangulares	 Protusões retangulares

Com as concepções geradas para o produto, iniciou-se a **etapa de seleção da concepção do componente injetado**, a qual foi conduzida com base nas especificações de projeto e nos atributos das alternativas de concepção geradas

Neste processo, conforme proposto na metodologia, os requisitos de projeto mais importantes, provenientes da Primeira Matriz do QFD, foram agrupados segundo a natureza das informações, como representado na tabela 7.12.

Tabela 7.12. Requisitos de projeto considerados na seleção do conjunto de guias do coletor.

CAMPOS DE CONHECIMENTO	REQUISITOS DE PROJETO DAS GUIAS DO COLETOR
Requisitos geométricos dos componentes	Número de nervuras
	Dimensões compatíveis com a cédula
	Tolerância de forma
	Número de features
Requisitos de desempenho do conjunto guia	Vida útil de 5 anos
	Confiabilidade: 1 falha a cada 12000 operações
Requisitos econômicos	Custo do molde
Requisitos de processo	Volume de produção: 100/mês

É importante ressaltar que uma avaliação mais criteriosa pode ser realizada se considerados os demais requisitos de projeto, estabelecidos na Primeira Matriz do QFD.

A seguir, iniciou-se a construção de um descritor para cada requisito de projeto, considerando a interpretação e as metas desses requisitos, como apresentado na tabela 7.13.

Tabela 7.13. Descritores dos requisitos de projeto do conjunto de guias do coletor.

Requisito de projeto	Descritor do requisito de projeto
Número de nervuras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N<sub>5</sub> - Muito menor que a guia existente</li> <li>• N<sub>4</sub> - Menor que a guia existente</li> <li>• N<sub>3</sub> - Semelhante a guia existente</li> <li>• N<sub>2</sub> - Maior do que a guia existente</li> <li>• N<sub>1</sub> - Muito maior do que a guia existente</li> </ul>
Dimensões da guia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N<sub>3</sub> - Menor que a guia existente</li> <li>• N<sub>2</sub> - Semelhante a guia existente</li> <li>• N<sub>1</sub> - Maior que a guia existente</li> </ul>
Tolerância de forma	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N<sub>3</sub> - ± 1 mm</li> <li>• N<sub>2</sub> - ± 5 mm</li> <li>• N<sub>1</sub> - ± 10 mm</li> </ul>
Número de features	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N<sub>5</sub> - Muito menor que a guia existente</li> <li>• N<sub>4</sub> - Menor que a guia existente</li> <li>• N<sub>3</sub> - Semelhante a guia existente</li> <li>• N<sub>2</sub> - Maior do que a guia existente</li> <li>• N<sub>1</sub> - Muito maior do que a guia existente</li> </ul>
Vida útil de 5 anos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N<sub>3</sub> - Maior do que 5 anos</li> <li>• N<sub>2</sub> - 5 anos</li> <li>• N<sub>1</sub> - Menor do que 5</li> </ul>
Confiabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N<sub>3</sub> - 1 falha a cada 14000 a 15999 operações</li> <li>• N<sub>2</sub> - 1 falha a cada 12000 a 13999 operações</li> <li>• N<sub>1</sub> - 1 falha a cada 10000 a 11999 operações</li> </ul>
Custo do molde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N<sub>4</sub> - Entre R\$ 1000,00 e R\$ 1999,00</li> <li>• N<sub>3</sub> - Entre R\$ 2000,00 e R\$ 2999,00</li> <li>• N<sub>2</sub> - Entre R\$ 3000,00 e R\$ 3999,00</li> <li>• N<sub>1</sub> - Entre R\$ 4000,00 e R\$ 4999,00</li> </ul>
Volume de produção: 100/mês	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N<sub>4</sub> - Entre 151 e 200 peças por mês</li> <li>• N<sub>3</sub> - Entre 101 e 150 peças por mês</li> <li>• N<sub>2</sub> - Entre 51 e 100 peças por mês</li> <li>• N<sub>1</sub> - Entre 1 e 50 peças por mês</li> </ul>

Com a definição dos descritores, como proposto na metodologia, construíram-se escalas de atratividade para cada um dos requisitos de projeto, a fim de possibilitar a avaliação das alternativas de concepção para o produto. Para auxiliar esta construção, empregou-se a metodologia MACBETH (Bana e Costa, 1995) e a escala semântica formada pelas seguintes categorias de diferença de atratividade: C<sub>1</sub> - Diferença de atratividade é muito fraca (1); C<sub>2</sub> - Diferença de atratividade é fraca (2); C<sub>3</sub> - Diferença de atratividade é moderada (3); C<sub>4</sub> - Diferença de atratividade é forte (4); C<sub>5</sub> - Diferença de atratividade é muito forte (5); C<sub>6</sub> - Diferença de atratividade é extrema (6).

Para facilitar a expressão dos julgamentos de diferença de atratividade dos requisitos de projeto, como proposto por Bana e Costa (1994) e (1995), empregou-se a matriz de juízo de valor para cada requisito de projeto. Os resultados obtidos com o emprego desta Matriz estão apresentados nas tabelas de 7.14 a 7.21.

A seguir, empregando-se o programa MACBETH Versão 1.1 (1997), disponível em <http://www.cised.pt/macbeth.htm>, construiu-se a escala cardinal de avaliação para cada requisito de projeto. O resultado desta construção, considerando o julgamento de diferença de atratividade dos requisitos, está representado nas tabelas de 7.14 a 7.21.

Tabela 7.14. Matriz de juízo de valor do requisito de projeto "número de nervuras".

Requisito - Número de nervuras	N <sub>5</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala Macbeth
N <sub>5</sub> - Muito menor que a guia existente	-	2	3	5	6	100
N <sub>4</sub> - Menor que a guia existente		-	2	4	4	77,78
N <sub>3</sub> - Semelhante a guia existente			-	2	2	44,44
N <sub>2</sub> - Maior do que a guia existente				-	1	11,11
N <sub>1</sub> - Muito maior do que a guia existente					-	0

Tabela 7.15. Matriz de juízo de valor do requisito de projeto "tolerância de forma".

Requisito - Tolerância de forma	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala Macbeth
N <sub>3</sub> - ± 1 mm	-	3	6	100
N <sub>2</sub> - ± 5 mm		-	2	42,86
N <sub>1</sub> - ± 10 mm			-	0

Tabela 7.16. Matriz de juízo de valor do requisito de projeto "número de features".

Requisito - Número de features	N <sub>5</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala Macbeth
N <sub>5</sub> - Muito menor que a guia existente	-	2	3	4	6	100
N <sub>4</sub> - Menor que a guia existente		-	3	3	4	78,57
N <sub>3</sub> - Semelhante a guia existente			-	2	2	35,71
N <sub>2</sub> - Maior do que a guia existente				-	1	14,29
N <sub>1</sub> - Muito maior do que a guia existente					-	0

Tabela 7.17. Matriz de juízo de valor do requisito de projeto "dimensões da guia".

Requisito - Dimensões da guia	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala Macbeth
N <sub>3</sub> - Menor que a guia existente	-	2	4	100
N <sub>2</sub> - Semelhante a guia existente			3	60
N <sub>1</sub> - Maior que a guia existente			-	0

Tabela 7.18. Matriz de juízo de valor do requisito de projeto "vida útil".

Requisito - Vida útil	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala Macbeth
N <sub>3</sub> - Maior do que 5 anos	-	2	3	100
N <sub>2</sub> - 5 anos		-	2	50
N <sub>1</sub> - Menor do que 5 anos			-	0

Tabela 7.19. Matriz de juízo de valor do requisito de projeto "confiabilidade".

Requisito - Confiabilidade	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala Macbeth
N <sub>3</sub> - 1 falha a cada 14000 a 15999 operações	-	2	4	100
N <sub>2</sub> - 1 falha a cada 12000 a 13999 operações		-	3	60
N <sub>1</sub> - 1 falha a cada 10000 a 11999 operações			-	0

Tabela 7.20. Matriz de juízo de valor do requisito "custo do molde".

Requisito - Custo do molde	N <sub>4</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala Macbeth
N <sub>4</sub> - Entre R\$ 1000,00 e R\$ 1999,00	-	3	5	6	100
N <sub>3</sub> - Entre R\$ 2000,00 e R\$ 2999,00		-	4	5	70
N <sub>2</sub> - Entre R\$ 3000,00 e R\$ 3999,00			-	3	30
N <sub>1</sub> - Entre R\$ 4000,00 e R\$ 4999,00				-	0

Tabela 7.21. Matriz de juízo de valor do requisito de projeto "volume de produção".

Requisito - Número de nervuras	N <sub>4</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala Macbeth
N <sub>4</sub> - Entre 151 e 200 peças por mês	-	3	4	5	100
N <sub>3</sub> - Entre 101 e 150 peças por mês		-	3	4	66,67
N <sub>2</sub> - Entre 51 e 100 peças por mês			-	3	33,33
N <sub>1</sub> - Entre 1 e 50 peças por mês				-	0

Considerando a metodologia proposta, foram definidos os níveis de impacto bom e neutro, dentre os vários níveis apresentados, para cada requisito de projeto. Nesta definição, foram levadas em conta as metas estabelecidas para os requisitos de projeto quando da definição das especificações de projeto, na fase de projeto informacional.

Em termos econômicos, este projeto foi conduzido segundo a abordagem de projeto para o mínimo custo. Sendo assim, como se deseja que o custo do componente injetado seja o menor dentro do possível e inferior ao custo-meta, o nível BOM foi escolhido como sendo o menor possível, isto é, entre R\$ 1000,00 e R\$ 1999,00. E, por sua vez, o nível NEUTRO foi atribuído ao custo-meta, isto é de R\$ 4000,00 e R\$ 4999,00.

Na tabela 4.22 está representado o nível bom e o neutro para cada requisito de projeto.

Tabela 4.22. Nível bom e o neutro para cada requisito de projeto.

Requisito de projeto	Descriptor do requisito de projeto
Número de nervuras	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nível Bom - N<sub>5</sub> - Muito menor que a guia existente</li> <li>Nível Neutro - N<sub>3</sub> - Semelhante a guia existente.</li> </ul>
Tolerância de forma	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nível Neutro - N<sub>2</sub> - <math>\pm 5</math>mm</li> <li>Nível Bom - N<sub>3</sub> - <math>\pm 1</math>mm</li> </ul>
Número de features	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nível Bom - N<sub>5</sub> - Muito menor que a guia existente.</li> <li>Nível Neutro - N<sub>3</sub> - Semelhante a guia existente.</li> </ul>
Dimensões compatíveis com a cédula	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nível Bom - N<sub>3</sub> - Menor que a guia existente</li> <li>Nível Neutro - N<sub>2</sub> - Semelhante a guia existente</li> </ul>
Vida útil de 5 anos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nível Bom - N<sub>3</sub> - Maior do que 5 anos</li> <li>Nível Neutro - N<sub>2</sub> - 5 anos</li> </ul>
Confiabilidade:	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nível Bom - N<sub>3</sub> - 1 falha a cada 14000 a 15999 operações.</li> <li>Nível Neutro - N<sub>2</sub> - 1 falha a cada 12000 a 13999 operações</li> </ul>
Custo do molde	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nível Bom - N<sub>5</sub> - Entre R\$ 1000,00 e R\$ 1999,00</li> <li>Nível Neutro - N<sub>1</sub> - Entre R\$ 4000,00 e R\$ 4999,00</li> </ul>
Volume de produção: 1000/mês	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nível Bom - N<sub>3</sub> - Entre 1999 e 1500 peças por mês;</li> <li>Nível Neutro - N<sub>1</sub> - Entre 999 e 500 peças por mês;</li> </ul>

Como foi exposto na metodologia proposta, visando a avaliação de cada alternativa de concepção, escalaram-se novamente os valores encontrados pelo método MACBETH para cada nível de impacto de cada requisito de projeto. O resultado desta transformação está descrito nas tabelas 4.23 a 4.30.

Tabela 7.23. Escala de valores do requisito "número de nervuras".

Requisito - Número de nervuras	Escala Macbeth	Escala Cardinal
N <sub>5</sub> - Muito menor que a guia existente	100	100
N <sub>4</sub> - Menor que a guia existente	77,78	60
N <sub>3</sub> - Semelhante a guia existente	44,44	0
N <sub>2</sub> - Maior do que a guia existente	11,11	- 60
N <sub>1</sub> - Muito maior do que a guia existente	0	- 80

Tabela 7.24. Escalas de valores do requisito "tolerância de forma".

Requisito - Tolerância de forma	Escala Macbeth	Escala Cardinal
N <sub>3</sub> - ± 1 mm	100	100
N <sub>2</sub> - ± 5 mm	42,86	0
N <sub>1</sub> - -± 10 mm	0	- 75

Tabela 7.25. Escalas de valores do requisito "número de features".

Requisito - Número de features	Escala Macbeth	Escala Cardinal
N <sub>5</sub> - Muito menor que a guia existente	100	100
N <sub>4</sub> - Menor que a guia existente	78,57	66,83
N <sub>3</sub> - Semelhante a guia existente	35,71	0
N <sub>2</sub> - Maior do que a guia existente	14,29	33,12
N <sub>1</sub> - Muito maior do que a guia existente	0	- 55,34

Tabela 7.26. Matriz de juízo de valor do requisito "dimensões da guia".

Requisito - Dimensões da guia	Escala Macbeth	Escala Cardinal
N <sub>3</sub> - Menor que a guia existente	100	100
N <sub>2</sub> - Semelhante a guia existente	60	0
N <sub>1</sub> - Maior que a guia existente	0	- 150

Tabela 7.27. Escalas de valores do requisito "vida útil".

Requisito - Vida útil	Escala Macbeth	Escala Cardinal
N <sub>3</sub> - Maior do que 5 anos	100	100
N <sub>2</sub> - 5 anos	50	0
N <sub>1</sub> - Menor do que 5 anos	0	- 100

Tabela 7.28. Escalas de valores do requisito "confiabilidade".

Requisito - Confiabilidade	Escala Macbeth	Escala Cardinal
N <sub>3</sub> - 1 falha a cada 14000 a 15999 operações	100	100
N <sub>2</sub> - 1 falha a cada 12000 a 13999 operações	60	0
N <sub>1</sub> - 1 falha a cada 10000 a 11999 operações	0	- 150

Tabela 7.29. Escala de valores do requisito "custo do molde".

Requisito - Custo do molde	Escala Macbeth	Escala Cardinal
N <sub>4</sub> - Entre R\$ 1000,00 e R\$ 1999,00	100	100
N <sub>3</sub> - Entre R\$ 2000,00 e R\$ 2999,00	70	70
N <sub>2</sub> - Entre R\$ 3000,00 e R\$ 3999,00	30	30
N <sub>1</sub> - Entre R\$ 4000,00 e R\$ 4999,00	0	0

Tabela 7.30. Escala de valores do requisito "volume de produção".

Requisito - Número de nervuras	Escala Macbeth	Escala Cardinal
N <sub>4</sub> - Entre 2500 e 2000 peças por mês	100	150
N <sub>3</sub> - Entre 1999 e 1500 peças por mês	66,67	100
N <sub>2</sub> - Entre 1499 e 1000 peças por mês	33,33	50
N <sub>1</sub> - Entre 999 e 500 peças por mês	0	0

Como foi proposto, na seqüência foram considerados os pesos de importância dos requisitos de projeto obtidos na Primeira Matriz do QFD, para agregar as avaliações locais das alternativas de concepção. Estes pesos foram obtidos levando em conta a análise da Matriz de Correlação do QFD.

Considerando os descritores e os níveis de impactos de cada requisito de projeto, as alternativas de concepção geradas para a guia do sistema coletor, representadas na tabela 7.11, foram caracterizadas de forma objetiva. Na tabela 7.31, está apresentado o resultado dessa caracterização.

Tabela 7.31. Exemplo de caracterização das alternativas de concepção do componente injetado.

	Concepção 1		Concepção 2		Concepção 3	
	Descrição	Nível	Descrição	Nível	Descrição	Nível
Número de nervuras	Muito menor que a guia existente	N <sub>5</sub>	Muito menor que a guia existente	N <sub>5</sub>	Menor que a guia existente	N <sub>4</sub>
Tolerância de forma	± 1 mm	N <sub>3</sub>	± 1 mm	N <sub>3</sub>	± 1 mm	N <sub>3</sub>
Número de features	Muito menor que a guia existente	N <sub>5</sub>	Muito menor que a guia existente	N <sub>5</sub>	Menor que a guia existente	N <sub>4</sub>
Dimensões das guias	Maior que a guia existente	N <sub>1</sub>	Semelhante a guia existente	N <sub>2</sub>	Semelhante a guia existente	N <sub>3</sub>
Vida útil	5 anos	N <sub>2</sub>	5 anos	N <sub>2</sub>	5 anos	N <sub>2</sub>
Confiabilidade	1 falha a cada 12000 a 13999 operações	N <sub>2</sub>	1 falha a cada 12000 a 13999 operações	N <sub>2</sub>	1 falha a cada 12000 a 13999 operações	N <sub>2</sub>
Custo do molde	Entre R\$ 3000,00 e R\$ 3999,00	N <sub>2</sub>	Entre R\$ 1000,00 e R\$ 1999,00	N <sub>4</sub>	Entre R\$ 2000,00 e R\$ 2999,00	N <sub>3</sub>
Volume de produção	Entre 1000 e 1499 peças por mês	N <sub>2</sub>	Entre 1000 e 1499 peças por mês	N <sub>2</sub>	Entre 1000 e 1499 peças por mês	N <sub>2</sub>

Com a conclusão da caracterização das concepções procedeu-se à comparação das mesmas a fim de escolher a concepção mais adequada para o projeto do conjunto de guias do coletor. Na tabela 7.32, faz-se a avaliação global das propostas das alternativas de concepções.

Tabela 7.32. Resultado da avaliação das alternativas de concepção geradas para a guia.

Requisitos de Projeto					Concepção 1		Concepção 2		Concepção 3	
Lista de Requisitos	Valor <sup>1</sup>	Peso <sup>2</sup>	Bom	Neutro	Nível	Valor <sup>3</sup>	Nível	Valor <sup>3</sup>	Nível	Valor <sup>3</sup>
Número de nervuras	132	0,139	N <sub>5</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>5</sub>	100	N <sub>5</sub>	100	N <sub>4</sub>	60
Tolerância de forma	114	0,120	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	100	N <sub>3</sub>	100	N <sub>3</sub>	100
Número de features	130	0,137	N <sub>5</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>5</sub>	100	N <sub>5</sub>	100	N <sub>4</sub>	66,83
Dimensões das guias	159	0,167	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	- 150	N <sub>2</sub>	0	N <sub>2</sub>	0
Vida útil	102	0,107	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	0	N <sub>2</sub>	0	N <sub>2</sub>	0
Confiabilidade	79	0,083	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	0	N <sub>2</sub>	0	N <sub>2</sub>	0
Custo do molde	149	0,157	N <sub>4</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	30	N <sub>4</sub>	100	N <sub>3</sub>	70
Volume de produção	84	0,088	N <sub>4</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	50	N <sub>2</sub>	50	N <sub>2</sub>	50
<b>Desempenho das alternativas de concepção (Σ peso.valor)</b>					<b>23,66</b>		<b>59,70</b>		<b>44,88</b>	

1) Este valor é proveniente da Primeira Matriz do QFD;

2) Valor absoluto expresso em termos percentuais;

3) Valores provenientes das tabelas 7.23 a 7.30;



Deste modo, as informações obtidas através dos procedimentos propostos, forneceram subsídios suficientes para a equipe de desenvolvimento do produto selecionar a alternativa de concepção 2 para o projeto da guia do sistema coletor.

Na figura 7.14 está ilustrada a concepção da guia principal do sistema coletor de cédulas.

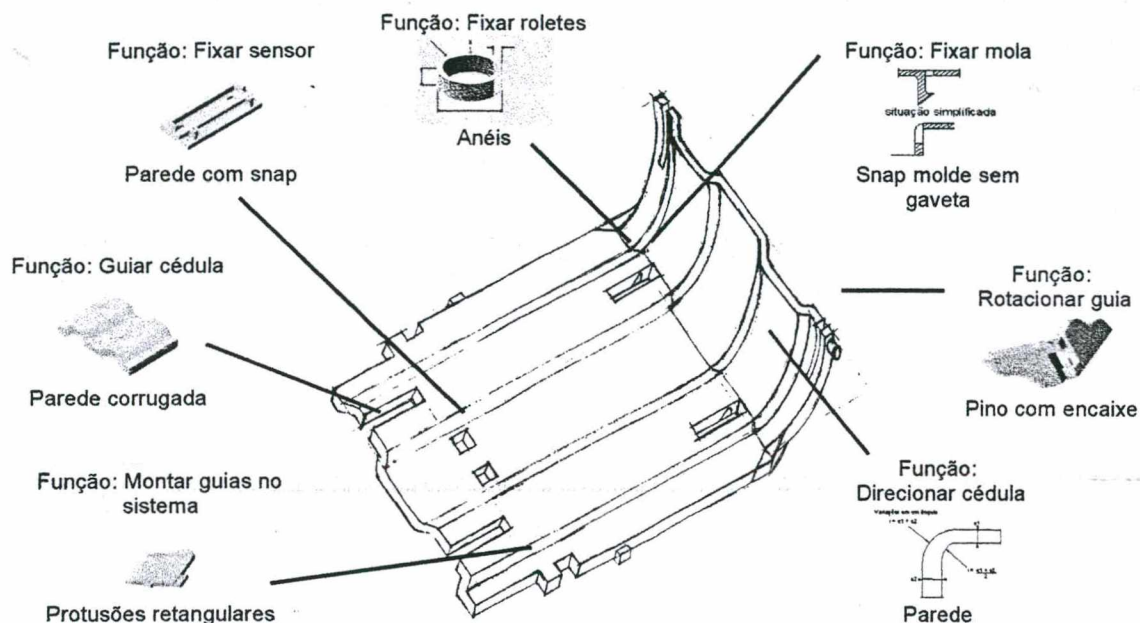


Figura 7.14. Concepção da guia principal do sistema coletor de cédulas.

Portanto, ao final da fase de projeto conceitual, a equipe de projeto tem disponível uma concepção do componente, desenvolvida, considerando a multidisciplinaridade e a interdisciplinaridade das informações provenientes do conhecimento de especialistas dos campos de conhecimento, segundo uma abordagem técnica e econômica.

### 7.3.3. Considerações sobre a aplicação

Nesta análise, inicialmente, serão tratados aspectos relativos à aplicação da metodologia proposta em sua fase informacional e considerando o software SISCOI. E, num segundo momento, será abordada a fase de projeto conceitual, considerando o processo de geração e seleção da concepção do componente injetado.

Em se tratando do processo de definição das especificações de projeto, por analogia, observou-se que a metodologia proposta, permitiu que informações mais precisas, completas, econômicas, confiáveis, relevantes, em tempo e verificáveis pudessem ser obtidas empregando as ferramentas propostas. Este fato pode ser comprovado comparando-se a quantidade e a qualidade das informações obtidas em Daré *et al.* (2001) e, neste estudo.

Esta contribuição ocorreu, principalmente, devido à existência de uma metodologia de projeto que permitiu considerar de forma integrada e sistemática as informações provenientes dos distintos campos envolvidos no projeto do produto. A ferramenta implementada no SISCOI para definir as

restrições de projeto do componente injetado, possibilitou que informações relacionadas ao ciclo de vida do produto fossem determinadas inicialmente, contribuindo para facilitar o processo de desenvolvimento do produto.

Em se tratando da Primeira Matriz do QFD, o seu desenvolvimento possibilitou a integração entre os membros envolvidos no projeto do produto, assim como facilitou o entendimento do problema de projeto. As funcionalidades implementadas no SISCOI para realizar análises de benchmark, realizar planejamento da qualidade do produto em desenvolvimento e determinar dificuldades de implementação técnica e econômica, mostraram-se importantes e práticas, para mostrar "onde se deseja chegar com o projeto do produto" e "como fazer para atingir essa meta".

O emprego das ferramentas de projeto da TRIZ e da Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados, considerando os resultados provenientes da Matriz de Correlação do QFD resultou em indicações importantes de princípios inventivos, regras, recomendações e princípios de projeto a serem empregados no projeto do componente injetado. Por exemplo, a indicação do princípio inventivo da TRIZ "extração" para realizar o projeto de "snaps" sem a presença de gavetas no molde de injeção.

Na fase de projeto informacional, infelizmente, não foi possível considerar aspectos relacionados à preparação de informações de custos e definição do custo meta do componente injetado. Por outro lado, a ferramenta de desdobramento de custo do componente injetado mostrou-se importante, pois possibilita a consideração de custos diretos no projeto do produto. Esse fato pode ser visualizado na Primeira Matriz do QFD, com a consideração dos requisitos de custo do molde, do material e do processo de injetado.

Em se tratando da fase de projeto conceitual, no processo de geração das alternativas de concepção, o emprego das ferramentas propostas facilitou a identificação das funções da guia e contribuiu-se para o incremento do número de princípios de solução gerados para estas funções. Neste sentido, foram importantes as informações provenientes das etapas de definição das restrições e diretrizes de projeto do componente injetado. A matriz morfológica mostrou-se importante para permitir a visualização e organização dos princípios de solução gerados para a guia, entretanto, o seu emprego tornou-se mais efetivo com o auxílio de outras ferramentas de criatividade, como a lista de princípios de solução, entre outras.

O emprego de estratégias de eliminação e combinação de princípios de solução mostrou-se adequado. Por exemplo, a consideração de estratégias de eliminação estabelecidas com base em restrições de projeto associadas ao inserto de STL (por exemplo, empregar molde sem gavetas), no processo de geração de alternativas de concepção fez com que princípios de solução inadequados fossem previamente excluídos da solução do problema. Por outro lado, observou-se a necessidade de prover recursos para automatizar esse processo, devido ao elevado número de informações a serem manipuladas simultaneamente e de forma integrada.

No processo de seleção da concepção da guia, o método MACBETH possibilitou ao decisor conhecer melhor problema em questão e, ao mesmo tempo, permitiu que critérios subjetivos e abstratos, difíceis de serem avaliados, fossem considerados de forma mais criteriosa. Por exemplo, o tamanho e o número de features da concepção foi avaliado em relação ao produto existente.

Por outro lado, o método mostrou-se trabalhoso de ser empregado, em virtude do elevado número de etapas a serem executadas e informações manipuladas para selecionar a concepção do componente. Além disto, embora o método esteja consolidado e seja aplicado em problemas de natureza distinta, o mesmo não é muito familiar às equipes de desenvolvimento de produto, as quais utilizam geralmente os métodos de seleção de Pugh (1990) e Pahl e Beitz (1996).

De forma geral, a metodologia proposta auxiliou na consideração de informações multidisciplinares e interdisciplinares associadas ao problema de projeto, de forma integrada e simultânea. O emprego do SISCOI para auxiliar na definição das especificações de projeto do componente injetado mostrou-se adequado, devido ao elevado número de informações manipuladas, como pode ser visualizados nos relatórios emitidos pelo programa no Anexo R.

#### **7.4. Aplicação 2: Definição das Especificações de Projeto de um Produto B**

Este estudo envolve o processo de aplicação da metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados visando a definição das especificações de projeto de um produto denominado "Produto B", para uma empresa identificada neste estudo de caso por Empresa B.

O desenvolvimento do estudo de caso envolveu as etapas de planejamento do mesmo visando a discussão e a homologação do plano de trabalho, a formação do grupo de trabalho, o estudo do processo de desenvolvimento de produtos da Empresa B e a seleção do produto.

Esta seção tem os objetivos de apresentar o processo de aplicação da metodologia proposta com ênfase na fase de projeto informacional, verificar a adequabilidade do desencadeamento das ferramentas propostas para operacionalizar a metodologia, avaliar o nível das informações obtidas, empregando a metodologia proposta e aquelas estabelecidas no processo de projeto realizado na referida empresa e, também avaliar o emprego do SISCOI.

Considerando que o "Produto B" encontra-se em estágio de lançamento no mercado, assim como o processo de desenvolvimento de produto na Empresa B, o foco deste estudo é a fase de projeto informacional. O produto, objeto da análise, destina-se a clientes que necessitam de um produto a ser utilizado em média e longas distâncias (alcance) e caracteriza-se pelos seguintes elementos principais: uma unidade móvel (handphone), base fixa central e bases fixas opcionais.

Na unidade móvel, encontra-se o "*handphone*" contendo teclado, visor de cristal líquido para identificação dos números chamados, bateria, circuito eletrônico do telefone e demais comandos. Na base fixa são providos recursos para realizar a carga da bateria da unidade móvel do telefone e também suportar o aparelho quando não está sendo manipulado pelo usuário. As bases fixas opcionais, semelhantes à central, permitem que o usuário possa recarregar o aparelho em distintos recintos.

A aplicação da fase de projeto informacional da metodologia proposta iniciou através do entendimento do processo de desenvolvimento de produto realizado na Empresa, o qual envolve as etapas de: i) Estudo da viabilidade do desenvolvimento do produto; ii) Estudo da viabilidade do desenvolvimento do projeto do produto; iii) Desenvolvimento do conceito do produto; iv)

Desenvolvimento da concepção do produto; v) Avaliação do design do produto; vi) Projeto do produto, o qual envolve o estudo da parte mecânica (por exemplo, componentes injetados) e parte eletrônica (por exemplo, placa de circuito eletrônico); vii) Avaliação do projeto do produto (componentes mecânicos e eletrônicos); e, viii) Desenvolvimento do molde de injeção. Estas etapas estão compiladas na tabela 7.33, considerando as informações de entrada e saída, as ferramentas empregadas e os recursos humanos envolvidos.

Tabela 7.33. Síntese do processo de desenvolvimento de produtos na Empresa B.

ETAPA	INFORMAÇÃO DE ENTRADA	INFORMAÇÃO DE SAÍDA	FERRAMENTAS DE PROJETO	ENVOLVIDOS
1. Estudo da viabilidade do desenvolvimento do produto (Produto B).	Mercado	Especificações do produto (Produto B), sob a forma de necessidades dos clientes e valor do custo meta do produto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesquisa de mercado</li> <li>• Reuniões</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Departamento de Marketing</li> </ul>
2. Estudo da viabilidade do desenvolvimento do projeto (Produto B)	Especificações de produto	Proposta de desenvolvimento do projeto do produto (Produto B) aprovada ou recusada. Em se tratando do componente injetado tem-se disponível investimentos para aquisição do molde.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• QFD (Pouco utilizado)</li> <li>• Reuniões</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• P &amp; D</li> <li>• Engenharia de manufatura</li> </ul>
3. Desenvolvimento do conceito do produto (Produto B).	Especificações do produto.	Especificações de projeto do produto. Informações "comerciais" gerais sobre o produto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuniões</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marketing</li> <li>• P &amp; D</li> <li>• Engenharia de manufatura</li> </ul>
4. Desenvolvimento do design do produto (Produto B).	Especificações de projeto do produto.	"Design" do produto, concepção com informações de forma, material e cores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ferramentas de criatividade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empresa externa à Empresa B</li> </ul>
5. Avaliação do design do produto (Produto B).	Concepção do produto.	Design do produto aprovado ou não e projeto preliminar da placa do Produto B.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuniões</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• P &amp; D</li> <li>• Engenharia de manufatura</li> <li>• Custo e financeiro</li> </ul>
6. Projeto do produto (projeto mecânico e eletrônico do Produto B).	Design do produto e projeto preliminar da placa do Produto B	Projeto do Produto B envolvendo a parte da placa eletrônica e dos componentes externos (componentes de plástico injetado e outros).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ferramentas CAD</li> <li>• Reuniões.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empresa externa à Empresa B</li> </ul>
7. Avaliação do projeto do produto (Produto B).	Projeto do produto	Projeto do Produto B aprovado ou não.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuniões</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• P &amp; D</li> <li>• Engenharia de manufatura</li> <li>• Custo / Financeiro</li> </ul>
8. Desenvolvimento dos moldes de injeção.	Projeto do produto	Projeto do molde de injeção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ferramentas específicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empresa externa à Empresa B</li> </ul>

Com base no estudo deste processo de desenvolvimento de produto, considerando a metodologia proposta para definir as especificações de projeto de componentes injetados, buscou-se a melhor forma de conduzir este estudo de caso, de modo a não alterar as práticas realizadas na empresa e contemplar as etapas propostas na metodologia. Como resultado, o emprego da metodologia proposta será efetivado quando do início do projeto mecânico. O fluxograma ilustrado na figura 7.15 sintetiza esta análise.

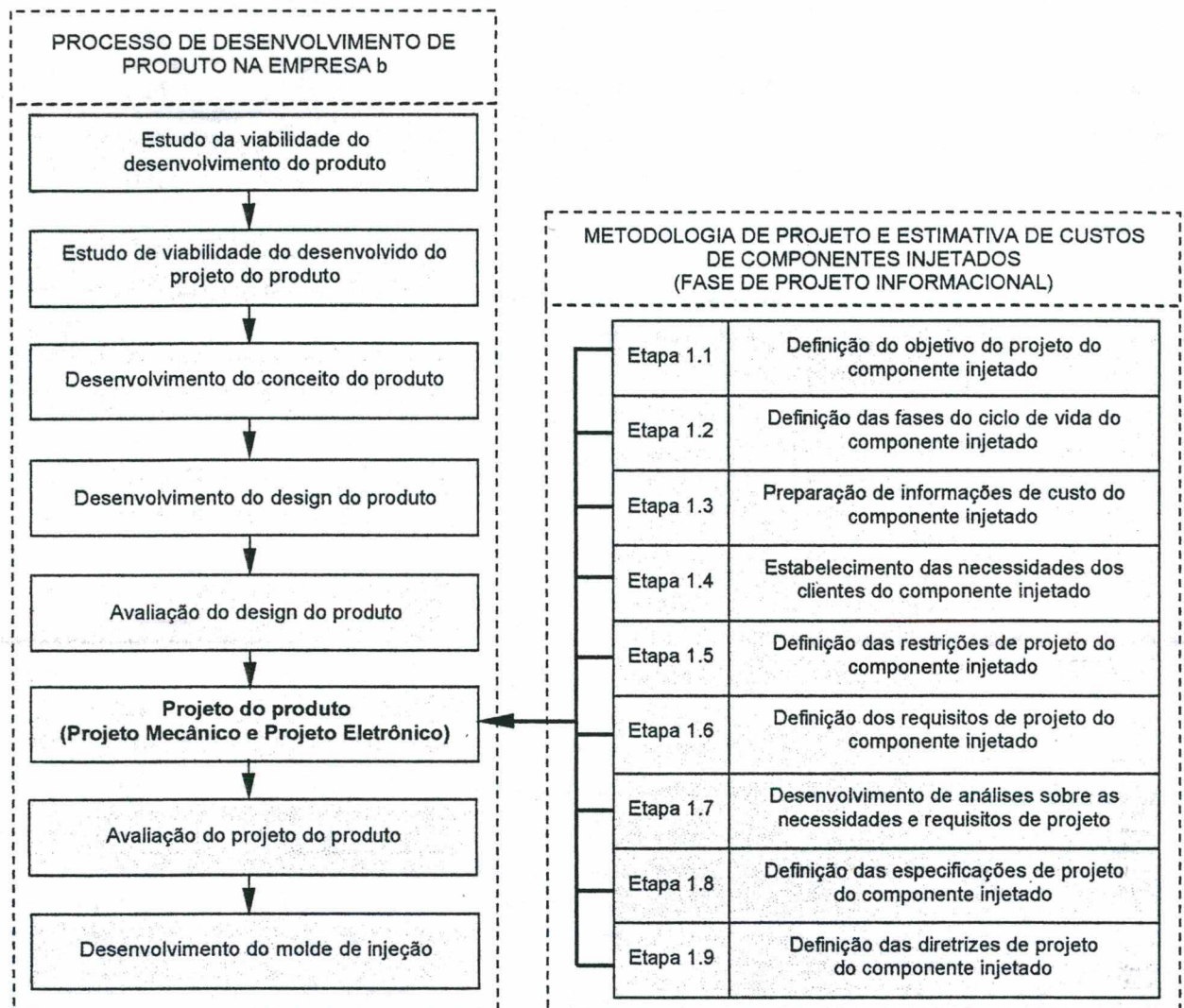


Figura 7.15. Relação entre o processo de desenvolvimento do Produto B da Empresa B e a metodologia de projeto de componentes injetados na sua fase informacional.

Para auxiliar na condução deste estudo de caso, foram realizados treinamentos de curta duração dirigidos aos envolvidos no projeto do produto, visando a apresentar os objetivos, o contexto, as informações de entrada e saída, assim como as ferramentas propostas para auxiliar a operacionalização de cada etapa da metodologia proposta, assim como, o emprego do SISCOI.

Como o "Produto B" compõe-se de um conjunto de componentes injetados, no desenvolvimento deste estudo de caso será considerado como objeto de projeto a unidade móvel do "handphone" envolvendo a sua base e tampa.

Como descrito na tabela 7.1, a etapa de projeto do produto inicia-se com base no "design do produto" e projeto preliminar da placa eletrônica sendo que o projeto dos componentes injetados é realizado por uma empresa terceirizada, a partir de informações provenientes da Empresa B. Estas informações podem ser entendidas como sendo as especificações de projeto do componente.

Tendo em vista este cenário, na etapa de contratação do projeto dos componentes injetados do "Produto B"; foram definidos como responsáveis pelo projeto do produto (solicitante, processo, molde e material de injeção) integrantes da própria Empresa B.

Na sequência, foram identificadas as oportunidades do negócio pelo solicitante do projeto com base nas questões implementadas no SISCOI. Nesta etapa, ressalta-se que, considerando o processo de desenvolvimento de produto da Empresa B, as questões propostas foram respondidas pelo departamento de marketing, quando do estudo da viabilidade do desenvolvimento do produto.

Finalmente, como descrito na metodologia proposta, registrou-se o pedido do solicitante, o qual foi interpretado pela equipe responsável pelo projeto dos componentes injetados. Nesta solicitação, registrou-se o objetivo geral do projeto do produto estabelecido com base no pedido do solicitante, a produção estimada de componentes durante o mês, o tipo de material e máquina injetora a ser empregada na manufatura dos componentes, o investimento necessário para aquisição do molde de injeção, o tipo de projeto e o tipo de produto. O resultado desta análise pode ser visualizado no relatório emitido pelo SISCOI e ilustrado na figura 7.16.

	<b>Universidade Federal de Santa Catarina</b> <b>Centro Tecnológico</b> <b>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica</b>
<b>Informações preliminares da solicitação de projeto:</b>	
<b>Pedido do Solicitante:</b>	
Desenvolver produto conforme características de mercado, que atenda as informações (requisitos) estabelecidos pelo departamento de marketing.	
<b>Produção estimada de componentes injetados por mês:</b> 60000	
<b>Tipo de material do componente injetado:</b> ABS	
<b>Tipo de máquina operadora:</b> Oriente IHP 1800	
<b>Investimento disponível para a aquisição do molde de injeção:</b> 600000	

#### Interpretação preliminar da solicitação de projeto:

**Objetivo geral:**

Desenvolver um telefone sem fio que opere com múltiplos monofones conforme as necessidades levantadas pelo departamento de marketing.

**Tipo de projeto:** Inovativo

**Tipo de produto:** Conjunto - Sistema

Figura 7.16. Relatório do SISCOI emitido com o registro da solicitação de projeto.

Na sequência, de acordo com a metodologia proposta, definiu-se o ciclo de vida dos componentes injetados do "Produto B", onde para cada etapa estabeleceram-se os elementos atuantes, atividades e aspectos a serem considerados no projeto do componente. Na figura 7.17 está ilustrado o emprego da interface gráfica do SISCOI para definir as fases do ciclo de vida do produto. No caso, destaca-se a fase de projeto conceitual do componente, onde o responsável é a engenharia de projeto do componente e as demais engenharias fornecendo suporte (informações) visando o desenvolvimento do produto.

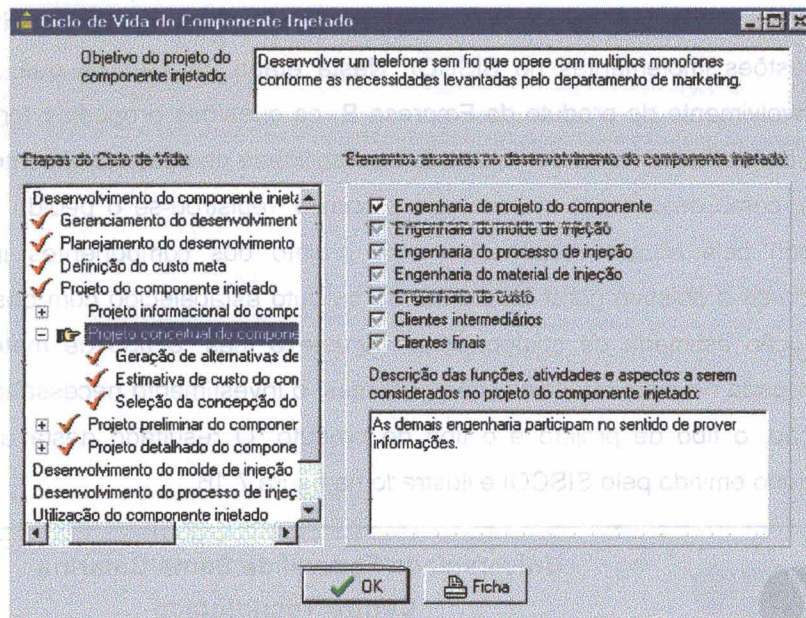


Figura 7.17. Interface gráfica do SISCOI para definir as fases do ciclo de vida do "Produto A".

Em se tratando da etapa de preparação de informações de custos, Etapa 1.3 da metodologia proposta, a Empresa B definiu como custo meta para o produto, assim como para os componentes injetados o custo do processo de injeção. O custo de material de injeção não foi especificado pela empresa<sup>1</sup>. É importante ressaltar, para fins de análise da metodologia proposta, os seguintes aspectos: i) o valor do telefone inclui os custos diretos e indiretos do telefone associados à parte eletrônica e demais componentes mecânicos; ii) o valor de custo dos componentes injetados incluem os custos diretos e indiretos associados ao setor responsável pelo processo de injeção dos componentes injetados. Em outras palavras, não se têm disponíveis mecanismos para quantificar, somente, o custo direto dos componentes injetados do telefone.

Em decorrência deste cenário, as proposições referentes à estimativa de custos da metodologia proposta, propriamente dita, não serão consideradas neste estudo de caso.

Com a conclusão destas etapas, iniciou-se o levantamento das necessidades dos clientes. Neste sentido, foram realizadas reuniões com a equipe de projeto(clientes) da Empresa B, utilizando-se o check-list proposto no Anexo E, obteve-se um conjunto de informações que expressam as necessidades dos clientes. Estas informações estão parcialmente listadas na tabela 7.34.

Tabela 7.34. Lista parcial de declaração das necessidades dos clientes.

Atributos	Questões para Levantamento das Necessidades dos Clientes	Declaração das Necessidades dos Clientes
Funcionamento	Qual a função principal do componente ? Quais as funções secundárias do componente ? Quais as funções críticas do componente ? Quais as funções de estima associadas ao componente ?	Permitir alojamento da placa, dar forma a placa ao produto, ter boa câmara acústica, resistir a interperie, resistir aos raio ultravioleta, resistir a umidade do ambiente, acabamento superficial com qualidade superior, encaixe mais preciso com menor folga e parecer com telefone celular.
Ergonômico	Como são as interações entre o homem e o componente ? Qual a sequência de montagem do componente no sistema? Como são as condições de utilização do componente ?	Ser ergonômico.

<sup>1</sup> A empresa não autorizou das informações de custo do produto.

Tabela 7.34. Lista parcial de declaração das necessidades dos clientes.

Atributos	Questões para Levantamento das Necessidades dos Clientes	Declaração das Necessidades dos Clientes
Estético	Como é identificado o componente ? Quais são as cores do componente ? Qual o aspecto da textura do componente ?	Permitir variedade de cores, permitir efeitos de cores e acabamento superficial com qualidade superior.
Segurança	Quais as condições de utilização do componente ? O componente pode apresentar gumes cortantes ? O componente oferece perigo ao usuário ?	Apresentar resistência à queda, castelo não pode interferir na qualidade superficial do componente injetado.
Normalização	O projeto do componente deve seguir as recomendações de alguma norma técnica ? Quais as normas técnicas empregadas para testar o componente ?	Devem ser contempladas as informações das normas da manta do teclado.
Modularidade	O produto deve projetado considerando a filosofia de projeto para a modularidade ? Como é realizada a conexão com outros componentes e o sistema ?	Sem declaração da necessidade pelo usuário.
Econômico - material	Por quanto a empresa pode fornecer o material do componente injetado ?	Deseja-se que o custo de material seja baixo;
Manufaturabilidade do molde	Quais são as principais características associadas a geometria, dimensões, tolerância e aparência do componente dada pelo molde de injeção ? Quais as regiões do componente que podem apresentar dificuldades na manufatura do molde de injeção ? Que tipo de molde de injeção será adotado neste projeto ? Quantas cavidades o molde deverá conter ? O molde de injeção pode apresentar gavetas ? Qual será o tipo de alimentação / injeção de material do componente no molde de injeção ? Que tipo de refrigeração será adotada ? Como será o sistema de extração do componente do molde de injeção ?	Molde com precisão de usinagem mais refinada, tolerâncias dimensionais apertadas, matéria prima mais nobre (e420), precisão dos encaixes e ajustes, acabamento superficial mais elaborado, canais de injeção mais elaborados, nervuras mais finas, fácil manufatura do molde de injeção, necessidade de produção, processo de injeção à frio, refrigeração com água e utilizar extratores padronizados.
Embalabilidade	Como o produto será embalado ? Quais as características da embalagem do produto ?	A unidade central do telefone em embalagem de papelão especial, os demais unidades do telefone que podem ser compradas adicionalmente serão embaladas de forma mais simples, peças de acrílico devem ser embaladas separadamente e shrink para caixa coletiva;
Material - Forma	Quais as formas associadas ao projeto do componente ? Existem formas preferências declaradas pelo usuário ?	Tamanho compacto e peso reduzido
Material - Configurações	Como serão agrupadas os componentes no sistema ? Quais as configurações associadas ao componente - sistema ?	Sem declaração da necessidade pelo usuário.
Material - Dimensões	Quais as dimensões críticas associadas ao componente ? Quais as dimensões máximas do componente ?	A injetabilidade do material deve ser compatível com o molde de injeção e a máquina injetora;
Material - Resistência	Qual o resistência à tração do componente ? Qual a resistência à compressão do componente? Qual a resistência ao impacto ? Qual a resistência a flexão ?	Boa resistência ao impacto
Material - Acabamento	Como será o acabamento superficial do componente ?	Permitir acabamento superficial diferenciado.
Material - Material	Quais as características do material do componente ?	Resistir a interperie, resistir aos raios uv, resistir ao ácido úrico e utilizar materias padronizadosm (abs);
Material - Cor	Qual a cor do componente ?	Permitir variedades de cores;
Material - Peso (massa)	Qual a grandeza do peso (massa) do componente ?	Sem declaração da necessidade pelo usuário.

Com base nestas declarações definiu-se as necessidades de clientes, como sendo:

i) **componente injetado** - permitir a desmontagem do telefone para realizar algum reparo, permitir abertura para realização de manutenção da placa, permitir a troca de bateria do telefone, permitir alojamento da placa, permitir montagem manual, possuir fácil montagem dos componentes, possuir nervuras mais finas, reforçar a parte superior do handset, ser contempladas as normas da manta do teclado, ter castelos que não interferiram na qualidade superficial do componente, ter encaixe mais preciso com menor folga, ter peso reduzido, ter resistência à queda, ter resistência à



umidade do ambiente, ao ácido úrico, ao impacto, possuir identificação do posicionamento para montagem, permitir acabamento superficial diferenciado, ter resistência aos raios ultravioletas, ter acabamento superficial com qualidade superior, ter tamanho compacto e ter boa câmara acústica;

ii) **molde de injeção** - permitir refrigeração com água, ter injetabilidade do material compatível com o molde de injeção, utilizar extratores padronizados, ter canais de injeção elaborados, utilizar materiais padronizados, ter molde de injeção com precisão de usinagem refinada, fácil manufatura do molde de injeção;

iii) **processo de injeção** - injeção a frio, permitir acabamento superficial diferenciado;

iv) **material de injeção** - permitir variedade de cores, ser reciclável, ter injetabilidade do material compatível com a máquina injetora e utilizar material de injeção mais nobre; e,

v) **custo** - ter baixo custo de material, ter baixo custo do componente injetado.

Com o auxílio dos integrantes responsáveis pelas áreas envolvidas no projeto do "Produto B", identificados na etapa 1.1 da metodologia proposta, foram respondidas uma série de questões relacionadas ao próprio produto, processo, molde, material de injeção e adicionais relativas ao projeto do handphone do produto, conforme proposto na metodologia descrita no Capítulo 4.

Nesta análise, considerou-se que tanto a base quanto a tampa do handphone serão injetados no mesmo molde de injeção, conforme esquema ilustrado na figura 7.18.

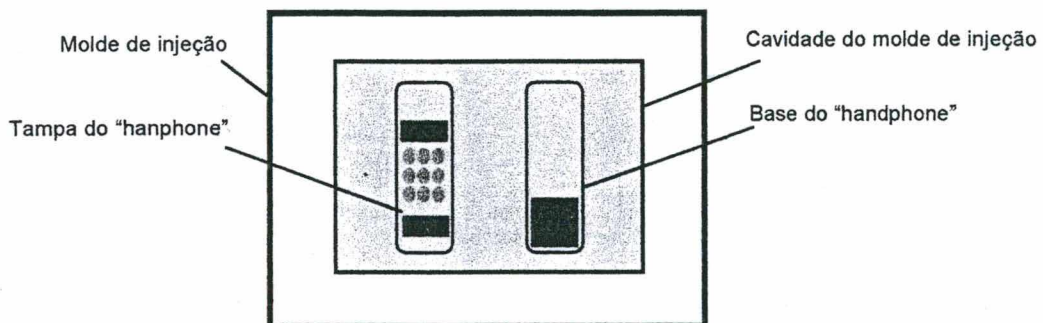


Figura 7.18. Disposição da base e da tampa do handphone no molde de injeção.

As respostas destas questões, transcritas em itálico a seguir, foram alimentadas no SISCOI e auxiliaram o programa a definir as restrições de projeto do handphone do produto.

- **Questões para definir as restrições entre o "handphone" e a placa/meio:**

- **Produto** - Qual a área projetada máxima permitida para os componentes? *43,8 mm x 181 mm, totalizando 7927,8 mm<sup>2</sup>*; Qual a altura máxima permitida para os componentes? *35,5 mm por questões ergonômica definida pelo departamento de marketing (33,5 mm devido as dimensões da placa eletrônica definida pela P & D)*; Qual o comprimento máximo permitido para os componentes? *181 mm por questões ergonômica definida pelo departamento de marketing e devido as dimensões da placa eletrônica definida pela P & D)*; Qual a largura máxima permitida para os componentes? *43,8 mm devido as dimensões da placa eletrônica definida pela P & D (42 mm por questões ergonômica definida pelo marketing com base no produto similar do concorrente Produto C)*;

- **Funcional** - Qual a função principal a ser desempenhada pelo componente? *Alojar as teclas, alojar e proteger os componentes internos*; Quais são as funções auxiliares a serem desempenhadas pelo componente? *Possibilitar que o telefone pare na posição vertical, amplificar o som, recepcionar o som, conectar o hand, conectar o clip-belt, prover ergonomia*;

- **Geométrica** - Quais os princípios utilizados para conectar o componente à placa?

Quatro torres para fixar a placa eletrônica, espaço para antena interna, folga entre a dimensão da tecla e do furo (o projeto da tecla é estabelecido com base na placa), aberturas para contato elétrico entre o handphone e a base fixa, conexão entre a base e a tampa é por parafuso e engate rápido (snap) e acabamento superficial com textura; Geométrica - Quais os princípios utilizados para interagir com o meio? Restrições estabelecidas por normas específicas; Existe alguma limitação com relação a distribuição e venda que determinam as características do componente injetado? Não existe; Existe alguma limitação com relação ao uso que determinam as características do componente injetado? A empresa não autorizou a divulgação desta informação; Existe alguma limitação com relação a retirada que determinam as características do componente injetado? Não existe; Existe alguma limitação com relação ao descarte que determinam as características do componente injetado? Não existe

- **Questões para definir restrições do componente associadas ao processo.** Os

componentes serão injetados na máquina tipo A. Qual a altura mínima entre as placas estacionária e móvel da máquina injetora? 255 mm; Qual a altura máxima entre as placas estacionária e móvel da máquina injetora? 455 mm; Qual a largura das placas da injetora? 654 mm; Qual o comprimento das placas da injetora? 604 mm; Qual a largura entre as colunas da máquina injetora? 403 mm; Qual o comprimento entre as colunas da máquina injetora? 353 mm; Qual o curso de abertura para extração do componente da máquina injetora? 400 mm; Qual é a capacidade máxima de injeção da máquina injetora? 451 g; Qual é a capacidade máxima de plastificação da máquina injetora? 42 g/s; Qual a força de fechamento máxima da máquina injetora? 2090 kN; Qual a capacidade máxima mensal instalada de injeção? Sem informação.

- **Questões para definir restrições do componente associadas ao molde.** Inicialmente,

selecionou-se um molde inadequado para o projeto visando mostrar os recursos implementados. No SISCOI este molde está identificado pelo código S 25 35 SB 01 50. O molde de injeção pode apresentar gavetas? Sim; Qual a largura do molde de injeção? 250 mm; Qual o comprimento do molde de injeção? 350 mm; Qual a altura mínima do molde de injeção? 192 mm; Qual a altura máxima do molde de injeção? 242 mm; Qual o comprimento da cavidade do molde de injeção? 222 mm; Qual a largura da cavidade do molde de injeção? 152 mm; Qual o curso de extração do molde de injeção? 50 mm; Existe alguma limitação com relação ao tipo de injeção? Não

- **Questões para definir restrições do componente associadas ao material:** O material

deve ser hidrocópico? Não; Qual a relação L/D do material de injeção? 14; Qual a resistência mínima do material ao impacto? Sem informação; Qual a resistência mínima do material a fadiga? Sem informação; Qual a resistência mínima do material ao desgaste? Sem informação.

- **Questões para definir restrições do componente associadas a custo:** Qual o custo

direto máximo do componente injetado? Por questões apresentadas previamente, aspectos referentes a custo não foram abordados neste estudo; Qual o preço máximo pago pelo molde de injeção? Como colocado, aspectos de custo não foram abordados neste estudo.

- **Questões adicionais:** Quais as questões referentes a normas técnicas que devem ser

tratadas como restrições de projeto? Devem ser consideradas as normas técnicas específicas.

Como resultado, o SISCOI identificou a seguinte incompatibilidade quando da definição das restrições de projeto - "A altura mínima do molde de injeção (192 mm) deve ser maior do que a altura mínima entre as placas da máquina injetora (255 mm)." Esta análise está ilustrada na figura 7.19.

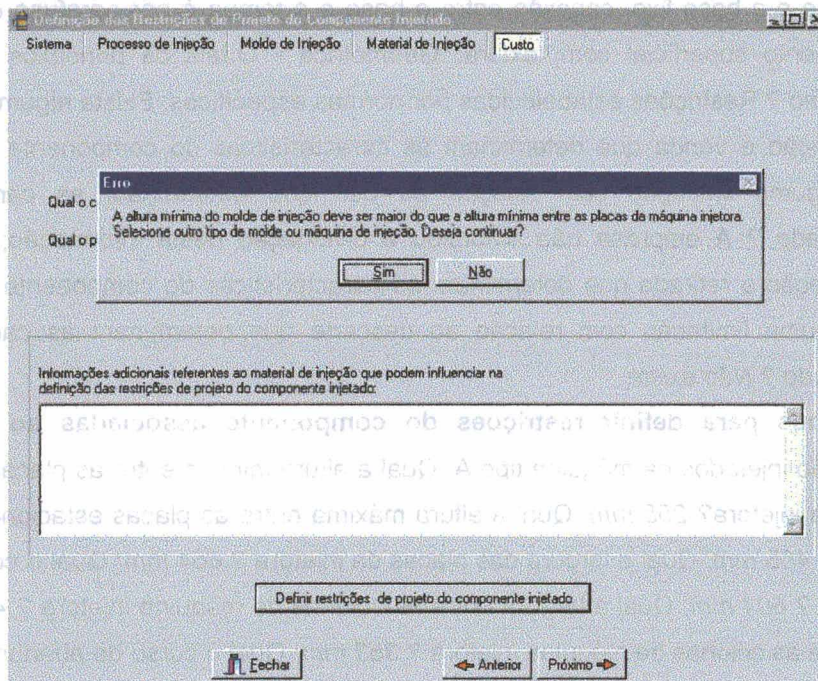


Figura 7.19. Incompatibilidade identificada pelo SISCOI na definição de restrições de projeto.

Para solucionar este problema, selecionou-se um novo tipo de molde com altura mínima maior do que a altura mínima entre as placas da injetora. O novo molde, identificado no SISCOI pelo código S 25.35 SB 19 50, apresenta respectivamente a altura mínima e máxima de 260 e 290 mm. Na figura 7.20 está ilustrada a interface com as informações parciais das restrições de projeto.

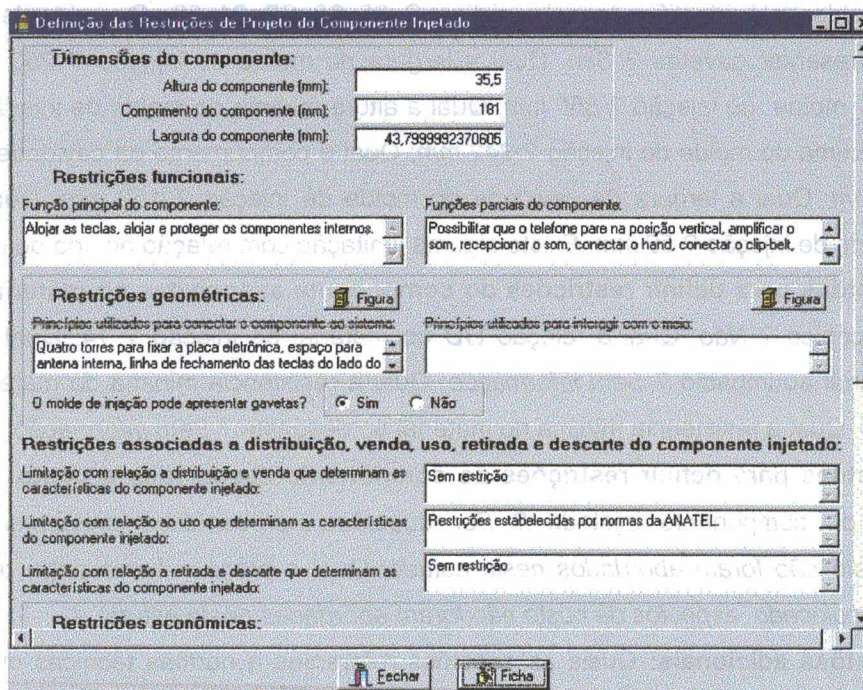


Figura 7.20. Interface com gráfica com as restrições de projeto do produto.

A metodologia proposta possibilitou a análise das informações relativas aos distintos campos de conhecimento de forma integrada, permitindo a definição das restrições de projeto e, simultaneamente, a seleção do porta-molde do "handphone"

Na sequência, considerando as necessidades dos clientes, foram estabelecidos os requisitos de projeto. Para isto, empregou-se a lista de requisitos de projeto apresentada no Anexo G. Estes requisitos estão listados a seguir: i) **componente injetado** - tempo de desmontagem do telefone, tempo de troca de bateria do telefone, tempo de montagem manual, espessura das nervuras, resistência da parte superior do handset, tamanho dos castelos do componente injetado, precisão do encaixe, peso do componente injetado, resistência à queda, resistência à umidade do ambiente, resistência ao ácido úrico, resistência ao impacto, tamanho da identificação para montagem, qualidade do acabamento superficial, resistência aos raios ultravioleta, tamanho do telefone e nível de ruído da câmara acústica do componente injetado; ii) **molde de injeção** - temperatura do molde de injeção, injetabilidade do material com o molde de injeção, número de extratores padronizados, tamanho dos canais de injeção, número de materiais padronizados, precisão de usinagem do molde, tempo de manufatura do molde de injeção; iii) **processo de injeção** - temperatura de injeção do material; iv) **material de injeção** - número de cores, reciclabilidade do material, relação L/D da injetora e qualidade do material de injeção; v) **custo** - custo direto de material, custo direto do molde de injeção, custo direto do processo de injeção.

Segundo a metodologia proposta, a próxima etapa da metodologia proposta envolve a realização de análises sobre as necessidades dos clientes e requisitos de projeto. Neste sentido, em contato com os membros da Empresa B, responsáveis pelo departamento de desenvolvimento de produtos, observou-se que o emprego da Primeira Matriz do QFD é muito pouco difundido. Neste sentido, com o objetivo de possibilitar uma melhor compreensão e entendimento da ferramenta proposta realizou-se um treinamento com as pessoas envolvidas no desenvolvimento destes produtos, para difundir a potencialidade da ferramenta proposta.

Com relação aos conflitos entre os requisitos de projeto, mostrou-se que os mesmos podem ser tratados empregando-se a matriz de contradição da TRIZ e a matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados. Entretanto, em decorrência do desenvolvimento do Produto B encontrar-se em fase de lançamento, estas ferramentas não foram empregadas no estudo de caso.

#### 7.4.1. Considerações finais sobre a aplicação

De forma geral, neste estudo de caso, foram observados aspectos semelhantes àqueles descritos no estudo anterior, entretanto é interessante ressaltar algumas questões.

Com relação à definição das oportunidades de negócio, as questões propostas foram respondidas facilmente. Entretanto, como o projeto do componente injetado inicia-se com informações provenientes do departamento de marketing, muitas das questões apresentadas não foram úteis para o projeto. O objetivo geral do projeto foi definido com base nas informações do departamento de marketing, mas observou-se que, em determinadas nas fases de desenvolvimento do módulo, a equipe de projeto tem entendimento diferente do departamento de marketing. Assim,

considerando o tipo de produto da Empresa B, é pertinente a proposição de um conjunto de questões considerando as suas particularidades. Sugere-se, assim, inicialmente, que sejam realizados estudos de oportunidades de negócio pelo departamento de marketing, contendo as questões relacionadas e outras específicas, visando analisar o conceito do produto. Posteriormente, que seja realizado um estudo do problema contendo informações específicas para o tipo de produto manufaturado pela empresa em questão.

Em se tratando da ferramenta de definição das fases do ciclo de vida do produto propostos mostraram-se importante para se identificar os setores envolvidos em cada fase. A ferramenta proposta mostrou que, com algum aprimoramento, pode ser empregada para gerenciar o desenvolvimento do produto pelos Coordenadores de Projeto. Por outro lado, observou-se que, devido às particularidades relativas ao produto analisado, algumas fases presentes no projeto do telefone não estão presentes no modelo apresentado, uma vez que o modelo proposto não permite adicionar novas fases ao ciclo de vida. Neste sentido, sugere-se utilizar uma estrutura de desdobramento da fase do ciclo de vida do produto, de tal forma que seja possível realizar manipulações maiores (alterações da mesma), procurando considerar as peculiaridades do desenvolvimento do produto da empresa.

Com relação à preparação de informações de custo do componente injetado, o custo-meta do produto é determinado da seguinte forma: i) o departamento de marketing define o custo-meta do produto e o repassa para os coordenadores de projeto; ii) Estes coordenadores repassam o custo meta do Produto B para os responsáveis pelo projeto da parte mecânica e eletrônica que, de acordo com as características deste produto e de produtos similares, propoem valores de custo-meta para a parte mecânica e eletrônica; iii) Os coordenadores, juntamente, com os responsáveis pelo projeto mecânico e eletrônico do produto procuram acordar sobre os valores de custo-meta estabelecidos, de modo a contemplar o custo meta do produto. Em virtude deste aspectos, a questão da definição do custo meta do componente injetado não foi abordada neste estudo de caso.

No levantamento das necessidades dos clientes, as questões apresentadas auxiliaram na determinação na execução da tarefa, fato que impulsionou a equipe de projeto a adotar este procedimento no projeto de novos produtos. Entretanto, observa-se que seria pertinente a elaboração de questões específicas ao domínio de projeto.

O processo de definição das restrições de projeto mostrou-se adequado em virtude de questões relacionadas ao processo, molde, material de injeção e custo serem determinadas numa fase inicial de processo, evitando problemas nas demais fases do desenvolvimento do produto.

Em se tratando da Primeira Matriz do QFD, como colocado, a empresa não tem por hábito utilizar esta ferramenta de projeto. Entretanto, em treinamento ministrado, os participantes mostraram interesse pelo emprego da mesma no projeto de produtos, principalmente, devido à facilidade de integrar o conhecimento de especialistas, visualizar um mesmo problema sobre diferentes pontos de vista, identificar conflitos no projeto do produto, realizar avaliação dos produtos concorrentes em relação às necessidades dos clientes e requisitos de projeto, enfim, obter um melhor entendimento do problema de projeto do produto. Por outro lado, os participantes criticaram a complexidade da ferramenta e que, para sua efetiva aplicação, torna-se necessário decisões gerenciais.

O emprego da matriz de contradição da TRIZ e da matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados, segundo os preceitos da metodologia proposta, foi apresentado para a equipe de projeto da empresa. Apesar destas ferramentas não terem sido empregadas, foram discutidas suas potencialidades, visando à alimentação, à manipulação e à consideração de conhecimento de especialistas no processo de desenvolvimento de produtos.

Em suma, a metodologia proposta mostrou uma série de informações e ferramentas que podem ser empregadas no projeto do componente injetado de forma sistemática. O emprego do SISCOI auxiliou na operacionalização da metodologia proposta.

### 7.5. Aplicação 3: Estimativa de Custo da Base de Um Conjunto Ótico

Esta aplicação, realizada com base nas informações providas pela empresa Nothnagel Thermoplastsysteme AG, tem o objetivo de avaliar na metodologia proposta, com relação ao processo de estimativa de custo de componentes injetados e verificar a aplicação do programa computacional SisCusto, desenvolvido para facilitar a operacionalização desse processo.

Para isto, como ilustrado na figura 7.21, considerou-se o projeto do "Componente 3", sendo os produtos similares o "Componente 1" e o "Componente 2", os quais fazem parte de um conjunto ótico para fixação de lanternas em motocicletas. O componente 2 apresenta uma pintura metálica na sua superfície, entretanto os custos relativos a aplicação desta pintura não serão considerados neste estudo. Para elaborar este estudo, abstraiu-se das informações disponíveis sobre o componente em desenvolvimento (Componente 3), considerando o elevado nível de abstração das informações disponíveis na fase de projeto conceitual.



Figura 7.22. Componentes empregados para o estudo de caso de estimativa de custo.

O estudo de caso envolveu, na fase de projeto, a etapa de preparação de informações para estimar o custo de componentes injetados, isto é, o levantamento de informações de produtos similares, definição do custo meta e desdobramento do custo do componente injetado.

Para realizar este estudo de caso, a empresa Nothnagel Thermoplastsysteme AG forneceu dados de custo dos componentes citados. Estes dados, descritos na tabela 7.35, são um referencial para analisar os resultados obtidos com a aplicação dos métodos de estimativa de custos de componentes injetados, propostos no Capítulo 4 desta Tese.

Tabela 7.35. Informações sobre os componentes injetados similares.

1. ESPECIFICAÇÃO DO COMPONENTE INJETADO	COMPONENTE 1	COMPONENTE 2
1.2. Largura máxima do componente (mm)	67,50	64,00
1.3. Comprimento máximo do componente (mm)	60,00	52,00
1.4. Altura máxima do componente (mm)	24,00	37,00
1.5. Peso do componente (g)	12,28	12,90
1.6. Volume do componente (mm <sup>3</sup> )	10237,5	10750,0
1.7. Espessura máxima da parede do componente (mm)	4,00	4,50
1.8. Custo direto unitário do componente injetado (R\$)	0,2416	0,2781
2. ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL DE INJEÇÃO	PC	PC
2.1. Custo de material / Kg (R\$ /kg)	4,20	4,20
2.2. Temperatura de injeção (°C)	302,00	302,00
2.3. Temperatura de extração (°C)	127,00	127,00
2.4. Densidade do material (Kg / m <sup>3</sup> )	1200,00	1200,00
2.5. Difusividade térmica do material (mm <sup>2</sup> /s)	0,13	0,13
2.6. Custo direto unitário de material (R\$)	0,0515	0,05418
3. ESPECIFICAÇÃO DO MOLDE DE INJEÇÃO		
3.2. Número de placas	2	2
3.3. Temperatura do molde de injeção (°C)	91,00	91,00
3.4. Tipo de canal de injeção	Quente	Quente
3.5. Número de cavidades do molde	2	4
3.6. Custo da base do molde (R\$)	3400,00	4700,00
3.7. Custo da cavidade do molde (R\$)	36630,00	93060,00
3.8. Produção de componente na vida do molde	1.000.000	1.000.000
3.9. Custo direto do molde por componente (R\$)	0,0400	0,0977
4. ESPECIFICAÇÃO DA MÁQUINA INJETORA	ES200-45HL-S	ES330-60HL-ST
4.1. Força de fechamento da máquina (t)	45	80,00
4.2. Abertura da máquina (mm)	200	300,00
4.3. Pressão de injeção (N/mm <sup>2</sup> )	1996	2956,96
4.4. Potência da injetora (kW)	45,91	48,79
4.5. Tempo de ciclo seco (s)	2,10	3,00
4.6. Número de operadores por máquina	1	1
4.7. Vazão de injeção (m <sup>3</sup> /s)	2,30 . 10 <sup>-5</sup>	1,65 . 10 <sup>-5</sup>
4.8. Tempo de injeção do componente (s)	0,890	1,303
4.9. Tempo de aplicação da pressão de recalque (s)	0,178	0,260
4.10. Tempo de resfriamento do componente (s)	30,769	38.942
4.11. Tempo de reset (s)	3,572	4,375
4.12. Custo direto da máquina por hora (R\$/h)	30,50	40,50
4.13. Custo direto unitário do processo de injeção (R\$)	0,1499	0,1262

A estimativa do custo direto unitário do componente injetado iniciou-se com o levantamento de informações de produtos similar, sendo levantadas informações sobre: espessura da parede do componente, profundidade do componente, volume do componente, peso do componente e a quantidade produzida no ciclo de vida do molde de injeção, material, molde e custos destes produtos similares.

Em se tratando do componente injetado em desenvolvimento, considerando o nível de abstração das informações disponíveis na fase de projeto conceitual, como ilustrado na figura 7.22, também foram levantadas as informações citadas anteriormente.

Nome do Produto	Valor	Unidade
Componente 3		
Origem	<input checked="" type="radio"/> Produto Novo	
Espessura da Parede	4	mm
Profundidade	40.5	mm
Volume do Componente	1.72375E-5	m <sup>3</sup>
Peso	0.020685	Kg
Raio do Cilindro	0	mm
Quantidade Produzida	1000000	unidades
Características	Componente injetado em desenvolvimento.	

Figura 7.22. Interface com informações do componente injetado novo.

É importante considerar que, a obtenção de algumas destas informações pode se tornar complexa, entretanto, muitas foram obtidas nas distintas etapas da fase de projeto informacional (por exemplo, preparação de informações de custo, levantamento das necessidades dos clientes, definição dos requisitos de projeto, entre outras). Para auxiliar na identificação dessas informações também podem ser realizadas análises comparativas com os produtos similares.

Na seqüência, como ilustrado na figura 7.23, as informações de custo, tais como, preço, lucro, custo de operação, manutenção, retirada, descarte e custo direto unitário do componente injetado são apresentados, possibilitando a determinação do custo meta do componente novo. Como descrito na tabela 7.35, os custos diretos unitários dos componentes injetados 1 e 2 são apresentados na figura 7.23.

Segundo a metodologia proposta, em sua fase informacional, a equipe de projeto, empregando o método baseado no custo ou o método baseado no preço, pode definir o custo meta do componente injetado em desenvolvimento. Neste sentido, considerando as informações dos componentes 1 e 2, definiu-se um custo meta de R\$ 0,30 e um lucro unitário de R\$ 0,4 para o componente injetado novo, empregando o método com base no preço.



Definição do Custo Meta

Visualização de Informações | Definir Custo Meta

Produto Similar Concorrência		Custos					
Nome	Preço Unitário	Lucro Unitário	Operação	Manutenção	Retirada	Descarte	Direto Unitário do Componente
Componente 1	0,5	0,3	0	0	0	0	0,2416
Componente 2	0,7	0,4	0	0	0	0	0,2781

Produto Similar Empresa

Nomes							
Componente	Material	Máquina	Preço Unitário	Lucro Unitário	Custo Meta	Custo Material/Kg	CDU Material

Processos Adicionais

Nome Produto Similar	
Nome Processo Adicional	
Custo/h	

**Fechar**

Figura 7.23. Interface para definição do custo meta do componente injetado.

Como proposto na fase de projeto informacional, realizou-se o desdobramento do custo do componente injetado. A interface implementada para auxiliar o desdobramento de custo, ilustrada na figura 7.27, permitiu que a equipe de projeto tivesse disponível informações e custos relacionados ao ciclo de vida dos componentes injetados similares, assim como, o preço, o custo-meta e lucro do componente injetado em desenvolvimento.

Com base nestas informações e considerando as proposições da Etapa 2.2 da metodologia apresentada no Capítulo 4, iniciou-se o processo de estimativa de custo do componente novo. Neste estudo, como estão disponíveis informações sobre os produtos similares, optou-se por empregar o método da similaridade para estimar o custo do componente em desenvolvimento.

Como ilustrado na figura 4.24, na interface implementada para auxiliar a estimativa do custo do material, em sua parte superior, são apresentadas as informações e os custos dos componentes injetados similares 1 e 2, como descrito na tabela 7.35. Esta seleção ocorreu, principalmente, em virtude da volume dos componentes serem similares. Assim, considerando que o componente injetado 2 apresenta uma similaridade maior em relação ao componente novo e empregando a equação (4.8), (4.9) e (4.10), o SisCusto determinou que o custo direto unitário de material de injeção do componente novo é R\$ 0,086877.

Neste caso, é importante observar que, como o processo de injeção ocorre a frio, o valor do volume do canal do componente novo é diferente de zero, ao se selecionar o componente injetado similar essa situação deve ser levada em conta.

Estimativa do Custo de Material

**ESTIMATIVA DO CUSTO DE MATERIAL DO COMPONENTE INJETADO**

**Características dos Produtos Similares**

Nome	Volume do Canal (m³)	Volume do Componente (m³)	Custo po
Componente 1	0	1.07375E-5	4.2
Componente 2	0	1.075E-5	4.2

**Características do Produto em desenvolvimento**

Nome	Componente 3
Volume do Canal (m³)	0
Volume do Componente (m³)	1.72375E-5
Custo por Kg (R\$/Kg)	4.2
Densidade (Kg/m³)	1200
Número de Cavidades	2

Estimar Custo de Material    Editar Produto Similar    Editar Produto Novo

**CUSTO DIRETO UNITÁRIO DO COMPONENTE INJETADO (R\$)**

0.0868    OK

Figura 7.24. Interface de estimativa do custo direto unitário de material do componente injetado.

Com relação ao custo do processo de injeção, como ilustrado na figura 7.25, também selecionou-se o componente 2, como sendo aquele similar ao componente novo. A seleção desse produto ocorreu, principalmente, em virtude do número de cavidades do molde de injeção e tipo de máquina injetora serem similares. Como resultado, considerando as equações (4.18), (4.19), (4.20), (4.21), (4.22) e (4.23), o programa SisCusto forneceu à equipe de projeto o valor de custo direto unitário do processo de injeção do componente novo igual a R\$ 0,1537.

Estimativa de Custo do Processo de Injeção

**ESTIMATIVA DO CUSTO DO PROCESSO DE INJEÇÃO DO COMPONENTE INJETADO**

**Características dos Produtos Similares**

Produto	Processo	Material	Molde	Custo
Componente 1				
Componente 2				

**Características dos Produtos**

Nome do Produto	Profundidade (mm)	Espessura da Parede (mm)
Componente 1	24	4
Componente 2	37	4,5

**Características do Componente Injetado em Desenvolvimento**

Nome do Produto	Componente 3
Nome do Material	PC - Polycarbonate
Densidade (Kg/m³)	1200

Estimar Custo do Processo    Editar Produto Novo    Editar Produto Similar

**CUSTO UNITÁRIO DO PROCESSO DE INJEÇÃO DO COMPONENTE (R\$)**

0.1537    OK

Figura 7.25. Interface de estimativa do custo direto do processo de injeção do componente injetado.

Segundo a metodologia proposta, a estimativa do custo direto unitário do molde de injeção do componente injetado constitui a próxima tarefa do processo de estimativa de custo. De acordo com a abordagem desta Tese, o custo do molde de injeção é considerado uma informação de entrada. Como ilustrado na figura 7.26, devido ao fato do custo do molde de injeção ser uma informação de entrada, o custo direto unitário do molde de injeção é obtido dividindo o custo do molde de injeção pelo número de componentes produzidos. Portanto, neste estudo de caso, o custo direto unitário do molde de injeção estimado, considerando uma produção de 1.000.000 de componentes é de R\$ 0,0477. Ou, de outra forma, o custo estimado do molde de injeção é de R\$ 47700,00. O custo do molde de injeção dos componentes similares é apresentado com o objetivo de orientar a determinação do custo do molde de injeção.

**ESTIMATIVA DE CUSTO DO MOLDE DE INJEÇÃO DO COMPONENTE INJETADO**

**Características dos Produtos Similares**

Produto Similar	Custo do Porta Molde	Custo das Cavidades	Custo do Molde (R\$)
Componente 1	3400	44300	47700
Componente 2	4700	44300	47700

**Características do Produto em Desenvolvimento**

Nome do Produto	Componente 3
Custo do Porta Molde (R\$)	3400
Custo da Cavidade do Molde (R\$)	44300
Custo do Molde de Injeção (R\$)	47700
Quantidade Produzida	1000000

Estimar Custo do Molde

**CUSTO DIRETO UNITÁRIO DO MOLDE DE INJEÇÃO DO COMPONENTE INJETADO (R\$)**

0.0477

OK

Figura 7.26. Interface de estimativa do custo direto unitário do molde de injeção do componente.

Os resultados de custo direto unitário do material, do processo e do molde de injeção do componente injetado similar podem ser visualizados na interface de resultados, semelhante àquela apresentada na figura 6.14, e também na interface de desdobramento dos custos do ciclo de vida de componentes injetados, a qual está ilustrada na figura 7.28. Neste estudo, como resultado, tem-se o valor de custo direto unitário do componente injetado igual a R\$ 0,28709.

Neste caso, são apresentados os custos dos componentes injetados similares, informados na interface de entrada de dados e, os valores resultantes da estimativa de custo do componente injetado em desenvolvimento. Assim, considerando estes resultados, a equipe de projeto pode realizar comparações entre os resultados obtidos, procurando identificar alguma incoerência ou incompatibilidade.

Desdobramento do Custo do Ciclo de Vida do Componente Injetado

**Custos do Ciclo de Vida do Componente Injetado**

Nome do Componente	Produtos Similares		
	Componente	Componente 1	Componente 2
Custo de Material por Kg	4.2	4.2	4.2
Custo direto unitário do Material de Injeção	0.0968	0.0515	0.0541
Custo direto por hora Máquina	30.5	30.5	40.5
Custo direto unitário do Processo de Injeção	0.1525	0.15	0.1262
Preço do Porta-Molde	3400	3400	4700
Custo da Cavidade do Molde de Injeção	44300	36630	93060
Custo direto unitário do Molde de Injeção	0.0477	0.04003	0.0977
Custo direto Unitário dos Processos Adicionais	0	0	0
Custo direto unitário de Manufatura	0.2870	0.2416	0.2781
Custo direto unitário de Embalagem	0	0	0
Custo direto unitário de Transporte	0	0	0
Custo direto unitário de Operação	0	0	0
Custo direto unitário de Manutenção	0	0	0
Custo direto unitário de Retirada	0	0	0
Custo direto unitário de Descarte	0	0	0
Custo Meta	0.8	0.2	0.3
Lucro Unitário	0.5	0.3	0.4
Preço Unitário	0	0.5	0.7
<b>Custo Direto Unitário do Componente</b>	<b>0.2870</b>	<b>0.2416</b>	<b>0.2781</b>

Confirmar Fechar

Figura 7.27. Interface de desdobramento de custo de componentes injetados.

Como pode ser observado, ao final do processo de estimativa de custo, considerando o desdobramento da estrutura de custo do componente injetado, a equipe de projeto conseguiu comparar e avaliar o valor do custo estimado do produto em desenvolvimento com os respectivos custos dos componentes injetados similares.

Finalmente, o valor de custo estimado pode ser comparado ao valor de custo meta. Para isto, segundo a metodologia proposta, devem ser consideradas as possíveis abordagens de custo. Neste estudo de caso, considerou-se a abordagem de projeto para o mínimo custo, e como o valor de custo estimado é menor que o custo meta, o projeto do componente injetado está de acordo com os princípios desta abordagem.

### 7.5.1. Considerações finais sobre a aplicação

De uma forma geral, o desenvolvimento deste estudo de caso, mostrou que a metodologia proposta e o programa SisCusto auxiliaram a equipe de projeto na preparação de informações e a estimativa de custo do componente injetado mostrou-se adequada.

As interfaces do SisCusto elaboradas para auxiliar a operacionalização das tarefas de levantamento de informações de produtos similares, assim como, do produto em desenvolvimento orientam a equipe de projeto a determinar o tipo de informação necessária para definir o custo meta e estimar o custo do componente injetado.

Por outro lado, por se tratar de um software protótipo e um desenvolvimento inicial neste segmento, o aprimoramento do SisCusto deve ocorrer no sentido de desenvolver recursos e facilidades para que a equipe de projeto possa fazer inferências sobre as informações disponibilizadas sobre os produtos similares, de modo a facilitar a estimativa do custo do produto.

Neste estudo de caso, em virtude da disponibilidade de informações de produtos similares, optou-se pelo método da similaridade para estimar o custo do produto. Ao final, considerando o desdobramento da estrutura de custo do componente injetado, a equipe de projeto pode comparar e avaliar o valor do custo estimado do produto em desenvolvimento com os respectivos custos dos componentes injetados similares.

Num segundo momento, evoluções do SisCusto podem ser realizadas para integrar seus recursos com outras ferramentas de projeto, tais como, o SISCOI. Também, o programa poderia ser implementado utilizando tecnologia WEB Based, no caso do projeto do componente ser realizado em ambiente colaborativos, funcionando on-line com fornecedores de matéria prima e molde de injeção. Além disto, os recursos implementados podem ser associados às informações de programas de gerenciamento de custos empresariais, conforme o modelo apresentado por Liebers e Kals (1997).

## 7.6. Considerações Finais

Neste capítulo, foram apresentados estudos de casos referentes à aplicação da metodologia de projeto e estimativa de custos no desenvolvimento de componentes injetados. De forma geral, a metodologia proposta possibilitou à equipe de projeto, definir as especificações de projeto, gerar as alternativas de concepção, estimar o custo das concepções e selecionar a melhor concepção do componente injetado, segundo os princípios da Engenharia Simultânea.

Os programas computacionais SISCOI e SisCustos mostraram-se adequados para apoiar, respectivamente, o processo de definição das especificações de projeto e estimativa de custo de componentes injetados.

## CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES

### 8.1. Introdução

Neste capítulo, são apresentadas as considerações finais relativas à proposição da metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados. Nesta apresentação, inicialmente, são descritos comentários gerais sobre o trabalho desenvolvido e, na seqüência, são abordados aspectos específicos sobre as ferramentas propostas, o desenvolvimento dos estudos de casos e a implementação dos programas computacionais.

### 8.2. Conclusões Gerais

A proposição de uma metodologia de projeto incorporando aspectos de estimativa de custo de componentes injetados, em suas fases iniciais, dentro do contexto da Engenharia Simultânea, considerando a multidisciplinaridade e a interdisciplinaridade das informações provenientes do conhecimento de especialistas da engenharia de projeto do produto, processo de injeção, molde de injeção, material de injeção e custo, constituiu o objetivo principal desta Tese.

Como resultado desta Tese, na fase de projeto informacional, foram apresentados recursos para definir as especificações de projeto do componente injetado. Por sua vez, na fase de projeto conceitual, foram disponibilizados recursos para gerar, estimar o custo e selecionar a concepção do componente injetado. Considerando o contexto desta Tese, assim como estas proposições e desenvolvimentos, podem ser realizadas as seguintes inferências finais:

- **A natureza multidisciplinar das informações** foi contemplada nas fases de projeto informacional e conceitual do componente injetado. Na fase informacional, as ferramentas de definição das necessidades dos clientes, das restrições e dos requisitos de projeto possibilitaram que informações oriundas de distintos campos de conhecimento pudessem ser consideradas de forma integrada e simultânea. Na fase de projeto conceitual, a consideração de estratégias de combinação e eliminação de princípios de solução, associadas a características do próprio produto, processo, molde e material de injeção, contribuíram para gerar alternativas de concepção, considerando a multidisciplinaridade das informações. O mesmo aspecto, pode ser observado nas etapas de estimativa de custo e seleção da alternativa de concepção do componente injetado.

- **A natureza interdisciplinar das informações** foi satisfeita nas proposições realizadas, uma vez que foram apresentadas ferramentas de projeto que permitiram analisar, simultaneamente, as informações provenientes de distintas áreas de conhecimento. Por exemplo, considerando estas informações de forma integrada, se pode identificar as dependências e as interdependências entre os requisitos de projeto na Matriz de Correlação da Primeira Matriz do QFD. A ferramenta de definição das restrições de projeto de componentes injetados permitiu analisar e compatibilizar a interdisciplinaridade das informações. Outro exemplo, pode ser observado no emprego de estratégias

de eliminação de princípios de solução da Matriz Morfológica com base em restrições de projeto do componente injetado.

- O **conhecimento tácito de especialistas** foi contemplado na metodologia proposta, uma vez que, na Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados, por intermédio das regras, estratégias e princípios de solução, considerou-se a experiência de especialistas desta área. Esta característica também pode ser observada no processo de geração de alternativas de concepção do componente injetado, com base nestas informações.

- O **conhecimento explícito de especialistas**, da mesma forma, foi contemplado na metodologia proposta, principalmente, na proposição da Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados. É importante ressaltar que a abordagem proposta possibilitou a consideração deste conhecimento de forma integrada, segundo os preceitos da Engenharia Simultânea. A proposta de empregar a Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados, juntamente, com a Matriz de Correlação do QFD permitiu integrar de forma mais eficaz as informações de projeto com o conhecimento de especialistas, possibilitando a consideração de situações particulares de projeto. Como consequência, se pode evitar as soluções de compromisso para o componente injetado, buscando soluções que contemplem os requisitos de projeto em sua integralidade.

- Os **aspectos econômicos do componente injetado**, foram contemplados por intermédio das ferramentas de preparação de informações no programa SISCOI e estimativa de custo no programa SisCusto, apoiado num processo metodológico de desenvolvimento de produto com foco em custo. Na fase de projeto informacional, a metodologia proposta e as ferramentas implementadas permitiram preparar informações de custo, levantar informações de produtos similares, definir o custo-meta e desdobrar os custos do ciclo de vida do componente injetado. Esta abordagem permitiu que, desde as fases iniciais do desenvolvimento do produto, aspectos de custo do componente pudessem ser considerados e, ao mesmo tempo, a equipe de projeto tivesse disponível recursos para analisar, estimar e avaliar o custo do componente em desenvolvimento. Este fato pode ser comprovado na ferramenta de projeto de desdobramento do custo do componente injetado que, permitiu considerar os custos diretos de componentes injetados nos requisitos de projeto da Primeira Matriz do QFD. Na fase de projeto conceitual, os custos dos componentes injetados, com os recursos propostos, puderam ser analisados ainda na fase de geração das alternativas de concepção, assim como estimados e avaliados na etapa de seleção da melhor concepção para o componente injetado. Por outro lado, também pode ser observado que, o elevado nível de abstração das informações continua sendo uma barreira para se realizar avaliações e estimativa de custos nas fases iniciais de projeto. O emprego de um método de seleção de concepção, que permite considerar critérios mais subjetivos, auxiliou na avaliação de parâmetros de projeto difíceis de serem quantificados (por exemplo, estética) e que possam apresentar imprecisões (por exemplo, custo estimado do componente). Neste último caso, podem ser empregadas faixas de valores de custo para avaliar o produto.

Analisando a **fase de projeto informacional**, em termos do processo de projeto, pode-se concluir que:

- A metodologia proposta mostrou-se bastante adequada para o desenvolvimento de componentes injetados, uma vez que foram apresentadas uma série de ferramentas de projeto que consideraram informações multidisciplinares e interdisciplinares de forma integrada e simultânea, além das características e peculiaridades associadas ao desenvolvimento destes produtos, as quais foram ressaltadas nos Capítulos 1 e 2 desta Tese.

- A execução do processo de definição das especificações de projeto, etapa a etapa, tarefa a tarefa, pode tornar-se o processo de desenvolvimento do produto, um pouco lento. Por outro lado, é importante ressaltar que, justamente nas fases iniciais de projeto devem ser empreendidos maiores esforços no desenvolvimento do produto, de modo a evitar possíveis problemas em etapas posteriores do desenvolvimento do produto.

- Analisando a aplicação da metodologia proposta em ambientes industriais, nota-se a necessidade do desenvolvimento de modelos customizados para as mesmas, levando em conta as características das empresas e procurando integrar o desenvolvimento de componentes injetados com outros produtos do portfólio da empresa. Este fato pode ser observado, no resultado do estudo dirigido, elaborado na Empresa B.

Analisando a **fase de projeto conceitual**, em termos do processo de projeto, pode-se concluir que:

- A metodologia proposta, em termos das suas etapas, apresentou uma semelhança com o projeto de sistemas técnicos, entretanto é importante ressaltar que o desencadeamento destas etapas mostrou-se mais complexo e apresentou alguns pontos críticos, os quais procuraram ser contemplados pela metodologia proposta e estão analisados a seguir.

- Na geração de componentes injetados, um dos pontos mais críticos referiu-se à própria geração da forma do produto. Neste sentido, o emprego de informações oriundas das especificações de projeto, especialmente das diretrizes e restrições de projeto, possibilitou que a geração das alternativas de concepção fosse realizada com base num conjunto de regras, recomendações e princípios de solução típicos de projeto de componentes injetados. O emprego de métodos de criatividade, juntamente com informações das especificações de projeto, permitiu explorar a viabilidade técnica e econômica das concepções geradas com maior propriedade. Como resultado, espera-se que se tenha minimizado a necessidade de realizar alterações futuras no projeto do produto e que a concepção resultante apresente características que facilitem o processo de injeção, a manufatura do molde de injeção, assim como possua um valor de custo adequado.

- Em termos econômicos, são apresentados os métodos do ciclo de vida e da similaridade para estimar o custo das alternativas de componentes injetados. No estudo de caso, estes métodos auxiliaram a determinar o valor do custo da concepção do componente novo, considerando o elevado nível de abstração das informações, assim como a pouca quantidade de informações disponíveis sobre as mesmas na fase de projeto conceitual.

- Na seleção da alternativa de concepção para o componente injetado, o emprego do método multicritério proposto permitiu considerar aspectos técnicos e econômicos relacionados às especificações de projeto, levando em conta as possíveis abordagens de custo e o valor de custo-meta do componente injetado. Além disto, a abordagem proposta permitiu avaliar critérios subjetivos



(por exemplo, qualidade do acabamento superficial, coloração, entre outros), os quais são comuns nas fases iniciais de projeto, através de uma escala numérica de valores, tornando o processo de tomada de decisão mais criterioso. Além disto, com esta proposição, a equipe de projeto pode participar efetivamente "construindo" os critérios de avaliação e, assim, definir parâmetros de avaliação de modo mais criterioso e fundamentado.

De forma geral, na metodologia proposta, são apresentados uma série de etapas, tarefas e ferramentas que auxiliam a definição das especificações de projeto do componente injetado, assim como, a obtenção de uma solução conceitual para o produto, considerando aspectos técnicos e econômicos, segundo os preceitos da Engenharia Simultânea.

### 8.3. Conclusões Específicas

Nesta seção são apresentadas as considerações finais referentes à proposição das ferramentas de projeto, propostas para auxiliar a operacionalização da metodologia de projeto e estimativa de custo de componentes injetados; assim como, sobre os programas computacionais SISCOI e SisCusto.

As ferramentas de projeto propostas permitiram e auxiliaram a condução e a operacionalização do processo de desenvolvimento de componentes injetados, viabilizando e efetivando a obtenção de soluções de projeto. Neste sentido, as ferramentas propostas cumprem com os objetivos declarados nesta Tese pois, como mostrado nos estudos de caso, indicam "como" a equipe de projeto deve fazer para conceber o produto.

Desta forma, com relação as ferramentas de projeto pode-se inferir que:

- **Formulários de definição do objetivo do projeto:** o estudo das oportunidades de mercado, permitiu ter uma visão holística do processo de desenvolvimento do componente injetado. Ao mesmo tempo, possibilitou a definição clara do objetivo a ser alcançado com o projeto do componente injetado;
- **Estrutura de desdobramento do ciclo de vida de componentes injetados:** possibilitou que distintos aspectos (informações, pessoas envolvidas, atividades, entre outras) relacionados ao ciclo de vida do produto pudessem ser previamente identificados, constituindo uma orientação para a elaboração das demais etapas de projeto. A sua relação com a estrutura de desdobramento de custo do componente permitiu classificar os custos do produto e, considerar os custos diretos no projeto;
- **Formulários de preparação de informações de custo e estrutura de desdobramento de custos:** as informações econômicas sobre o componente injetado puderam ser levantadas no início do processo de projeto. Assim, com o conhecimento do custo-meta e dos custos do ciclo de vida do componente injetado, na fase de projeto informacional, essas informações foram tratadas de forma mais eficaz na fase de projeto conceitual. A relação da estrutura de desdobramento de custo do componente injetado com a ferramenta de estabelecimento dos requisitos de projeto permitiu levar em conta aspectos econômicos no projeto do produto;

- **Questionário estruturado para estabelecimento das necessidades dos clientes:** através de uma série de questões multidisciplinares, estabelecidas com base na estrutura de atributos de componentes injetados, possibilitou o levantamento de informações (necessidades) dos clientes (especialistas) das áreas de projeto, processo, molde, material de injeção e custo do componente;

- **Check-list estruturado de definição das restrições de projeto de componentes injetados:** a introdução do conceito de restrições de projeto, permitiu considerar, de forma mais efetiva, uma categoria especial de necessidades dos clientes, isto é, aquelas que devem ser necessariamente ou obrigatoriamente satisfeitas no projeto de componentes injetados.

Como foi colocado, o projeto de componentes injetados pode estar relacionado ao desenvolvimento de sistemas técnicos e, inicia-se considerando um processo de manufatura previamente especificado. Como consequência, são introduzidas restrições associadas ao produto, processo, molde, material de injeção e custo. Entretanto, no projeto desses produtos, comumente ocorrem problemas relacionados à manufatura do molde e moldabilidade do componente pois restrições associadas ao processo de manufatura são consideradas de forma inadequada e isolada no projeto do produto. Neste sentido, a ferramenta proposta permitiu que informações multidisciplinares pudessem ser analisadas de forma integrada.

- **Lista de requisitos de projeto do componente injetado:** assim para as necessidades dos clientes, auxiliou no levantamento de informações multidisciplinares associadas ao desenvolvimento de componentes injetados;

- **Primeira Matriz do QFD:** pôde ser considerada uma das principais ferramentas integradoras do conhecimento de especialistas dos distintos campos de conhecimento envolvidos no projeto do componente injetado. Na matriz de relacionamento do QFD, ao se relacionar as necessidades dos clientes com os requisitos de projeto, os especialistas podem adquirir maior conhecimento sobre as áreas envolvidas no projeto do produto. As análises de benchmarking, realizadas sobre as necessidades dos clientes e requisitos de projeto, permitiram comparar produtos similares de forma sistemática, segundo o julgamento de clientes (usuários) e especialistas envolvidos no projeto do produto. As análises da dificuldade de implementação técnica e econômica possibilitam à equipe de projeto identificar, antecipadamente, pontos nos quais esforços de natureza técnica e econômica devem ser concentrados visando ao desenvolvimento do produto.

Outra contribuição do emprego desta ferramenta referiu-se à matriz de correlação do QFD, pois permitiu avaliar a interdisciplinaridade das informações, procurando identificar as dependências e interdependências entre os requisitos de projeto, que são expressas através das correlações do tipo negativas ou fortemente negativas. Nestas situações, a equipe de projeto acaba buscando as soluções de compromisso, situação que não se mostra a mais adequada, uma vez que os conflitos entre os requisitos de projeto continuam existindo. Com o objetivo de buscar uma solução para estes conflitos, introduziram-se as ferramentas da matriz de contradição da TRIZ e da matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados.

- **Quadro de especificações de projeto de componentes injetados:** possibilitou que fossem estabelecidas metas para os requisitos, assim como, a interpretação destes requisitos em termos de saídas desejadas e indesejadas;

- **Teoria da solução inventiva de problemas (TRIZ):** a proposição do emprego dessa ferramenta no projeto de componentes injetados, principalmente, por meio do relacionamento das suas informações com os requisitos de projeto de componentes injetados, auxiliou na busca de soluções para o produto, de modo a eliminar o conflito entre os requisitos de projeto. Essa matriz mostrou ser um base de conhecimento genérica de soluções que podem ser aplicadas no projeto de produtos em geral, portanto, acabou não considerando informações típicas de projeto de componentes injetados. Além disto, esta matriz não permitiu a introdução de novas informações na sua base de conhecimento.

- **Matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados:** esta matriz mostrou ser uma base de informações, que contém registradas o conhecimento tácito e explícito de especialistas, estruturada com o objetivo de ser empregada de forma mais eficaz no projeto de componentes injetados. Da mesma forma, o emprego desta matriz, juntamente com a Matriz de Correlação do QFD, permitiu integrar de modo mais eficaz as informações de projeto com o conhecimento de especialistas, possibilitando considerar situações particulares de projeto. Como consequência, a equipe de projeto pôde evitar as soluções de compromisso para o componente.

Além disto, o conhecimento tácito e explícito de especialistas, adquirido em novos projetos, isto é, novas experiências, regras, princípios de solução e estratégias, pode ser adicionado à base de conhecimento da matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados. Esse fato pode ser observado no SISCOI, através da interface de manipulação de conhecimento.

Enfim, esta ferramenta mostrou-se um meio efetivo de considerar o conhecimento multidisciplinar e interdisciplinar de especialistas, no projeto de componentes injetados.

- **Matriz de identificação das funções, lista de funções, ícones de projeto de componentes injetados e matriz morfológica:** com a proposição da matriz de identificação das funções do componente injetado, a equipe de projeto considerou de forma mais efetiva as informações oriundas das especificações de projeto para estabelecer as funções relacionadas ao ciclo de vida de componentes injetados de forma sistemática. O emprego da lista de funções, juntamente, com os ícones de projeto auxiliou na associação de forma mais direta das especificações de projeto às funções do componente.

A utilização da matriz morfológica, juntamente, com estratégias de eliminação, estabelecidas com base nas especificações de projeto possibilitou que princípios de solução inadequados possam ser eliminados previamente. Sendo assim, se pôde concentrar esforços na combinação dos demais princípios de solução, o que também é realizado com base em estratégias de combinação, estabelecidas com base nas especificações de projeto e nos atributos dos princípios de solução de componentes injetados.

Em se tratando dos princípios de solução de componentes injetados, a sua representação, através de uma estrutura de atributos relacionados aos distintos campos de conhecimento, auxiliou na geração de alternativas de concepção, pois as informações das estratégias de eliminação e combinação puderam ser confrontadas com os atributos destes princípios. A abordagem proposta auxiliou na seleção da alternativa de concepção do componente, pois os atributos dos princípios de solução podem ser empregados para verificar como a concepção impacta nos descritores.

- **Métodos de estimativa de custos de componentes injetados:** a proposição desses métodos buscou fornecer subsídios para determinar um valor de custo estimado para as alternativas de concepção de componentes injetados. Neste sentido, foram propostos os métodos de estimativa do ciclo de vida e da similaridade.

O método do ciclo de vida permitiu selecionar distintos métodos para estimar o custo direto unitário do componente injetado, considerando o tipo de informação disponível. Por sua vez, no método do similaridade apresentou-se um método único para estimar o custo desses componentes, a ser aplicado quando se tem disponíveis informações sobre produtos similares.

Como foi abordado nesta Tese, a estimativa de custo de componentes injetados caracteriza-se pela sua complexidade, devido ao elevado número de informações necessárias para estimar o custo do componente injetado. Neste sentido, apresentou-se um conjunto de informações (tarefas, formulações, tabelas e gráficos) que podem ser empregadas para estimar o custo de componentes injetados, reduzindo a complexidade inerente à atividade. Entretanto, tem-se a correta noção que, esforços nesta área devem ser empreendidos visando associar as informações disponibilizadas nesta proposição, com informações provenientes de sistemas de gerenciamento de custos. Desta forma, ter-se-ão informações mais precisas e em maior quantidade para auxiliar a estimativa de custo de componentes injetados.

- **Matriz de seleção da alternativa de concepção do componente injetado e método MACBETH** - através do emprego desse método, juntamente com a matriz de seleção da alternativa de concepção, a equipe de projeto adquiriu um conhecimento maior sobre o processo de tomada de decisão para seleção da concepção, uma vez que a mesma "construiu" os descritores dos requisitos de projeto e avaliou a diferença de atratividade dos mesmos, de forma sistemática e integrada. Além disto, como colocado, o método permitiu que características subjetivas do componente injetado possam ser representadas através de métricas, portanto, avaliadas de forma mais objetiva.

Em termos econômicos, o método possibilitou selecionar a concepção do componente considerando as abordagens de projeto para o custo ou projeto para o mínimo custo.

A **implementação computacional** das ferramentas propostas para definir as especificações de projeto de componentes injetados e para estimar o custo de componentes injetados também constituíram o objetivo desta Tese.

No SISCOI foram apresentados uma série de ferramentas que permitem a manipulação de informações multidisciplinares e interdisciplinares de projeto, assim como, o conhecimento tácito e explícito de especialistas, na fase de projeto informacional. O SISCOI, através das suas ferramentas mostrou auxiliar a operacionalização do processo de definição das especificações de projeto.

No SisCusto foram implementados recursos que permitem considerar aspectos econômicos no projeto de componentes injetados, nas fases de projeto informacional e conceituai. O SisCusto, na fase de projeto informacional, mostrou que podem ser fornecidos recursos para levantar informações de produtos similares e, conseqüentemente, definir o custo-meta e desdobrar o custo do componente injetado em desenvolvimento, na fase de projeto conceituai, para estimar o custo de componentes injetados através dos métodos da similaridade e do ciclo de vida, além de fornecer informações com relação a possíveis abordagens de custos.

Entretanto, é importante ressaltar que o emprego simplesmente do programa computacional não pode assegurar que o projeto do componente injetado será realizado segundo os preceitos da Engenharia Simultânea, os objetivos e abordagem proposta nesta Tese. Como o próprio nome indica, o SISCOI (Software de Apoio à Definição à Definição das Especificações de Projeto ) e SisCusto (Software de Apoio à Estimativa de Custos de Componentes Injetados) são, respectivamente, programas de "APOIO" à definição das especificações de projeto de componentes injetados e à estimativa de custo de componentes injetados. Em outras palavras, a metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetado é um alicerce para a realização destas atividades.

#### 8.4. Recomendações para Trabalhos Futuros

Em virtude da complexidade do assunto estudado, é importante que hajam desenvolvimento continuado de trabalhos relacionados ao projeto de componente injetado, como citado a seguir:

- Como o desenvolvimento de componentes injetados, na maioria dos casos ocorre em ambientes fragmentados, sugere-se o desenvolvimento de metodologias de projeto e estimativa de custos de componentes injetados com ênfase em ambientes WEB Based, permitindo que o conhecimento de especialistas dessas empresas possam ser geridos em tempo real;
- Em virtude dessa recomendação, sugere-se o desenvolvimento de meios, ferramentas de projeto, assim como, de programas computacionais com recursos suficientes para serem empregado em ambientes WEB Based de desenvolvimento de produto;
- Proposição de um modelo de referência visando a gestão do conhecimento e informação no processo de desenvolvimento de componentes injetados em ambientes colaborativos;
- Desenvolver estudos visando a aplicação da metodologia proposta em diferentes processos de manufatura (por exemplo: fundição, conformação, usinagem, entre outros), segundo um domínio de conhecimento específico. Neste caso, observa-se a necessidade de modularizar as ferramentas propostas, assim como, os programas computacionais desenvolvidos;
- Desenvolver ferramentas computacionais que permitam identificar as funções do componente injetado, a partir das especificações de projeto e, conseqüentemente, auxiliar na geração da concepção de componentes injetados;
- Propor e implementar métodos de similaridade de estimativa de custo, considerando formas particulares de componentes injetados.
- Como nesta proposição, o custo do molde de injeção foi considerado uma informação de entrada, propõe-se o desenvolver métodos de estimativa de custos de moldes de injeção, considerando o elevado grau de abstração e a pouca quantidade de informações disponíveis sobre as alternativas de concepção do componente injetado, na fase inicial de projeto.
- Analisando a aplicação da metodologia proposta em ambientes industriais, observa-se a necessidade do desenvolvimento de modelos customizados para as mesmas, levando em conta as características das empresas e procurando integrar o desenvolvimento de componentes injetado com outros produtos do portfólio da empresa.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AKAO, Y. **Quality Function Deployment - QFD : Integrating Customers Requirements into Product Design**. Cambridge. Productivity Press., 1990.
2. ASHBY, M.F. **Materials Selection in Mechanical Design**. First Edition. England. Pergamon Press. 1992.
3. BACK, N. **Metodologia de Desenvolvimento Rápido de Produtos de Injeção**. Encontro sobre Desenvolvimento Integrado de Processos e Produtos de Injeção de Plásticos, Metais e Cerâmicas. Florianópolis. 1998.
4. BACK, N. **Metodologia de Projeto**. Rio de Janeiro. Editora Guanabara Dois. 1983.
5. BANA e COSTA, C.A. e FERREIRA, J.A.A. e VANSNICK, J.C. **Avaliação Multicritério de Propostas: O Caso de um Nova Linha do Metropolitano de Lisboa**. Apostila do Curso Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão. ENE / UFSC. Agosto. (1996).
6. BANA E COSTA, C.A. e VANSNICK, J.C. **MACBETH: An Interactive Path Towards the Construction of Cardinal Value Functions**. Trans. in Oper. Res. 1994.
7. BANA E COSTA, C.A. **Structuration, Construction et Exploitation d'un Modelo Multicritère d'Aide à la Décision**. Lisboa. Portugal. Tese de Doutorado. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. 1992.
8. BANA e COSTA, C.A., STEWART, T.J. e WASNICK, J.C. **Multicriteria Decision Analysis: Some Thoughts based on the Tutorial and Discussion Sessions of the Esigma Meetings**. 14<sup>th</sup> European Conference on Operational Research. July. 1995.
9. BAXTER.M. **Projeto de Produto: Guia Prático para o Desenvolvimento de Novos Produtos**. 1ª edição. São Paulo. Editora Edgard Blücher Ltda. 1998. ISBN 852120150/8.
10. BEITER, K.U., CARDINAL, J.M. e ISHII, K. **Design for Injection Molding: balancing mechanical requirements, manufacturings costs and material selection**. In: ASME Computer Integrated Concurrent Design Conference. Boston. September. 1995.
11. BELOFSKY, H. **Plastics: Product Design and Process Engineering**. Carl Hanser Verlag. New York. 1995. ISBN 1.56990.179.1
12. BLANCHARD, B.S e FABRYCKY, W. J. **System Engineering and Analysis**. Second Edition. London. Prentice-Hall. Inc. 1990.
13. BOCK, M. & BOCK, R. **Sistema Especialista para a Estimativa de Custos na Etapa de Projeto**. Institut für Wirtschaftsinformatik. 197-.
14. BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. and KNIGHT, W. **Product Design for Manufacturing and Assembly**. New York. Marcel Dekker, Inc. 1994. ISBN 082479176-2.
15. \_\_\_\_\_. **Borland C++ Builder 5.0**. Manual do Software.
16. BRDE. **Diagnóstico da Competitividade da Indústria de Produtos de Materiais Plásticos do Estado de Santa Catarina**. América Consultoria e Projetos Internacionais. 1997.
17. CHEN, Y. e WEI, C. **Computer-aided Feature-based Design for Net Shape Manufacturing**. Computer Integrated Manufacturing System. 1997. V.10. n. 2.

18. CHING, K. e WONG, T. **Knowledge-based Evaluation for the Conceptual Design Development of Injection Molding Parts**. Engng. Applic. Artic. Intell. 1996. V. 9.n. 4. 1996.
19. CLAUSING, D. **Total Quality Development: A Step-by-Step Guide to World-Class Concurrent Engineering**. 2. ed. New York. ASME Press. 1994.
20. **C-Mold Reference Manual**. Manual de orientação ao usuário do Programa de Simulação C-Mold. Advanced CAE Technology, Inc. Chapter 4. Disponível em <[http://www.scude.scu.edu/cmdoc/rm\\_doc/Rmix.doc.html](http://www.scude.scu.edu/cmdoc/rm_doc/Rmix.doc.html)>. Novembro. 1999.
21. **C-MOLD REFERENCE MANUAL**. Manual de orientação ao usuário do Programa de Simulação C-Mold, desenvolvido por Advanced CAE Technology, Inc. Publicação na WEB no site [http://www.scude.scu.edu/cmdoc/rm\\_doc/Rmix.doc.html](http://www.scude.scu.edu/cmdoc/rm_doc/Rmix.doc.html). Novembro, 1999.
22. COMPANATION, P.J. and BYRD, J.J. **Using a Modified Readiness Assessment for Concurrent Engineering**. Engineering Management Journal. March. 1999.
23. DARÉ, G. **Proposta de um modelo de referência para o desenvolvimento integrado de componentes injetados**. Dissertação. PPGEM. CTC. UFSC. 2001.
24. DARÉ, G., FERREIRA, C.V., OGLIARI, A. AHRENS, H., BEAL, W. e JUNIOR, A.S.R. **Aplicação da Engenharia Simultânea ao Processo de Desenvolvimento de Componentes de Plásticos Moldados por Injeção: Estudo de Caso**. 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto. Setembro. 2001.
25. DEFOSSE, S., PHATAK, A.G. and TYLER, D.T. **Concurrent Engineering with Computer Aided Design and Manufacturing Tools to Reduce Time to Market for Plastic Parts**. Disponível em <<http://www.lexmark.com/ptc/parer-01.html>>.
26. EASTMAN, D.A. and SMITH, P.G. **Low-tech Tools Speed Plastic Parts**. Machine Design. 1996.
27. ENSSLIN, L. **Introdução a Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão I**. PPGEF. EPS. CTC. UFSC. 1995. Apostila de aula.
28. ENSSLIN, L. **Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão**. PPGEF. CTC. UFSC. 1997. Notas de aula.
29. FABRICIUS, F. **Using Neural Network to Estimate Overhead and Labour Costs of Conceptual Product Design**. Tampere. A. Riitahuhta Editor. International Conference on Engineering Design. 1997. V. 3. pp. 806-810.
30. FAGADE, A.A. and KAZMER, D.O. **Early Cost Estimation for Injection Molded Components**. Journal of Injection Molding Technology. September. 2000.
31. FERREIRA, A.B. de H. **Dicionário da Língua Portuguesa**. 3ª edição. Rio de Janeiro. Editora Nova Fronteira. 1996.
32. FERREIRA, C.V. **Estimativa de Custos de Produtos na Fase de Projeto Conceitual: Uma Metodologia para Seleção da Estrutura Funcional e da Alternativa de Solução**. Florianópolis. SC. 1997. PPGEM. CTC. UFSC. Dissertação.
33. FERREIRA, C.V. 1998. **Estimativa de Custos de Componentes Injetados**. Florianópolis. SC. 1998. PPGEM. UFSC. Relatório da Disciplina de Estudo Dirigido.
34. FERREIRA, C.V. **Metodologia de Desenvolvimento e Estimativa de Custos de Componentes Injetados**. PPGEM. CTC. UFSC. 1999. Exame de Qualificação.

35. FERREIRA, M.G. **Utilização de Modelos para Representação de Produtos no Projeto Conceitual**. Florianópolis. SC. 1997a. PPGEM. CTC. UFSC. Dissertação.
36. FONSECA, A.J.H. **Sistematização do Processo de Obtenção das Especificações de Projeto de Produtos Industriais e sua Implementação Computacional**. Florianópolis. SC. 1999. CPGEM. 2000. Tese de Doutorado.
37. FORCELLINI, F.A. e AMORIN, F.L. **Projeto de Componentes Moldados por Injeção de Pós-Metálicos e Resinas Plásticas**. Florianópolis. SC. 1997. CPGEM. UFSC. Relatório da disciplina de estudo dirigido.
38. GLANVILL, A.B., e DENTON, E.N. **Princípios Básicos e Projetos de Moldes de Injeção**. Brasil. Editora Edgard Blucher Ltda. 1994.
39. GORDON, Jr. e JOSEPH, M. **Total Quality Control for Injection Molding**. Munich. Hanser Publisher. 1993.
40. GUERRERO, V. **Análise do Gerenciamento de Informações em um Ambiente Colaborativo e Distribuído de Desenvolvimento de Produto**. EESC. USP. São Carlos. 2001. Dissertação.
41. HAUDRUM, J. **Creating the Basics for Process Selection in the Design Stage**. Denmark. 1994. Technical University of Denmark. Tese.
42. HELMKAMP, J.G. **Managerial Accounting**. 1987. John Willey & Sons. [S.l.].
43. HOHNE, G; SCHNEIDER, H. and SCHLINK, H. **Kostenorientierte Produktentwicklungswicklung: Am Beispiel Einer Laserschneidanlange**. Technischen Universität Ilmenau. 1998. Apostila.
44. HORNGREN, C.H. et al. **Cost accounting: a management emphasis**. Prentice-Hall. New Jersey. 1999.
45. HOUNSELL, M.S. **Feature-Based Validation Reasoning for Intent-Driven Engineering Design**. Loughborough. 1998. Loughborough University. Tese.
46. HUBKA, V. e EDER, E.W. **Design Science: Introduction to needs, scope and organization of engineering design knowledge**. 2. ed. London. 1996. Great Britain: Springer-Verlag London Limited.
47. **INJECTION MOLDING 2.0**. Boothroyd Dewhurst Inc. Software. 1997.
48. INP, SEBRAE/SP e FIESP. **Radiografia Nacional: Indústria de Moldes e Ferramentas para a Transformação de Plásticos**. MaxiQuim Assessoria de Mercado. São Paulo. Abril. 2000.
49. KAPLAN, R.S. e COOPER, R. **Custo e Desempenho: administre seus custos para ser mais competitivo**. São Paulo. Siciliano. 1998.
50. KOPITKE, B.H. **Custo de Produtos Industriais**. Florianópolis. 1995. UFSC. PGEPS. Apostila.
51. LARMAN, C. **Utilizando UML e Padrões: Uma Introdução à Análises e ao Projeto Orientados a Objetos**. Porto Alegre. Bookman. 2000.
52. LEIFER, L.J. e HANADA, H. **Intelligent Design System for Injection Molded Parts Based on the Process Function Analysis Method.**, 199-. [S.l.: s. n.].
53. LENAU, T. **Early Cost Estimation for Die Casting**. International Conference on Engineering Design, 1995. V. 3. p 1007-1016.



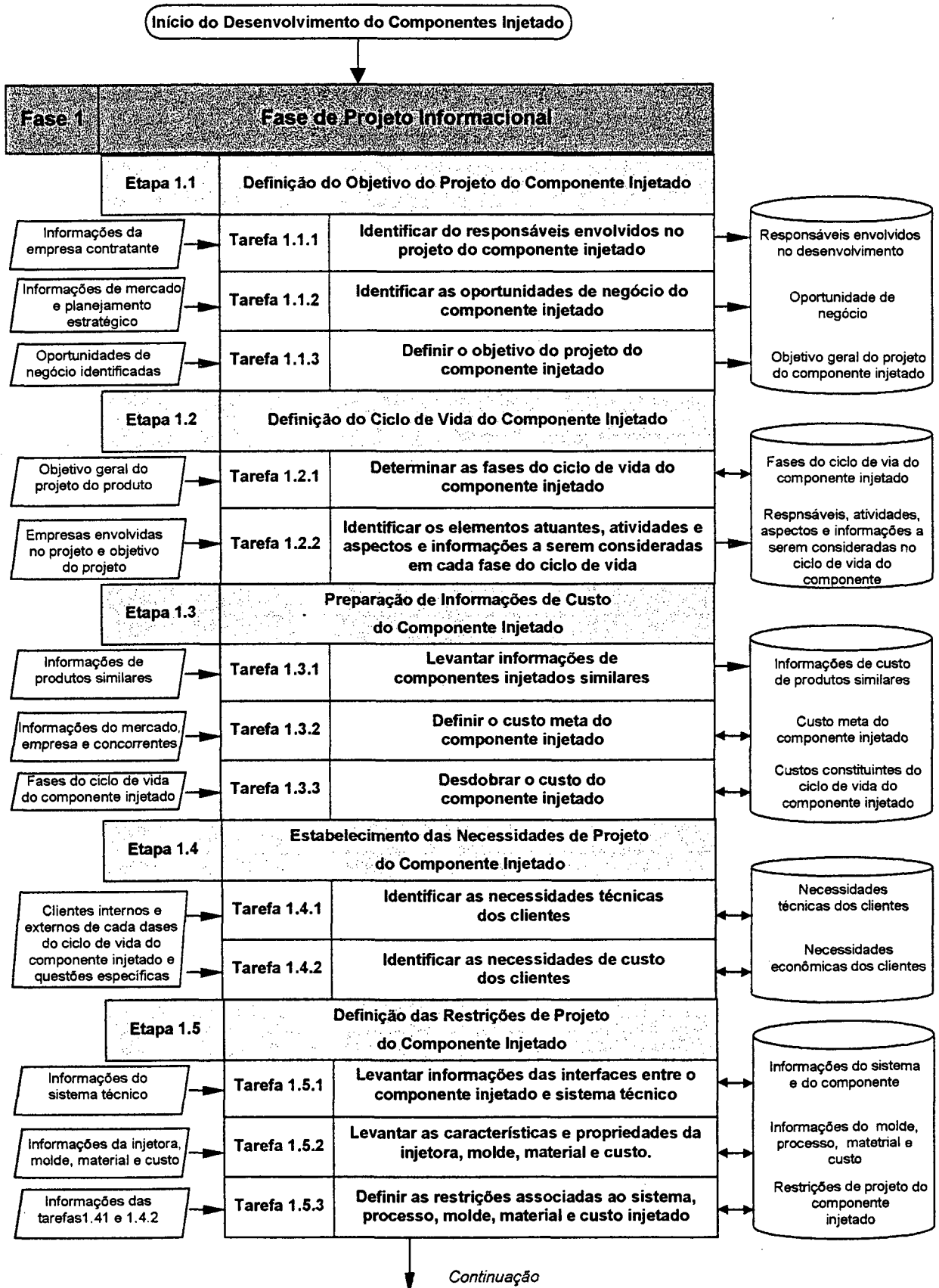
54. LI, Q. e SWINKELS. **The feature Based Design and Manufacturing of Tooling Dies Using CAD/CAM Technology**. Tampere. A. Riitahuhta Editor. 1997. International Conference on Engineering Design. V. 2. p. 307-312.
55. LIEBERS, A. e KALS, H.I.J. **Cost Decision Support in Product Design**. 1997. Annals of the CIRP. Vol. 46/1/1997.
56. MACBETH. **Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique**. Software disponível para download em <<http://www.cised.pt/macbeth.htm>>
57. MALLOY, R.A. **Plastic part design for injection molding: an introduction**. Munich. 1994. Hanser Publishers.
58. MANNOCHERI, S. **An Intelligent Functions-based Design System for Injection Molded Plastic Parts**. 1994. ANTEC.
59. MARIBONDO, J.F. BACK, N. FORCELLINI, F.A. **Metodologia de Projeto de Sistemas Modulares**. CPGEMC. UFSC. Publicação Interna. Florianópolis. SC. 12/05/1999.
60. MARTINS, E. **Contabilidade de Custos**. 5ª edição rev.. São Paulo. Atlas. 1996
61. MAZUR, G. **TRIZ- Theory of Inventive Problem Solving**. www-personal. engin.umich.edu /~gmazur/triz. 199-.
62. MENGES, G., BAUR, M.E., LESSENICH, V. e SCHWENZER, C. **Computer-Aided Plastic Design for Injection Molding**. 1998. Advances in Polymer Technology. V. 8. n. 4.
63. MILLER, L.C. **Concurrent Engineering Design: Integrating the Best Practices for Process Improvement**. Society of Manufacturing Engineers. 1993.
64. MONDEM, Y. **Sistemas de Redução de Custos: custo alvo e custo kaizen**. Porto Alegre. Bookman. 1999.
65. MOOR, D. de. **Computer Assisted Cost Estimation (Comparison of Various Systems)**. 1997. Mechanical Engineering Department. Campus Arenberg. Leuven-Heverlee. Belgium.
66. NEDEß, C. e JACOB, U. **A Case-based Reasoning Approach Towards Learning from Experience Connecting Design and Shop Floor**. 1997. Computer in Industry.
67. NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **Criação de conhecimento na empresa**. RJ, Campus, 1997.
68. OGLIARI, A. **Sistematização da Concepção de Produtos Auxiliado por Computador com Aplicações no Domínio de Componentes de Plástico Injetado**. Florianópolis. SC. PPGEM. UFSC. 1999. Tese.
69. OPP Petroquímica S.A. Organização Odebrecht. **Moldagem por Injeção – Problemas, causas e soluções**. Boletim Técnico nº 005.
70. PAHL, G and BEITZ, W. **Engineering Design : a Systematic Approach**. Berlim. Springer Verlag. 1996.
71. PERERA, U.S. **Concurrent Design of Product and Processes for Conceptual Design of Injection Molding**. Australia. 1997. 316 p. Department of Mechanical and Manufacturing Engineering. University of Melbourne. Tese.
72. PRASAD, B., WANG, F. and DENG, J. **A Concurrent Workflow Management Process for Integrated Product Development**. Journal of Engineering Desing. Vol. 9. N. 2. 1998.

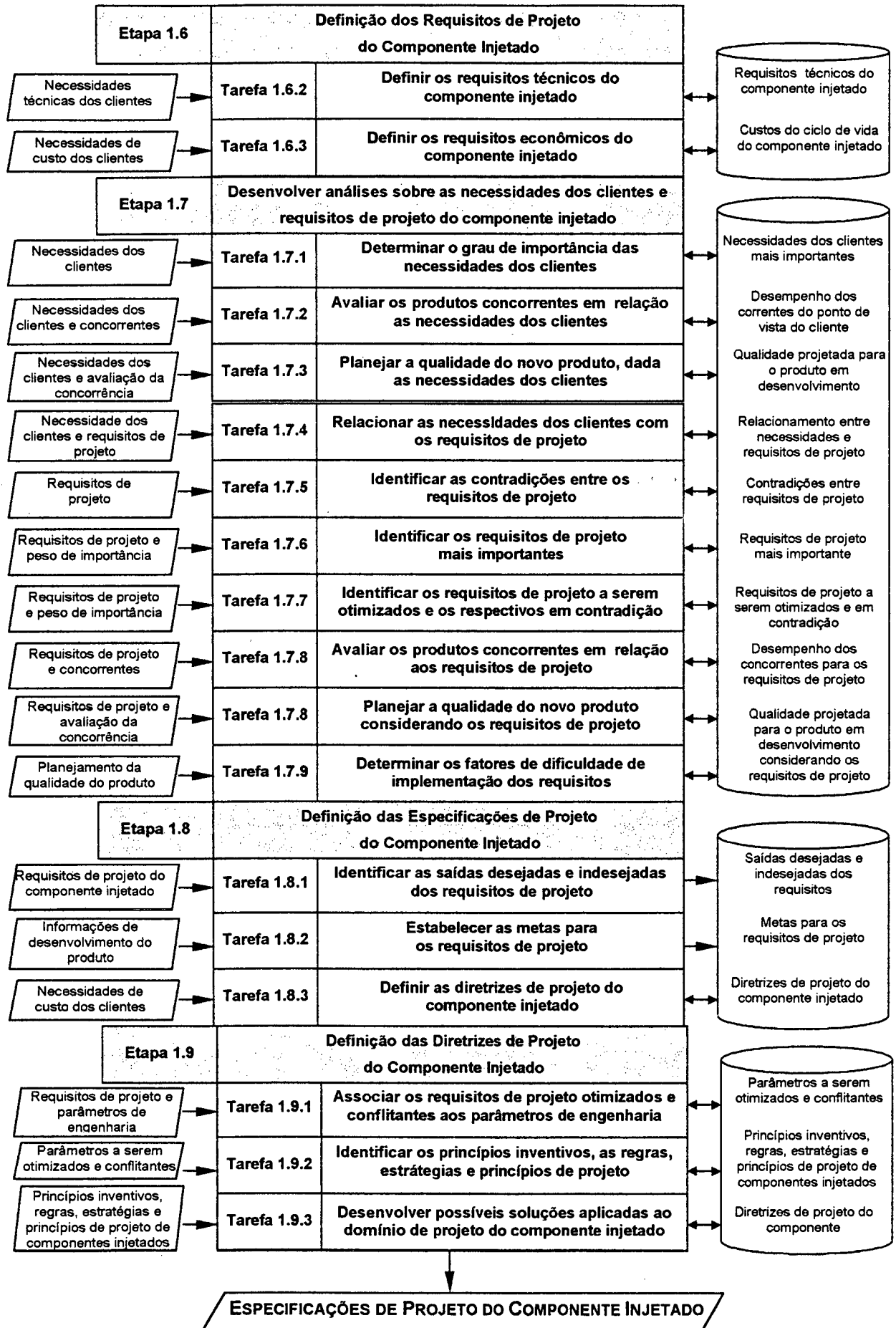
73. PUGH, S. **Total Design. Integrated Methods for Successful Product Engineering.** Addison-Wesley Publishing Company. 1990.
74. RAVI, B. e SRINIVASAN, M.N. **Decision Criteria for Computer-Aided Parting Surface Design.** 1990. Computer Aided Design. V. 22. n. 1.
75. REES, H. **Mold Engineering.** New York. Hanser Verlag. 1995.
76. REISCHL, C.; STOßER e LINDERMAN. **Design Concurrent Calculation – A tool for Target Costing Oriented Design Process.** Tampere. A. Riitahuhta Editor. 1997.. International Conference on Engineering Design. V. 2. p. 505-510.
77. \_\_\_\_\_ Rhodia. Plásticos de Engenharia. **Concepção de peças.** Informação técnica. ST/BR/0985/004
78. \_\_\_\_\_ Rhodia. Plásticos de Engenharia. **Moldagem por injeção.** Informação técnica. ST/BR/0985/006
79. ROOZENBURG, N.F.M.e EEKELS, J. **Product Design.: fundamental and methods.** England: John & Sons Ltda. 1995. ISBN 047194351-7
80. ROSATO, D.V. and ROSATO, D.V. **Injection Molding Handbook.** New York. Van Nostrand Reinhold. 1995.
81. SEBASTIAN, D.H. **Function Based Design for Injection Molding.** 1993. ANTEC. [S.l.: s.n.].
82. SHELDON, D.F. , HUANG, G. O. and PERKS, R. **Designing for Cost - Past Experience and Recent Developments.** 1991. Journal of Engineering Design. V. 2. n.2. p. 127-139.
83. SILVA, J.O. da. **Proposta de um Metodologia para a Formação do Custo-Alvo e sua Estrutura de Desdobramento nas Fases Iniciais de Desenvolvimento de Produtos.** PPEPS. CTC. UFSC. Florianópolis. 2000. Dissertação.
84. STEWART, R.D. **Cost Estimating.** 2nd ed. EUA. John Willey & Sons Inc. 1991.
85. STOßER, R. **Managing Target Costs – A Computer Based Tool to Support the Designer in a Design to Cost Process.** 1997. Tampere. A. Riitahuhta Editor. International Conference on Engineering Design. V. 2. p. 521-524.
86. TANAKA, M., YOSHIKAWA, T., INNES, J. e MITCHELL, F. **Contemporary Cost Management.** Chapman & Hall Editor. London. 1995.
87. TERNINKO, J., ZUSMAN, A. e ZLOTIN, B. **Systematic Innovation: An Introduction to TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving).** Ed. CRC Press. 1998.
88. THUESEN, H.G. e FABRYCKY, W.J. **Engineering Economy.** 3ª Edition. Prentice-Hall Inc. 1989.
89. TJALVE, E. **A Short Course in Industrial Design.** London. Butterworth & Co. Ltda.. 1979.
90. TRABASSO, L.G. and LOUREIRO, G. **QFD: O Desafio de Ir Além da Primeira Matriz.** Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São Paulo. 19--. Artigo.
91. TRABASSO, L.G. e PEDROTTI. L. **A Design by Feature (DBF) Modeler Prototype with an Embedded Design for Manufacturing (DFM) Advisor.** 1997. Tampere. A. Riitahuhta Editor. International Conference on Engineering Design. V. 2. p. 631-634.
92. ULLMAN, D.G. **The Mechanical Design Process.** Mc-Graw Hill. Mechanical Technology Series. 1992.

93. VAJNA, S.; SCHEIBEL, M. e FREISLEBEN, D. **Knowledge Based Engineering Process Model**. 1997. Tampere. A. Riitahuhta Editor. International Conference on Engineering Design. Vol. 2. pp. 180 –184. 1997.
94. WALLACE, D.R. e JAKIELA, M.J. **Computer-automated design of aesthetic injection moulded products**.1991.Design Theory and Methodology, ASME. [S.l. : s.n].
95. WEBER-LEE, R. **Raciocínio Baseado em Casos**. Florianópolis. SC. PGEPS. UFSC. 1997. Apostila.
96. WOOD, S.L. **Design Reasoning using Plastic Injection Molding Primary Feature**. ASME Design Engineering Technical Conference and Computer in Engineering Conference. Irvine. 1996. Proceedings ...
97. ZENGER, D. C. **A Cost Based Approach to the Selection of Materials and Processes in Product Design**. 1992. International Conference on Engineering Design. V 2. [S.l.:s.n.].

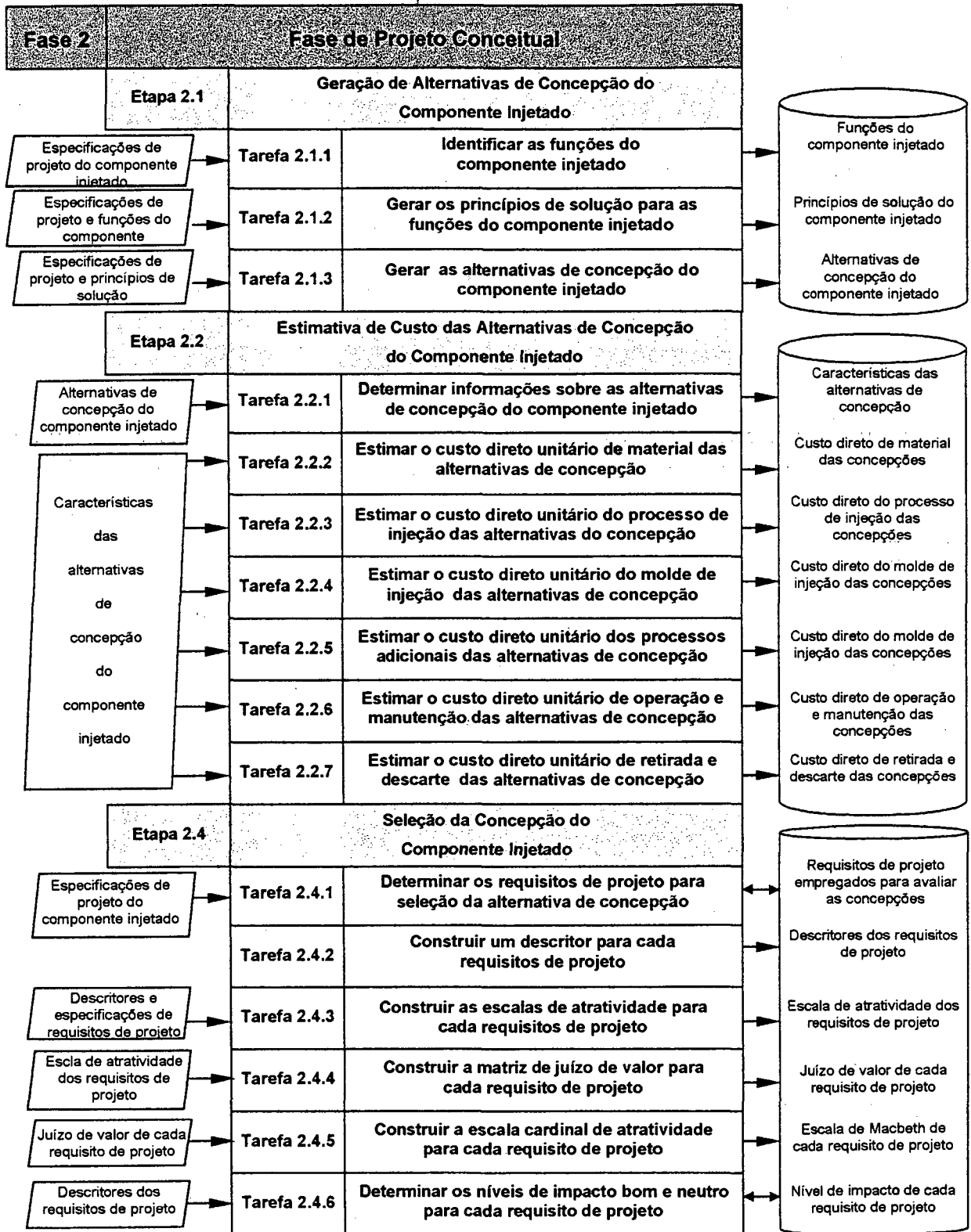
# ANEXOS

# ANEXO A: FLUXOGRAMA GERAL DA METODOLOGIA DE PROJETO E ESTIMATIVA DE CUSTOS DE COMPONENTES INJETADOS

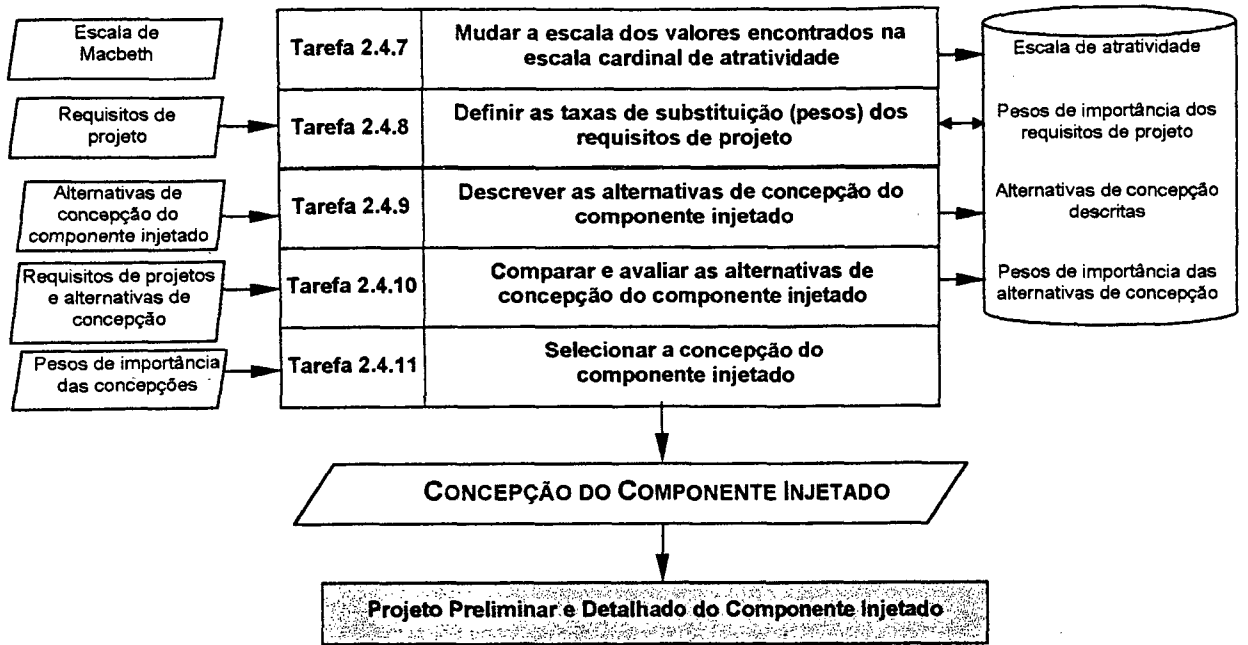




**ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO DO COMPONENTE INJETADO**



Continuação





# ANEXO B: FERRAMENTA: FORMULÁRIO DE DEFINIÇÃO DO OBJETIVO DO PROJETO

## B.1. Introdução

A proposição desta ferramenta é resultado da consideração do estudo de Maribondo (2000) ao domínio de projeto de componentes injetados. Esta ferramenta é formada pela ficha de identificação dos responsáveis envolvidos no projeto do componente injetado, questionário de identificação das oportunidades de negócio e ficha de definição do objetivo do projeto.

## B.2. Formulário de Definição do Problema

Na ficha de identificação dos responsáveis envolvidos no projeto do componente injetado, ilustrada na figura B.1, são apresentadas as informações das pessoas ou empresas dos distintos campos de conhecimento envolvidos no projeto do produto.


	Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica
<b>FORMULÁRIOS DE DEFINIÇÃO DO PROBLEMA</b>	
<b>FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DOS RESPONSÁVEIS ENVOLVIDOS NO PROJETO</b>	
<b>Informações do Contratante do Projeto</b>	
Nome: Endereço: CPF / CGC: Telefone: Fax: E-mail:	
<b>Informações do Responsável pelo Processo de Injeção</b>	
Nome: Endereço: CPF / CGC: Telefone: Fax: E-mail:	
<b>Informações do Responsável pelo Molde de Injeção</b>	
Nome: Endereço: CPF / CGC: Telefone: Fax: E-mail:	
<b>Informações do Responsável pelo Material de Injeção</b>	
Nome: Endereço: CPF / CGC: Telefone: Fax: E-mail:	

Figura B.1. Ferramenta de contratação do projeto do produto - identificação das empresas.

Na figura B.2 está apresentado o questionário de definição das oportunidades de negócio, conforme descrito na tarefa 1.1.2.


	<p>Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica</p>
<p><b>QUESTIONÁRIO DE IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DO NEGÓCIO</b></p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existe mercado consumidor para o produto ?</li> </ul>	<input type="text"/>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• É possível estimar um preço meta para o projeto em estudo ?</li> </ul>	<input type="text"/>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qual a perspectiva de lucro para o produto ?</li> </ul>	<input type="text"/>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qual o tempo para lançamento do produto no mercado ?</li> </ul>	<input type="text"/>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quem são os produtos concorrentes no mercado ?</li> </ul>	<input type="text"/>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os produtos concorrentes possuem bom mercado ?</li> </ul>	<input type="text"/>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• A manufatura do componente será realizada na empresa contratante do projeto?</li> </ul>	<input type="text"/>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• A manufatura do molde de injeção será realizada na empresa contratante do projeto?</li> </ul>	<input type="text"/>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• A empresa possui recursos financeiros para aquisição do molde de injeção ?</li> </ul>	<input type="text"/>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• O projeto do componente injetado está relacionado a outros produtos (sistemas) ?</li> </ul>	<input type="text"/>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quais são os principais clientes externos do produto ?</li> </ul>	<input type="text"/>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quais as principais características dos clientes externos do produto ?</li> </ul>	<input type="text"/>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quais são os principais concorrentes do produto ?</li> </ul>	<input type="text"/>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quais as vantagens do produto em desenvolvimento em relação aos concorrentes ?</li> </ul>	<input type="text"/>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Este desenvolvimento é um projeto novo ou um reprojeto ?</li> </ul>	<input type="text"/>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quais são as principais dificuldades que envolvem o projeto do produto ?</li> </ul>	<input type="text"/>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quais as principais conclusões obtidas com estas informações ?</li> </ul>	<input type="text"/>

Figura B.2. Questionário de identificação de oportunidades do negócio.

As questões apresentadas nesta ferramenta podem ser manipuladas, isto é, alteradas, adicionadas ou excluídas, dependendo da necessidade do projeto do produto. Com base nestas questões, a equipe de projeto pode registrar a solicitação e definir o objetivo do projeto do produto, conforme mostrado na figura B.3 e descrito na tarefa 1.1.3.

	<p>Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica</p>
<b>FICHA DE DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PROJETO</b>	
Pedido do solicitante: _____ _____ _____	
Produção estimada de componentes injetados por mês: _____	
Tipo de material do componente injetado: _____	
Tipo de máquina operadora: _____	
Investimento disponível para aquisição do molde de injeção: _____	
<b>Objetivo Geral:</b> _____ _____ _____	
<b>Tipo de projeto:</b> <input type="checkbox"/> Projeto novo <input type="checkbox"/> Reprojeto	

Figura B.3. Ficha de definição do problema de projeto

Com objetivo de facilitar o emprego desta ferramenta no desenvolvimento do componente injetado, a mesma será implementada computacionalmente, conforme descrito no Capítulo 5 desta Tese.

## **ANEXO C: FERRAMENTA: ESTRUTURA DE DESDOBRAMENTO DO CICLO DE VIDA DE COMPONENTES INJETADOS**

### **C.1. Introdução**

Neste anexo, são apresentados recursos da ferramenta proposta para auxiliar a definição das fases do ciclo de vida de componentes injetados, assim como, os clientes atuantes, atividades, informações e aspectos a serem considerados em cada fase do ciclo de vida definida. Inicialmente, será apresentado um estudo da abordagem do ciclo de vida de produtos. Na sequência será mostrada a filosofia da ferramenta de projeto proposta e, finalmente, a mesma será detalhada.

### **C.2. Modelos de Ciclo de Vida de Produtos**

Na literatura são apresentados distintos modelos do ciclo de vida de produtos, os quais foram desenvolvidos considerando-se produtos de forma geral. Dentre eles, destacam-se as abordagens de Blanchard e Fabricky (1991), Back (1983) e Pahl e Beitz (1996).

No modelo elaborado por Blanchard e Fabricky (1991), dois elementos atuantes, produtor e consumidor, determinam as fases do ciclo de vida do produto. Estas fases são um conjunto de atividades desempenhadas por estes elementos, descritas por meio de funções. Desta forma, as funções do "produtor" são planejar, pesquisar, projetar, produzir e/ou construir e avaliar o sistema; e, as funções do "consumidor" estão relacionados ao uso, logística, retirada e descarte do produto. Desta forma, o ciclo de vida do produto é dado pelas fase de planejamento, pesquisa, projeto, produção, construção, avaliação, utilização, suporte logístico, retirada e descarte do produto.

Em se tratando de componentes injetados a relação "produtor" e "consumidor" pode apresentar diversas configurações, arranjos ou tipologias. Em determinados casos, o produtor pode ser responsável, somente, pela execução do projeto do componente, enquanto os "consumidores" são os elementos envolvidos no projeto e manufatura do molde, fornecimento da matéria prima, manufatura do componente, além do usuário final. Em outras situações, o produtor pode ser responsável pela execução do projeto do componente, do molde, fornecimento da matéria prima e manufatura do componente. O consumidor é o usuário final. Esta abordagem, independente da configuração assumida, permite identificar os elementos e informações de cada fase do ciclo de vida

No modelo apresentado por Back (1983) são descritas as fases de projeto, produção, distribuição, consumo e recuperação do produto, conjuntamente, com os distintos elementos envolvidos. Neste modelo, têm-se os seguintes elementos: na fase de produção, os planejadores, os fornecedores de matéria prima, componentes, bens de capital e fabricantes; na fase de distribuição, os vendedores por atacado e no varejo, os transportadores e os financiadores; na fase de consumo, os consumidores em massa e os industriais; e, na fase de recuperação, os sucateadores, os coletores e os transformadores. Novamente, observa-se uma grande preocupação na identificação

dos elementos envolvidos no processo de desenvolvimento de produto. Considerando o projeto de componentes injetados, esta abordagem ressalta a importância do desenvolvimento de um modelo e uma ferramenta que permita a identificação dos elementos envolvidos no projeto do produto.

Segundo Pahl e Beitz (1996), o ciclo de vida do produto inicia-se com informações provenientes do mercado e da empresa e, conclui-se com a disposição final do produto no ambiente, passando pelas fases de planejamento, projeto, produção, montagem, teste, marketing, consulta, vendas, uso, consumo, manutenção, reciclagem e, finalmente, disposição. Neste modelo, observa-se que os autores não se preocupam em identificar os elementos envolvidos no ciclo de vida do produto.

Em suma, nota-se que o ciclo de vida é considerado como sendo um conjunto de fases compreendido desde o "nascimento" da necessidade de projeto até a "disposição final do produto".

### C.3. Ferramenta Proposta

O objetivo desta ferramenta, como ilustrado, esquematicamente, na figura C.1, é fornecer subsídios para a equipe de projeto identificar as atividades, os objetivos e os clientes, internos e externos, envolvidos em cada fase do ciclo de vida do componente injetado.

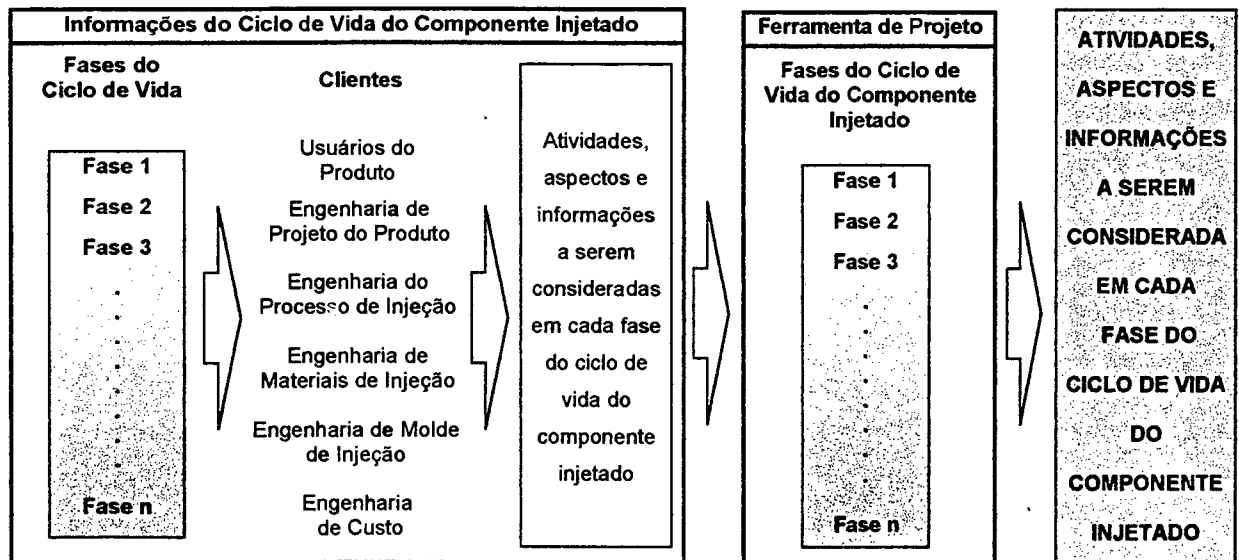


Figura C.1. Informações da ferramenta de definição das fases do ciclo de vida do componente injetado.

Na proposição dessa ferramenta, inicialmente, foram consideradas as colocações de Pahl e Beitz (1996) para apresentar uma estrutura geral do ciclo de vida de componentes injetados. Na sequência, com base nesta estrutura, considerou-se as colocações de Blanchard e Fabrycky (1991) e Back (1983) para apresentar recursos visando a definição dos clientes atuantes, atividades, aspectos e informações a serem consideradas em cada fase do ciclo de vida. Como resultado, obteve-se a estrutura apresentada na tabela 4.1. As informações descritas nesta tabela são uma orientação para





Para auxiliar a utilização desta ferramenta, foram desenvolvidos recursos computacionais, conforme descrito no Capítulo 5 desta Tese. Nesta implementação, o resultado do preenchimento das fichas ilustradas nas figuras C.2 e C.3 pode ser visualizado sob a forma de relatório. Neste relatório, esquematicamente, ilustrado na figura C.4, são apresentadas as informações manipuladas.


 <p><b>NEOP</b> Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos</p>	<p>Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica</p>
<p><b>FICHA DE PROJETO DE DEFINIÇÃO DAS FASES DO CICLO DE VIDA DO COMPONENTE INJETADO</b></p>	
<p>Esta ferramenta apresenta as fases do ciclo de vida do componente injetado, assim como, os elementos atuantes, as funções, as atividades e aspectos a serem considerados em cada uma destas etapas.</p>	
<p>Objetivo do projeto do componente injetado</p>	<div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div>
<p>Fase do ciclo de vida _____</p>	
<p>Elementos envolvidos nesta fase do ciclo de vida _____</p>	
<p>Descrição das atividades e aspectos a serem considerados _____</p>	
<p>_____</p>	

Figura C.4. Relatório emitido em decorrência do emprego da estrutura de desdobramento do ciclo de vida do componente injetado



## **ANEXO D. FERRAMENTA: FORMULÁRIOS DE PREPARAÇÃO DE INFORMAÇÕES DE CUSTO**

### **D.1. Introdução**

Nesse anexo é apresentada a ferramenta de projeto denominada de "Formulários de Preparação de Informações de Custo", que é constituída pelas "Fichas de Levantamento de Informações de Produtos Similares", "Fichas de Definição do Custo Meta do Componente Injetado" e a ferramenta denominada "Estrutura de Desdobramento de Custo de Componentes Injetados".

### **D.2. Formulários de Preparação de Informações de Custo**

A preparação de informações de custo do componente injetado, como descrito na seção 4.3.3, inicia-se com o levantamento de informações de produtos similares. Para auxiliar a operacionalização dessa tarefa foi desenvolvida a "Ficha de Levantamento de Informações de Produtos Similares" descrita na figura D.1. Por meio desta ferramenta, é obtida uma série de informações técnicas e econômicas sobre as características dos produtos similares (seu material, processo, molde de injeção e custo)

Na sequência, por meio da "Ficha para Definição do Custo Meta", ilustrada na figura D.2, a equipe de projeto, considerando as características principais do componente injetado a ser projetado (grau de complexidade, poder aquisitivo do cliente, estilo do produto), informações de produtos similares de procedência da concorrência (concorrentes, preço de venda e características), e informações de produtos similares da própria empresa (características de similares, preço unitário, lucro unitário, custos de material, do processo, preço do molde) pode definir o lucro unitário para o componente injetado em desenvolvimento. Esta informação é uma orientação para definir o plano de lucro, o preço de venda e o custo-meta unitário direto do componente, empregando o método baseado no mercado ou no custo, conforme descrito na ferramenta proposta.

E, finalmente, a última tarefa referente a preparação de informações de custos envolve o desdobramento do custo do ciclo de vida do componente injetado. Para auxiliar a operacionalização da mesma, propõe-se o emprego da ferramenta denominada "Estrutura de Desdobramento de Custo", ilustrada na figura D.3. Nesta ferramenta são listados os custos do ciclo de vida do componente injetado, se envolvem os custos associados aos processos de projeto do produto, desenvolvimento do molde de injeção, manufatura do componente, utilização e descarte. Na sequência, são apresentados recursos para classificar esses custos segundo o critério da facilidade de atribuição, ou seja, em custos direto ou indireto. E, também para identificar as empresas que geram cada um dos custos do ciclo de vida do componente injetado.


 <p style="font-size: small; text-align: center;">Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos</p>	<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA</p> <p>CENTRO TECNOLÓGICO</p> <p>DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA</p>
<p><b>FORMULÁRIO DE PREPARAÇÃO DE INFORMAÇÕES DE CUSTO</b></p> <p><b>FICHA DE LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES PRODUTOS SIMILARES</b></p>	
<p><b>INFORMAÇÕES SOBRE O PRODUTO SIMILAR</b></p>	
<p>1.1. Especificação do Componente: _____</p> <p>1.2. Número total de componentes produzidos por hora: _____</p> <p>1.3. Largura máxima do componente: _____</p> <p>1.4. Comprimento máximo do componente: _____</p> <p>1.5. Altura máxima do componente: _____</p> <p>1.6. Espessura máxima da parede do componente: _____</p> <p>1.7. Tolerância: _____</p> <p>1.8. Acabamento: _____</p> <p>1.9. Custo unitário direto do componente: _____</p> <p>1.10. Função do componente _____</p>	
<p><b>INFORMAÇÕES SOBRE O MATERIAL DE INJEÇÃO</b></p>	
<p>2.1. Especificação do material: _____</p> <p>2.2 Pressão de injeção: _____</p> <p>2.3. Temperatura de injeção: _____</p> <p>2.4. Temperatura do molde: _____</p> <p>2.5. Temperatura de extração: _____</p> <p>2.6. Custo de material / Kg: _____</p>	
<p><b>INFORMAÇÕES SOBRE O MOLDE DE INJEÇÃO</b></p>	
<p>3.1. Especificação do molde: _____</p> <p>3.2. Especificação do porta molde: _____</p> <p>3.3. Número de placas: _____ Duas placas _____ Três placas</p> <p>3.4. Tipo de injeção: _____ Canal quente _____ Canal frio</p> <p>3.5. Número de cavidade do molde: _____</p> <p>3.6. Número de gavetas do molde: _____</p> <p>3.7. Largura do molde de injeção: _____</p> <p>3.8. Comprimento do molde de injeção: _____</p> <p>3.9 Vida útil do molde de injeção: _____</p> <p>3.7. Custo da base do molde: _____</p> <p>3.8. Custo das cavidades do molde _____</p>	
<p><b>INFORMAÇÕES SOBRE O PROCESSO DE INJEÇÃO</b></p>	
<p>4.1. Especificação da máquina _____</p> <p>4.2. Força de fechamento da máquina (t): _____</p> <p>4.3. Número de operadores por máquina: _____</p> <p>4.4. Tempo de set-up da máquina (s): _____</p> <p>4.5. Tempo de injeção do componente (s): _____</p> <p>4.6. Tempo de resfriamento do componente (s): _____</p> <p>4.7. Tempo de ciclo seco (abertura, ejeção do componente e fechamento do molde) (s): _____</p> <p>4.8. Custo direto da máquina por hora: _____</p> <p>4.9. Processos de manufatura do componente adicionais: _____</p> <p>4.10. Custo direto por hora de manufatura adicionais: _____</p> <p>4.11. Volume de produção: _____</p>	

Figura D.1. Formulário de levantamento de informações de produtos similares.


	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CENTRO TECNOLÓGICO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA				
FORMULÁRIO DE PREPARAÇÃO DE INFORMAÇÕES DE CUSTO FICHA DE DEFINIÇÃO DO CUSTO META DO COMPONENTE INJETADO					
Características do Componente Injetado					
<input type="checkbox"/> Grau de complexidade técnica <input type="checkbox"/> Simples <input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Complexo	<input type="checkbox"/> Poder aquisitivo do cliente <input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Elevado				
<input type="checkbox"/> Estilo do componente a ser projetado <input type="checkbox"/> Conservador <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Agressivo					
Lucro Unitário Direto do Componente Injetado					
Análise da Concorrência					
Concorrentes	Preço de Venda	Características e Diferenciação do Produto			
• • • •	• • • •	• • • •			
Análise da Empresa					
Produtos Similares	Preço Unitário	Lucro Unitário	Custo Unitário Direto Material    Processo	Preço do Molde de Injeção	Características e Diferenciação do Produto e do Molde de Injeção
• • • •					
• Volume de produção estimado por mês (unidades): _____					
• Lucro unitário estimado para o novo componente injetado: _____					
Preço de Venda do Componente Injetado					
Método baseado no Mercado			Método baseado no Custo		
O preço de venda do componente injetado é determinado considerando que, o preço do mercado é o máximo que a empresa pode atribuir ao seu produto.			O preço de venda do componente injetado é determinado acrescentando-se uma margem de lucro estabelecida sobre o custo direto do produto.		
• Preço de venda unitário estimado para o novo componente injetado: _____					
Custo Meta Unitário Direto do Componente Injetado					
Método baseado no Mercado			Método baseado no Custo		
Custo meta = preço de venda unitário – lucro unitário			Custo meta = custo direto* + lucro unitário <small>* Determinado com base em produtos similares</small>		
• Custo meta unitário do componente injetado: _____					

Figura D.2. Formulário de definição do custo meta do componente injetado.

Custos do ciclo de vida do componente injetado		Classificação dos custos		Empresa
<input type="checkbox"/> Desenvolvimento do componente injetado	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Planejamento do desenvolvimento	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Análise de mercado e estudo de viabilidade	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Definição das características do produto	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Projeto do componente injetado	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Projeto Informacional	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Definir o ciclo de vida do componente	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Preparar as informações para estimar o custo	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Definir restrições de projeto	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Definir as necessidades de projeto	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Estabelecer os requisitos de projeto	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Definir as diretrizes de projeto	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Definir as especificações de projeto	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Projeto Conceitual	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Geração de alternativas de concepção	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Estimativa de custo do componente	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Seleção da concepção do componente	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Projeto Preliminar	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Projeto Detalhado	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Desenvolvimento do molde de injeção	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Planejamento do desenvolvimento	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Projeto do molde de injeção	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Teste e avaliação do molde de injeção	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Alteração do molde de injeção	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Manufatura do componente injetado	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Material	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Produção	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Montagem	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Controle de qualidade	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Embalagem	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Transporte	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Utilização do componente injetado	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Descarte do componente injetado	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Descarte do componente reaproveitável	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Descarte do componente não reaproveitável	<input type="checkbox"/> Direto	<input type="checkbox"/> Indireto	<input type="checkbox"/>	_____

Figura D.3. Ferramenta de desdobramento do custo do custo do componente injetado.

Para auxiliar o emprego desta ferramenta no desenvolvimento de componentes injetado, a mesma foi implementada computacionalmente, conforme descrito no Capítulo 5 desta Tese.

Como descrito na metodologia proposta, no projeto do produto, os custos diretos são considerados como sendo requisitos de projeto. Desta forma, na implementação do software, os custos diretos do ciclo de vida do componente injetado, selecionados na ferramenta D.3, podem ser adicionados automaticamente aos requisitos de projeto da Primeira Matriz do QFD.

## **ANEXO E: FERRAMENTA: QUESTIONÁRIO ESTRUTURADO PARA ESTABELECIMENTO DAS NECESSIDADES DOS CLIENTES**

### **E.1. Introdução**

Neste anexo será apresentado o questionário para definição das necessidades dos clientes, que foi proposto com base nos trabalhos de Ogliari (1999), Maribondo (2000) e Fonseca (2000) e também considerando as características de projeto de componentes injetados.

### **E.2. Filosofia da Ferramenta**

Ogliari (1999) conceitua questionário estruturado como sendo um método geral de apoio ao projeto de produtos que, consiste na elaboração e aplicação sistemática de um conjunto de questões investigativas sobre vários temas relacionados ao domínio de aplicação e ao projeto em desenvolvimento. As questões são aplicadas aos clientes do projeto, ou seus representantes, os quais podem ser os próprios profissionais da equipe de projeto. A utilização desse método pressupõe, inicialmente, a sistematização de um conjunto de questões investigativas sobre o domínio de aplicação. Neste sentido, o autor considerando o domínio de projeto de componentes injetados propôs um conjunto inicial de questões, as quais formam a base para a preparação do questionário estrutura do problema aqui apresentado.

Neste contexto, Maribondo (2000) sugere realizar um planejamento envolvendo os estágios de pesquisa sobre o assunto a ser investigado, organização das informações pesquisadas por temas, identificação dos pontos obscuros para a devida compreensão, elaboração de uma estratégia para organizar as perguntas e, por fim definição das variáveis a serem pesquisadas e tabuladas.

Analisando o levantamento de necessidades dos clientes de uma maneira mais ampla, em particular a tarefa de tradução destas necessidades em requisitos de projeto, diversos pesquisadores da área colocam que, a sistematização de uma estrutura de atributos do produto auxilia essa tradução. Neste sentido, a ferramenta proposta nesta Tese para este fim, o faz tomando como base uma estrutura de atributos do componente injetado.

Fonseca (2000) define os atributos do produto em geral como sendo um conjunto de características físicas, de forma, de material, de uso, de fabricação e muitas outras propriedades finais do produto. Coloca que é um termo usado na fase de projeto informacional para denominar as características que o produto possuirá.

Ainda, segundo o autor, alguns destes atributos visam satisfazer as necessidades relacionadas ao ciclo de vida do produto (como nas fases de fabricação, montagem ou descarte); outros são consequência dos próprios objetivos de projeto, contidos no problema de projeto. Considerando estes aspectos, o autor desenvolveu uma estrutura constitutiva comum, inerente aos produtos industriais, de maneira que possa listar um conjunto "universal" desses atributos. Nesta

estrutura, os atributos são classificados em dois grandes grupos, sendo: i) atributos específicos facilmente mensuráveis (por exemplo, fluxo de material, temperatura, acabamento superficial, entre outros) e, ii) atributos gerais, nem sempre fáceis de mensurar (por exemplo, estética, segurança, fabricabilidade, cor, entre outros). Na tabela E.1 está apresentada a estrutura de classificação dos atributos de produtos proposta por Fonseca (2000).

Tabela E.1. Classificação dos atributos de produtos proposta por Fonseca (2000).

ATRIBUTOS GERAIS	ATRIBUTOS BÁSICOS	Funcionamento, Ergonômico, Estético, Econômico, Segurança, Confiabilidade, Legal, Patentes, Normalização, Modularidade e Impacto ambiental		
	ATRIBUTOS DO CICLO DE VIDA	Fabricabilidade, Montabilidade, Embalabilidade, Transportabilidade, Armazenabilidade, Comercialidade, Função, Usabilidade, Manutenibilidade, Reciclabilidade e Descartabilidade		
ATRIBUTOS ESPECÍFICOS	ATRIBUTOS DE MATERIAL	Geométricos	Forma, Configurações, Acabamento, Ajustes, Textura e Fixações	Dimensões,
		Material (tipo), Cor e Peso (ou Massa)		
	ATRIBUTOS ENERGÉTICOS	Forças, Cinemática (velocidade, aceleração, etc), Tipo de energia (térmica, elétrica, etc) e Fluxo (massa ou energia)		
	ATRIBUTOS DE CONTROLE	Sinais (elétricos, pneumáticos, etc), Estabilidade (dos sistemas) e Controle (dos sistemas)		

Considerando os aspectos descritos anteriormente, foi estabelecido que a proposição da ferramenta de levantamento das necessidades dos clientes será realizada, considerando: i) a experiência da equipe de projeto devido à especificidade deste tipo de atividade; ii) aspectos técnicos e econômicos relacionados ao desenvolvimento do componente injetado; iii) uma estrutura de atributos de componentes injetados, proposta considerando este domínio de projeto; iv) o desenvolvimento de um conjunto de questões visando a elaboração de um questionário estruturado, a ser proposto tomando como base o trabalho de Ogliari (1999), Maribondo (2000), observando as práticas no projeto de componentes injetados e a estrutura de atributos proposta para esse produto.

A experiência da equipe de projeto é inerente ao desenvolvimento do produto, uma vez que a mesma será mais experiente, quão maior for o número de projeto que atua.

Para propor a estrutura de atributos de componentes injetados tomou-se como base a estrutura de Fonseca (2000). Esta nova estrutura está ilustrada na tabela E.2.

Os atributos econômicos foram desdobrados considerando a estrutura de desdobramento de custos estabelecida na Etapa 1.3 da metodologia proposta. Como resultado, tem-se os atributos econômicos do produto, do material, do processo de injeção, do molde de injeção e de processos de manufatura adicionais. A inclusão desses atributos visa facilitar a realização da estimativa e avaliação do custo do componente injetado.

Aos atributos do ciclo de vida foram adicionadas informações referentes à manufaturabilidade do molde de injeção e manufaturabilidade do componente relacionada ao processo de injeção. Com relação ao molde de injeção, o atributo busca fornecer informações que facilitem mensurar e avaliar a manufaturabilidade do mesmo durante o processo de projeto. Em se tratando do processo de injeção, a consideração deste atributo tem o intuito de analisar aspectos relacionados ao comportamento do produto quando injetado no ferramental no início do processo de projeto. Além disto, acrescentou-se o atributo testabilidade que se referem a aspectos ligados ao controle da qualidade do produto.

Tabela E.2. Classificação proposta para os atributos do componente injetado.

ATRIBUTOS GERAIS	ATRIBUTOS BÁSICOS	Funcionamento Ergonômico Segurança Confiabilidade Normalização Modularidade	
		Econômico	Produto Material Processo de injeção Molde de injeção Processos de manufatura adicionais
	ATRIBUTOS DO CICLO DE VIDA	Manufaturabilidade do molde de injeção Manufaturabilidade do componente (processo de injeção) Montabilidade Testabilidade Embalabilidade Transportabilidade Armazenabilidade Comerciability Usabilidade Reciclabilidade Descartabilidade	
ATRIBUTOS ESPECÍFICOS	ATRIBUTOS DE MATERIAL	Geométricos	Forma Configurações Dimensões Resistência Acabamento Textura
		Material (tipo) Cor Peso (ou massa)	
	ATRIBUTOS DE RESTRIÇÃO	Sistema Processo Molde Material Custo	

Com relação aos atributos geométricos incluiu-se o atributo de resistência.

Nos atributos energéticos, considerando as peculiaridades do desenvolvimento de componente injetado foram excluídos os atributos de cinemática e tipo de energia. Devido aos mesmos motivos, os atributos de controle foram substituídos pelos atributos de restrição, os quais contém informações desta natureza referentes ao sistema técnico, molde, material, processo de injeção e custo. As informações obtidas por meio dos atributos de restrições devem ser consideradas na próxima etapa da metodologia proposta, isto é, na etapa de definição das restrições de projeto do componente injetado.

Com base nesta nova estrutura de atributos, desenvolveu-se um conjunto de questões, as quais constituem o questionário para definição das necessidades dos clientes de projeto de componentes injetados. Este questionário está descrito na próxima seção deste anexo.

### E.3. Questionário Estruturado para Estabelecer as Necessidades dos Clientes

Na tabela E.3 está descrito um questionário proposto para auxiliar a equipe de projeto a definir as necessidades dos clientes.

Tabela E.3. Questões orientativas para o levantamento das necessidades dos clientes.

Atributos	Questões para Levantamento das Necessidades dos Clientes
Funcionamento	- Qual a função principal do componente ?
	- Quais as funções secundárias do componente ?
	- Quais as funções críticas do componente ?
	- Quais as funções de estima associadas ao componente ?
Ergonômico	- Como são as interações entre o homem e o componente ?
	- Qual a sequência de montagem do componente no sistema?
	- Como são as condições de utilização do componente ?
Estético	- Como é identificado o componente ?
	- Quais são as cores do componente ?
	- Qual o aspecto da textura do componente ?
Segurança	- Quais as condições de utilização do componente ?
	- O componente pode apresentar gumes cortantes ?
	- O componente oferece perigo ao usuário ?
Confiabilidade	- Quais as taxas de falhas estimadas para o componente ?
	- Existem históricos de comportamento do componente ?
Legal	- Existem aspectos legais que devem ser considerados no projeto do componente ?
	- Existem leis ambientais que devem ser respeitadas no projeto do componente ?
Patentes	- O produto será patenteado ?
	- Quais as patentes a serem utilizadas no projeto do componente ?
Normalização	- O projeto do componente deve seguir as recomendações de alguma norma técnica ?
	- Quais as normas técnicas empregadas para testar o componente ?
Modularidade	- O produto deve projetado considerando a filosofia de projeto para a modularidade ?
	- Como é realizada a conexão com outros componentes e o sistema ?
Impacto ambiental	- Quais as características do material do componente com relação ao impacto ambiental ?
	- Existem normas ambientais que devem ser respeitadas no projeto do produto ?
Econômico - produto	- Quanto o usuário está disposto a pagar pelo produto ?
	- Qual o custo de injeção de produtos similares ?
Econômico - material	- Por quanto a empresa pode fornecer o material do componente injetado ?
Econômico - processo	- Quais os custos incorridos no processo de injeção ?
Econômico - molde	- Qual o custo do porta-molde ?
	- Qual o custo do molde de injeção?
Econômico - processos adicionais	- Quais os custos dos processos adicionais envolvidos na manufatura do componente ?
Manufaturabilidade do molde	- Quais são as principais características associadas a geometria, dimensões, tolerância e aparência do componente dada pelo molde de injeção ?
	- Quais as regiões do componente que podem apresentar dificuldades na manufatura do molde de injeção ?
	- Que tipo de molde de injeção será adotado neste projeto ?
	- Quantas cavidades o molde deverá conter ?
	- O molde de injeção pode apresentar gavetas ?
	- Qual será o tipo de alimentação / injeção de material do componente no molde de injeção ?
	- Que tipo de refrigeração será adotada ?
	- Como será o sistema de extração do componente do molde de injeção ?
Manufaturabilidade do componente	- Qual a documentação técnica necessária para manufaturar o componente ?
	- Qual o volume de produção requerido ?
Montabilidade	- Quais são as operações de montagem do componente no sistema e como pode influenciar o projeto do componente injetado ?
	- Qual a sequência de montagem do componente e como pode afetar o projeto do componente injetado ?
	- Quais as principais dificuldades na montagem do componente no sistema ?
	- Quais as ferramentas necessárias para montar o componente no sistema ?
	- Como o projeto pode ser conduzido de forma a não usar estas ferramentas ?
	- Quais as operações de montagem necessárias para instalar o componente no sistema ?
	- Quais os equipamentos de segurança necessários para montar o componente ?
	- Quais os requisitos da equipe de montagem necessários para montar o componente ?
	- Quais são os custos diretos envolvidos nesta etapa do ciclo de vida do componente ?
	- Quais são os custos indiretos envolvidos nesta etapa do ciclo de vida do componente ?
- Quais as condições ambientais do local de montagem ?	



Tabela E.3. Questões orientativas para o levantamento das necessidades dos clientes.

Atributos	Questões para Levantamento das Necessidades dos Clientes
Embalabilidade	- Como o produto será embalado ?
	- Quais as características da embalagem do produto ?
Testabilidade	- Como os componentes serão testados ?
	- Quais os procedimentos necessários para montar o componente ?
	- Qual a qualificação das pessoas envolvidas no teste do componente ?
	- Qual a frequência de testes do produto ?
	- Quais os instrumentos a serem utilizados para testar o componente ?
Transportabilidade	- Qual o peso / volume dos componentes a serem embalados ?
	- Existe alguma limitação com relação ao peso / volume das embalagens ?
	- Como serão transportados e distribuídos o produto ?
	- Existem recomendações especiais para transportar e distribuir o produto ?
	- A temperatura / umidade de transporte pode influenciar nas propriedades do componente ?
Armazenabilidade	- Qual a área necessária para acondicionar o componente ?
	- Quais as condições ambientais para armazenar o componente ?
	- Qual a capacidade máxima de empilhamento do componente no estoque ?
	- Como o componente será embalado ?
	- Quais as condições necessárias das embalagens do componente ?
	- Qual o tipo de material empregado na embalagem do componente ?
	- São exigidos leiautes especiais para armazenar o componente ?
	- Qual a cor, tamanho e disposição da sinalização da embalagem do componente ?
	- Quais os equipamentos necessários para armazenar o componente ?
	- Qual a qualificação das pessoas envolvidas nesta atividade ?
	- Quantas pessoas são necessárias para armazenar estes componentes ?
Comerciabilidade	- Como o produto será identificado pelo usuário final ?
	- Quais os recursos disponíveis para divulgar o produto ?
	- Onde serão comercializados os produtos ?
	- Como serão vendidos os componentes ?
	- Quanto os clientes estão dispostos a pagar pelo produto ?
	- Que logística adotar para divulgar e vender o produto ?
	- Qual o prazo de entrega do produto ?
	- Quais as garantias que o produto deve possuir ?
Usabilidade	- Quais são os principais tipos e natureza dos carregamentos que atuam no componente ?
	- Os componentes estão suficientemente rígidos para suportar o carregamento ?
	- Quais as regiões críticas do componente em função dos carregamentos existentes ?
	- Quais os movimentos principais do componente executados quando em uso ?
	- Os tipos de movimentos do componente são necessários ?
	- O componente apresenta problemas com relação a interpéries (partículas e líquidos) ?
	- Como os clientes utilizam o produto ?
	- Será necessário empregar equipamentos especiais para utilizar o componente ?
	- Quais são as garantias para utilizar o componente ?
	- Quais são as condições de segurança associadas ao uso / manutenção do componente ? - Quais são as condições de insegurança associadas ao uso / manutenção do componente ?
Reciclabilidade	- Quais os indicativos de obsolescência do componente ?
	- Quais as operações necessárias para desmontar o componente do sistema ?
	- O material a ser manufaturado o produto deve ser reciclável ?
	- Qual será o destino dos materiais não recicláveis ?
	- Como será identificado o material reciclável / não reciclável do componente ?
	- Existem procedimentos de segurança para reciclar o componente ?
	- Como será qualificado o pessoal envolvido nesta atividade ?
	- Como será qualificado o pessoal envolvido nesta atividade ?
Descartabilidade	- Quais os indicadores de final de vida útil do componente ?
	- Qual será o destino do material reciclável / não reciclável ?
	- Como serão acondicionados estes materiais ?
	- Qual o treinamento das pessoas envolvidas nesta atividade ?
	- Como serão coletados estes materiais ?
	- Onde serão dispostos estes materiais ?
	- Qual a legislação a ser respeitada nesta atividade ?

Tabela E.3. Questões orientativas para o levantamento das necessidades dos clientes.

Atributos	Questões para Levantamento das Necessidades dos Clientes
Material - Forma	- Quais as formas associadas ao projeto do componente ?
	- A forma do componente encontra-se dentro das restrições do molde de injeção ?
	- Existem formas preferências declaradas pelo usuário ?
Material - Configurações	- Como serão agrupadas os componentes no sistema ?
	- Quais as configurações associadas ao componente - sistema ?
Material - Dimensões	- Quais as dimensões críticas associadas ao componente ?
	- Quais as dimensões máximas do componente ?
Material - Resistência	- Qual a resistência à tração do componente ?
	- Qual a resistência à compressão do componente ?
	- Qual a resistência ao impacto ?
	- Qual a resistência a flexão ?
Material - Acabamento	- Como será o acabamento superficial do componente ?
Material - Textura	- Qual a textura do componente ?
Material - Fixações	- Como serão fixados os componentes no sistema ?
	- Como serão fixados elementos (por exemplo, molas) no componente ?
Material - Material	- Quais as características do material do componente ?
Material - Cor	- Qual a cor do componente ?
Material - Peso (massa)	- Qual a grandeza do peso (massa) do componente ?
Energético - Força	- Quais as forças que devem ser suportadas pelo componente ?
Energético - Fluxo	- Quais as principais limitações associadas ao fluxo de material no molde ?
Restrição - sistema	- Quais as principais limitações associadas ao sistema técnico que influenciam o projeto do componente ?
	- Quais as características geométricas do componente ?
	- Quais os pontos fortes e fracos da geometria do componente ?
	- O componente apresenta problemas com relação a atritos, vibrações, choques, pressão, temperaturas elevadas, entre outras variáveis ?
	- Quais os principais clientes do componente ?
	- Quais os principais desejos e necessidades destes clientes ?
Restrição - processo de injeção	- O componente sofre agressões do meio ambiente ?
	- Quais as principais limitações dos equipamentos de manufatura do componente ?
	- Como estas limitações podem influenciar o projeto do componente ?
Restrição - molde de injeção	- A máquina de injeção tem capacidade suficiente para manufaturar o componente ?
	- Quais as principais limitações associadas a manufatura do molde de injeção ?
	- Quais as principais limitações associadas ao sistema de alimentação do molde de injeção ?
	- Quais as principais limitações associadas ao sistema de refrigeração do molde de injeção ?
	- Quais as principais limitações associadas ao sistema de extração do molde de injeção ?
Restrição - material	- Como estas limitações podem influenciar o projeto do componente ?
	- Quais as características principais do material do componente ?
	- Existem problemas com relação ao fornecimento de material para o molde de injeção ?
	- Quem são os principais fornecedores de matéria prima ?
	- Quais as restrições do material que podem influenciar o projeto do componente ?
	- Como o material do componente deve se comportar frente as condições de utilização ?
	- Quais são os pontos fortes desejados para o projeto do componente ?
- Como são entregues os materiais ?	
Restrição - custo	- Os recursos disponíveis são um limitante para o projeto do componente ?
	- Quais os recursos disponíveis para a manufatura do molde de injeção ?
	- Qual o valor máximo a ser pago pelo componente injetado ?

Para facilitar o emprego desta ferramenta de projeto de componentes injetados foram desenvolvidos recursos computacionais. Neste sentido, como descrito no Capítulo 5 desta Tese, implementou-se uma base de dados com estas questões. Assim, ao levantar as necessidades dos clientes, a equipe de projeto pode acessar esta base de dados e realizar o registro da necessidade dos clientes acerca do projeto do componente injetado.

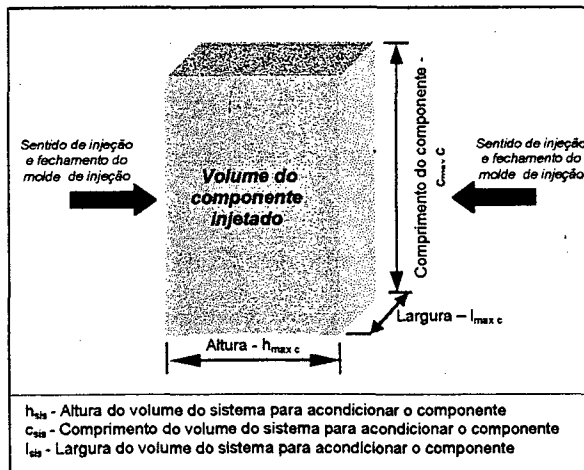
# ANEXO F. FERRAMENTA: CHECK-LIST ESTRUTURADO DE DEFINIÇÃO DAS RESTRIÇÕES DE PROJETO DE COMPONENTES INJETADOS

## F.1. Introdução

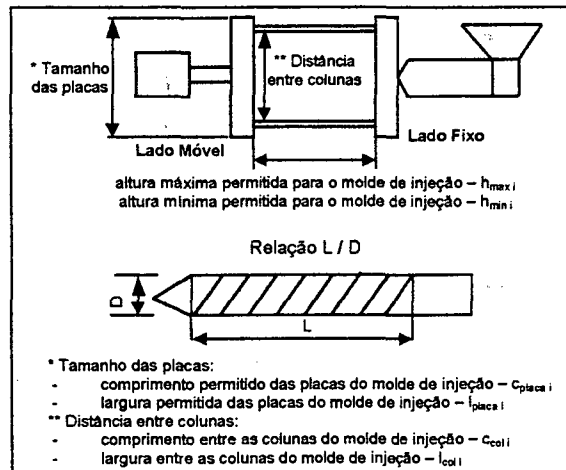
Este anexo tem o objetivo de apresentar a ferramenta proposta para definir as restrições de projeto de componentes injetados.

## F.2. Check-List Estruturado de Definição das Restrições de Projeto

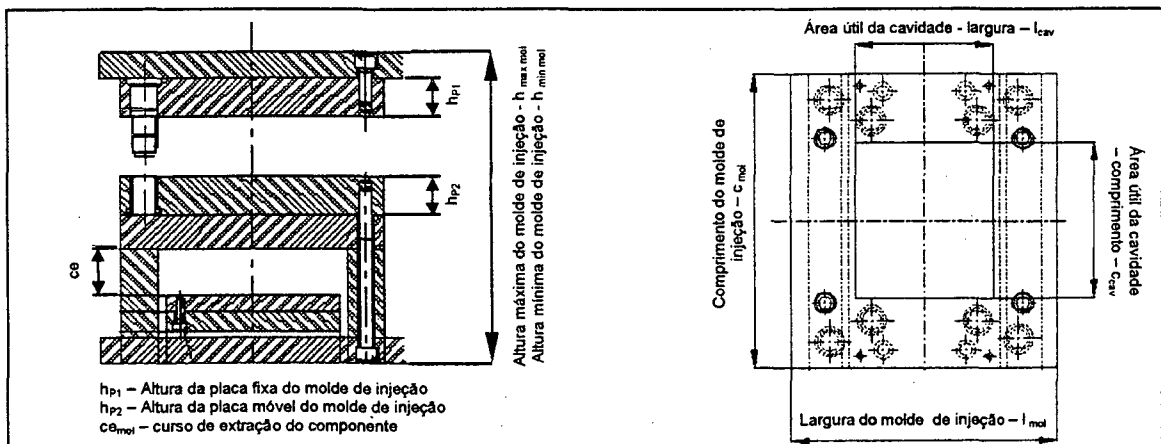
Para facilitar o entendimento desta ferramenta, serão consideradas as seguintes configurações, dimensões e nomenclaturas associadas ao componente, processo e molde de injeção, como mostrado na figura F.1.



Configuração esquemática de um componente injetado



Configuração esquemática de uma máquina injetora



Configuração esquemática de um molde de injeção

Figura F.1. Configuração esquemática do componente, máquina injetora e molde de injeção.

Para definir as restrições de projeto do componente injetado, como descrito no item 4.2.4, propõe-se o emprego do check-list apresentado na tabela F.1, o qual foi desenvolvido com base em considerações de projeto apresentadas por Pahl e Beitz (1995), Harada (1995), Glanvill e Denton (1994), Belosfski (1995), Malloy (1994), assim como, em informações obtidas através da observação de práticas de projeto de componentes injetados.

Na tabela F.1 são descritas as informações do check-list empregadas para definir as restrições de projeto do componente injetado. Na coluna da esquerda estão referenciadas as categorias de restrições de projeto do componente injetado, considerando as fases do ciclo de vida deste produto. Na coluna central são descritas as questões que devem ser aplicadas para definir as restrições de projeto. E, na coluna da direita, é mostrado como as informações levantadas devem ser analisadas e relacionadas, considerando a dependência e a interdependência das mesmas e visando a definição das restrições de projeto do componente injetado, propriamente dita.

Tabela F.1. Check-list estruturado para definição das restrições de projeto do componente injetado.

RESTRIÇÕES	QUESTÕES	ASPECTOS DE COMPATIBILIZAÇÃO
SISTEMA Espaciais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual a área projetada máxima (<math>A_{p_{max c}}</math>) permitida para o componente ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A área projetada máxima do componente e canais de injeção deve ser menor que a área útil do molde, obtida considerando o comprimento da cavidade (<math>C_{cav}</math>) e a largura da cavidade (<math>l_{cav}</math>).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual a altura máxima permitida para o componente (<math>h_{max c}</math>)?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve ser menor que soma das alturas das placas da cavidade do molde de injeção (<math>h_{p1} + h_{p2}</math>);</li> <li>Deve ser menor que o curso de extração do molde (<math>c_{e_{mol}}</math>).</li> <li>Deve ser menor que a altura (<math>a_{sis}</math>) associada ao volume destinado a acondicionar o componente no sistema.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual o comprimento máximo permitido para o componente (<math>C_{max c}</math>)?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve ser menor que o comprimento da cavidade do molde de injeção (<math>C_{cav}</math>).</li> <li>Deve ser menor que o comprimento calculado considerando a força de fechamento da injetora.</li> <li>Deve ser menor que o comprimento (<math>C_{sis}</math>) associado ao volume para acondicionar o componente no sistema.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual a largura máxima permitida para o componente injetado (<math>l_{max c}</math>)?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve ser menor que a largura da cavidade do molde de injeção (<math>l_{cav}</math>).</li> <li>Deve ser menor que a largura (<math>l_{sis}</math>) associada ao volume para acondicionar o componente no sistema.</li> <li>Deve ser menor que a largura calculada considerando a força de fechamento da injetora.</li> </ul>
Funcionais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual a função principal a ser desempenhada pelo componente ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>O componente deve executar a função designada a ele pelo sistema.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quais são as funções auxiliares a serem desempenhadas pelo componente ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>O componente deve executar as funções designadas a ele pelo sistema.</li> </ul>

Tabela F.1. Check-list para definição das restrições de projeto do componente injetado. (continuação)

RESTRIÇÕES		QUESTÕES	ASPECTOS DE COMPATIBILIZAÇÃO
SISTEMA	Geométricas	• Quais os princípios utilizados para conectar o componente ao sistema ?	• O princípio de solução do componente deve ser compatível com o sistema.
		• Quais os princípios utilizados para interagir com o meio ?	• O princípio de solução do componente deve ser compatível com o sistema.
	Venda	• Existe alguma limitação com relação a distribuição e venda que determinam as características do componente injetado ?	• Se existir, deve ser considerada no projeto do componente injetado.
	Uso	• Existe alguma limitação com relação ao uso que determinam as características do componente injetado ?	• Se existir, deve ser considerada no projeto do componente injetado.
	Retirada	• Existe alguma limitação com relação a retirada que determinam as características do componente injetado ?	• Se existir, deve ser considerada no projeto do componente injetado.
	Descarte	• Existe alguma limitação com relação ao descarte que determinam as características do componente injetado ?	• Se existir, deve ser considerada no projeto do componente injetado.
PROCESSO DE INJEÇÃO		• Qual a altura mínima ( $h_{\min i}$ ) entre as placas estacionária e móvel da máquina injetora ?	• A altura mínima entre as placas da injetora deve ser maior que a altura mínima do molde ( $h_{\min m}$ ).
		• Qual a altura máxima ( $h_{\max i}$ ) entre as placas estacionária e móvel da máquina injetora ?	• A altura máxima entre as placas deve ser menor que a altura máxima do molde ( $h_{\max m}$ ).
		• Qual a largura ( $l_{\text{placa } i}$ ) das placas da injetora ?	• Deve ser compatível com a largura do molde ( $l_{\text{mol}}$ ).
		• Qual a largura ( $l_{\text{col } i}$ ) entre as colunas da máquina injetora ?	• Deve ser maior que a largura do molde de injeção ( $l_{\text{mol}}$ ).
		• Qual o comprimento ( $c_{\text{col } i}$ ) entre as colunas da máquina injetora ?	• Deve ser maior que o comprimento do molde ( $l_{\text{mol}}$ ).
		• Qual o curso de abertura para extração do componente da máquina injetora ?	• Deve ser maior que a altura ( $a_c$ ) do componente. • Deve ser maior que o curso de extração do molde ( $c_{\text{emol}}$ ).
		• Qual é a capacidade máxima de injeção da máquina injetora ( $C_{\text{max inj}}$ ) ?	• O peso do componente e dos canais deve ser menor que a capacidade máxima de injeção, que indica a quantidade de material que se pode injetar a cada ciclo de injeção.
		• Qual é a capacidade máxima de plastificação da máquina injetora ( $C_{\text{max pit}}$ ) ?	• A produção do componente em gramas por hora, deve ser menor que a capacidade de plastificação da injetora, que indica a quantidade de gramas de material que pode elevar por hora à temperatura de moldagem.
		• Qual a força de fechamento ( $F_o$ ) máxima da máquina injetora ?	• Deve ser maior do que a força de injeção do componente, dada pela relação da área projetada do componente e dos canais de distribuição multiplicado pela pressão de injeção. A área projetada do componente, calculada pela capacidade de fechamento, deve ser menor que a obtida no projeto.
	• Qual a capacidade máxima mensal instalada de injeção de componentes ?	• A capacidade instalada de produção mensal deve ser maior que a produção requerida. Esta influencia o número de cavidades do molde	

Tabela F.1. Check-list para definição das restrições de projeto do componente injetado. (continuação)

RESTRIÇÕES	QUESTÕES	ASPECTOS DE COMPATIBILIZAÇÃO
MOLDE DE INJEÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> <li>O molde de injeção pode apresentar gavetas ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determina os princípios de solução a serem adotados no projeto do componente. Isto é, algumas soluções podem ser priorizadas ou excluídas.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual a largura (<math>l_{mol}</math>) do molde de injeção ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve ser menor que a largura entre as colunas da máquina injetora (<math>l_{col i}</math>).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual o comprimento (<math>c_{mol}</math>) do molde de injeção ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve ser menor que o comprimento entre as colunas da máquina de injeção (<math>c_{col i}</math>).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual a altura mínima (<math>h_{mol min}</math>) do molde de injeção ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve ser maior que a altura mínima permitida ao molde pela máquina injetora (<math>h_{min i}</math>).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual a altura máxima (<math>h_{mol max}</math>) do molde de injeção ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve ser menor que a altura máxima permitida ao molde pela máquina injetora (<math>h_{max i}</math>).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual o comprimento (<math>c_{cav}</math>) da cavidade do molde de injeção ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve ser maior que o comprimento do componente injetado (<math>c_c</math>).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual a largura (<math>l_{cav}</math>) da cavidade do molde de injeção ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve ser maior que a largura do componente injetado (<math>l_c</math>).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual o curso de extração (<math>ce_{mol}</math>) do molde de injeção ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve ser menor que o curso de abertura para extração do componente da injetora.</li> <li>Deve ser maior que a altura do componente injetado (<math>a_c</math>).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Existe alguma limitação com relação ao tipo de injeção ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Por questões econômicas ou técnica pode ser definido o processo de injeção, a quente ou a frio.</li> </ul>
MATERIAL DE INJEÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> <li>O material deve apresentar pode ser higroscópico ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alguns tipos de material podem ser priorizados ou excluídos.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual a relação L/D do material de injeção ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve ser compatível com a relação L/D da máquina injetora.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual a resistência mínima do material ao impacto?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Por questões técnicas alguns tipos de material podem ser priorizados ou excluídos no projeto do produto.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual a resistência mínima do material a fadiga?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Por questões técnicas alguns tipos de material podem ser priorizados ou excluídos no projeto do produto.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual a resistência mínima do material ao desgaste ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Por questões técnicas alguns tipos de material podem ser priorizados ou excluídos no projeto do produto.</li> </ul>
CUSTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual o custo direto máximo do componente injetado ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve ser menor que o custo meta do componente, determinado no início do processo de projeto no projeto do produto.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qual o preço máximo pago pelo molde de injeção ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve ser menor que a quantia disponível disponível pela empresa para o investimento.</li> </ul>

Para facilitar o emprego desta ferramenta de projeto de componentes injetados, uma vez que envolve a interpretação e análise de um grande número de informações, desenvolveu-se a ferramenta computacional que está apresentada no Capítulo 5 desta Tese.

Como resultado do emprego desta ferramenta tem-se a ficha técnica ilustrada na figura F.2 que, posteriormente, irá compor as especificações de projeto do componente.


 <p>Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos</p>	<h2>FICHA DE DEFINIÇÃO DAS RESTRIÇÕES DE PROJETO DO COMPONENTE INJETADO</h2>
<b>RESTRIÇÕES TÉCNICAS DO COMPONENTE INJETADO</b>	
<b>Dimensões do componente</b>	
Altura máxima do componente	<input type="text"/> mm
Comprimento máximo do componente	<input type="text"/> mm
Largura máxima do componente	<input type="text"/> mm
<b>Restrições funcionais</b>	
Função principal do componente	<input type="text"/>
Funções auxiliares do componente	<input type="text"/>
<b>Restrições geométricas</b>	
Princípios utilizados para conectar o componente ao sistema	<input type="text"/>
Princípios utilizados para interagir com o meio	<input type="text"/>
<b>Restrições associadas a distribuição, venda, uso, retirada e descarte do componente injetado</b>	
<input type="text"/>	
<b>RESTRIÇÕES ECONÔMICAS DO COMPONENTE INJETADO</b>	
Custo direto máximo do componente	<input type="text"/> R\$
Preço máximo a ser pago pelo molde de injeção	<input type="text"/> R\$
<b>Informações adicionais que definem as restrições de projeto do componente injetado</b>	
Sistema técnico	<input type="text"/>
Processo de injeção	<input type="text"/>
Molde de injeção	<input type="text"/>
Material de injeção	<input type="text"/>
Custo	<input type="text"/>

Figura F.2. Ficha de definição das restrições de projeto de componentes injetados.

## **ANEXO G: FERRAMENTA: LISTA DE REQUISITOS DE PROJETO DO COMPONENTE INJETADO**

### **G.1. Introdução**

O objetivo deste anexo é apresentar uma ferramenta que auxilie o estabelecimento dos requisitos de projeto de componentes injetados. A proposição desta ferramenta é resultado do estudo dos trabalhos de Ogliari (1999), Fonseca (2000) e Maribondo (2000) e, também busca refletir as peculiaridades da atividade de desenvolvimento de componentes injetados. Para isto, inicialmente, será descrita a filosofia da ferramenta e, na sequência, o seu detalhamento.

### **G.2. Considerações sobre a Ferramenta**

De acordo com Ogliari (1999), as dificuldades em traduzir as necessidades dos clientes em requisitos de projeto se devem à falta de uma caracterização, em maiores detalhes, da natureza das declarações de necessidades e requisitos. Também, contribuem a inexistência de ferramentas adequadas a auxiliar a execução desta atividade. No sentido de preencher essa lacuna, alguns estudos foram realizados no NeDIP por Fonseca (2000), Maribondo (2000), entre outros, e serão a base para a proposição desta ferramenta.

Ogliari (1999) coloca que a existência de uma estrutura de atributos do produto, juntamente, com o emprego de check-lists de requisitos de projeto, pode auxiliar nesta tradução. Neste caso, com a estrutura de atributos parcialmente definidas, é necessário verificar aqueles atributos que melhor se aplicam ao domínio sob consideração. Nessa linha, Maribondo (2000) apresenta uma lista de requisitos de projeto para auxiliar o desenvolvimento de sistemas modulares, resultado de pesquisas efetuada na literatura especializada, visando obter e identificar a "voz da engenharia" sobre este tema.

No trabalho de Fonseca (2000), o processo de estabelecimento dos requisitos de projeto do produto implica, inicialmente, na conversão das necessidades dos clientes em requisitos do usuário. Essa conversão envolve a tradução das necessidades brutas à linguagem de engenharia, a identificação dos requisitos geradores de funções e a sua classificação, segundo as fases do ciclo de vida. E, na sequência, a conversão dos requisitos do usuário em requisitos de projeto do produto e, sua classificação segundo os atributos do produto.

O requisito do usuário é definido como sendo uma frase curta composta pelos verbos ser, estar ou ter, seguida de um ou mais substantivos ou, ainda uma frase composta por um verbo que não seja os anteriores, seguida de um ou mais substantivos, denotando, neste caso, uma possível função do produto. Os requisitos geradores de função estão associados àqueles verbos formadores das funções típicas de engenharia, por exemplo, conectar mola, encaixar sensor, entre outros.



Na conversão dos requisitos do usuário em requisitos de projeto busca-se, inicialmente, “transformar” aquela necessidade levada à linguagem dos projetistas (requisitos do usuário) em características, preferencialmente, mensuráveis do produto. E, para auxiliar esta conversão, Fonseca (2000) propõe o emprego da matriz de apoio à obtenção dos requisitos de projeto. Nesta matriz, as linhas são formadas pelos requisitos do usuário e nas colunas os atributos específicos do produto. Os cruzamentos das linhas com as colunas, incentivam a decidir quais requisitos de projeto satisfazem o requisito de usuário.

A ferramenta proposta para auxiliar o estabelecimento dos requisitos de projeto de componentes injetados busca considerar: i) a abordagem desenvolvida por Fonseca (2000), levando em conta a filosofia da matriz de apoio à obtenção dos requisitos de projeto, entretanto, representada através de um check-list com o objetivo de facilitar a sua aplicação no projeto do componente injetado e sua implementação computacional; ii) a lista de requisitos de projeto apresentada por Maribondo (2000) que considera as fases do ciclo de vida de produtos em geral; iii) a estrutura de atributos de componentes injetados proposta na tabela E.2 Anexo E; iv) as peculiaridades da atividade de projeto de componentes injetados; e, iv) as publicações nesta área de conhecimento.

### G.3. Check-List de Definição dos Requisitos de Projeto do Componente Injetado

Na tabela G.1 estão descritas as informações constituintes do check-list proposto para auxiliar a definição dos requisitos de projeto de componentes injetados, conforme a estrutura de atributos deste tipo de produto.

Tabela G.1. Lista de requisitos de projeto de componentes injetados.

Atributos		Requisitos de projeto de componente injetado	
Atributos Gerais	Atributos Básicos		
	Atributos Básicos	Funcionamento	- Função principal ( <i>requisitos geradores de função</i> )
			- Funções secundárias ( <i>requisitos geradores de função</i> )
			- Funções críticas ( <i>requisitos geradores de função</i> )
			- Funções de estima ( <i>requisitos geradores de função</i> )
		Ergonômico	- Força de acionamento
			- Força de encaixe
			- Força de manipulação
		Estético	- Cor do componente
			- Sinal de identificação do componente
			- Textura do componente
		Segurança	- Número de cantos vivos do componente
			- Número de gumes cortantes do componente
		Confiabilidade	- Taxas de falhas do componente
			- Modo de falha do componente
		Legal / Normalização	- Normas técnicas associada ao componente
			- Idade mínima para manipulação do componente
			- Grau de toxidez do material do componente
		Modularidade	- Número de conexões padronizadas do componente
			- Nível de simetria do componente
	Impacto ambiental	- Grau de reciclabilidade do material	

Tabela G.1. Lista de requisitos de projeto de componentes injetados.

Atributos			Requisitos de projeto de componente injetado
Atributos Gerais	Atributos do Ciclo de Vida	Manufaturabilidade do molde de injeção	- Comprimento do molde de injeção
			- Largura do molde de injeção
			- Altura máxima do molde de injeção
			- Altura mínima do molde de injeção
			- Número de cavidades do molde de injeção
			- Número de gavetas do molde de injeção
			- Largura da cavidade do molde de injeção
			- Altura da placa fixa do molde de injeção
			- Altura da placa móvel do molde de injeção
			- Curso de extração do molde de injeção
			- Número de processos para fabricar o molde de injeção
			- Tamanho das saídas de gases do molde de injeção
			- Tamanho dos canais de injeção do molde de injeção
			- Uniformidade da temperatura do molde de injeção
			- Tipo de injeção do componente
			- Tipo de refrigeração do molde de injeção
			- Tipo de sistema de extração do molde de injeção
		Manufaturabilidade do componente	- Tempo de manufatura do componente
			- Número de operações de manufatura do componente
			- Pressão de injeção da máquina injetora
			- Força de fechamento da máquina injetora
			- Largura entre colunas da máquina injetora
			- Comprimento entre colunas da máquina injetora
			- Largura da placa da máquina injetora
			- Comprimento da placa da máquina injetora
			- Altura mínima permitida para o molde de injeção
			- Altura máxima permitida para o molde de injeção
			- Curso de abertura da máquina injetora
			- Relação L/D da máquina injetora
			- Capacidade de injeção (base de poliestileno (g))
			- Capacidade de plastificação (g/s)
			- Tempo de abertura do molde de injeção
			- Tempo de fechamento do molde de injeção
			- Tempo de molde de injeção aberto
			- Tempo de injeção do componente
			- Tempo de recalque do componente
			- Tempo de resfriamento do componente
			- Volume de produção / h
			- Pressão de fechamento do molde de injeção
			- Pressão de injeção material plástico
		- Pressão de recalque do componente	
		- Quantidade de desmoldante	
		- Temperatura de extração do componente	
- Temperatura de injeção do material no molde			
- Temperatura de montagem do componente			
- Temperatura do molde de injeção			
- Vazão de alimentação de material de injeção			
- Velocidade de alimentação do material de injeção			
Montabilidade	- Tempo de montagem do componente no sistema		
	- Tempo de montagem de componentes no componente		
	- Número de operações de montagem do componente no sistema		
	- Número de operações de montagem de componentes no componente		
	- Número de uniões/fixações do componente		
Embalabilidade	- Volume da embalagem do componente		
	- Resistência da embalagem do componente		
	- Dimensões da embalagem do componente		
	- Empilhamento máximo da embalagem do componente		

Tabela G.1. Lista de requisitos de projeto de componentes injetados.

Atributos		Requisitos de projeto de componente injetado			
Atributos Gerais	Atributos do Ciclo de Vida	Testabilidade	- Frequência de teste do componente - Tempo de teste do componente		
		Transportabilidade	- Peso máximo de transporte do componente - Volume máximo de transporte do componente - Temperatura de transporte do componente - Umidade de transporte do componente		
			Armazenabilidade	- Área de acondicionamento do componente - Temperatura de armazenamento - Umidade de armazenamento	
				Comerciabilidade	- Prazo de entrega do componente - Tempo de garantia do componente
					Usabilidade
		Reciclabilidade	- Tempo de obsolescência do componente - Tempo de desmontagem do componente do sistema - Tempo de desmontagem de partes do componente		
			Descartabilidade	- Tempo de vida útil do componente	
		Atributos Específicos	Atributos de Material	Geométrico - Forma	- Tipo de geometria - Conicidade do componente - Conicidade do molde de injeção - Número de cantos vivos do componente
Geométrico – Configurações	- Configuração do componente - Número de features do componente - Número de nervuras do componente				
	Geométrico – Dimensões				- Comprimento do componente - Largura do componente - Altura do componente - Espessura da parede do componente - Ângulos de saída do componente - Área projetada do componente - Nível de tolerância do componente - Uniformidade da parede do componente - Tolerância dimensional do componente - Tolerância de forma do componente - Diferença de espessura da parede do componente - Dimensão do inserto do componente - Espessura da linha de solda - Raios de concordância do componente
					Geométrico – Resistência
Geométrico – Resistência				- Desgaste no ciclo de vida do componente - Deformação permissível do componente - Nível de tensão interna do componente	

Tabela G.1. Lista de requisitos de projeto de componentes injetados.

Atributos		Requisitos de projeto de componente injetado	
Atributos Específicos	Atributos de Material	Geométrico – Acabamento	- Nível de acabamento superficial do componente
			- Número de fissuras na superfície do componente
			- Número de listras prateadas na superfície do componente
			- Número de marcas de fluxo na superfície do componente
			- Número de marcas de linha de solda na superfície do componente
			- Número de rebarbas do componente
			- Número de pontos de injeção
			- % de rechupes do componente
			- % de vazios do componente
			- % de vulcanização prematura no componente
		- Nível de acabamento superficial do molde de injeção	
		- Rugosidade do componente	
		Geométrico – Textura	- Textura do componente
		Geométrico – Fixações	- Tipo de fixação
		Material	- Viscosidade do material de injeção
			- % de contaminação do material de injeção
			- % de contração do material de injeção
- Densidade do material de injeção			
- Nível de compactação do material no molde de injeção			
- Nível de degradação do material de injeção			
- Fluxo de material no molde de injeção			
- Temperatura de injeção do material			
Cor	- Cor do componente		
	- Nível de opaco do componente		
	- % de descoloração do material de injeção		
Peso (massa)	- Massa do componente		
	- Massa injetado do componente por ciclo		
Atributos Gerais	Atributos Básicos	Econômico - produto	- Preço do componente injetado
			- Custo do componente
		Econômico - material	- Custo de material de injeção
		Econômico-processo	- Custo do processo de injeção
		Econômico - molde	- Custo do porta-molde
			- Custo do molde de injeção
		Econômico - processos adicionais	- Custos de montagem do componente
			- Custos de teste do componente
			- Custo de embalagem do componente
			- Custo de transporte do componente
- Custo de distribuição do componente			
- Custo de venda do componente			
- Custo de utilização do componente			
- Custo de retirada do componente			
- Custo de descarte do componente			

Para auxiliar a operacionalização destas análises, a ferramenta proposta foi implementada computacionalmente, conforme descrito no item 5.2.7.

# ANEXO H: FERRAMENTA: PRIMEIRA MATRIZ DO QFD

## H.1. Introdução

O QFD, do inglês *Quality Function Deployment*, é uma filosofia de trabalho que busca assegurar a garantia da qualidade do produto, desde a fase de projeto, permitindo que o seu desenvolvimento seja realizado segundo os princípios da Engenharia Simultânea. Em suma, esta ferramenta apresenta uma forma sistemática de tratar as necessidades dos clientes em termos de requisitos de projeto a serem providos pela organização, passando pelas diversas fases do ciclo de desenvolvimento do produto. A filosofia do QFD constitui-se de um conjunto de Matrizes, as quais podem ser aplicadas em distintas etapas do ciclo de vida do produto.

Na fase de projeto destaca-se a Primeira Matriz do QFD ou Casa da Qualidade, que é uma maneira de compreender em maiores detalhes o que os clientes querem, para determinar qual é a melhor forma de atender aos seus desejos com os recursos disponíveis. (Akao, 1996)

## H.2. Primeira Matriz do QFD

A Primeira Matriz do QFD busca fornecer meios para considerar as informações provenientes dos distintos campos de conhecimento envolvidos no desenvolvimento do componente injetado de forma sistemática e simultânea, assegurando assim, a qualidade do produto. Neste sentido, considerando a filosofia do QFD, é proposta uma série de tarefas, as quais a partir da consideração das necessidades dos clientes, recomendam uma análise dos produtos concorrentes com o objetivo de estabelecer metas de qualidade do novo produto, requisitos de projeto mais importantes, contradições de projeto do produto e fatores de dificuldade de implementação.

Na figura H.1 está ilustrada a Primeira Matriz do QFD e seus campos de preenchimento, os quais são empregados para realizar as análises propostas no capítulo 4.

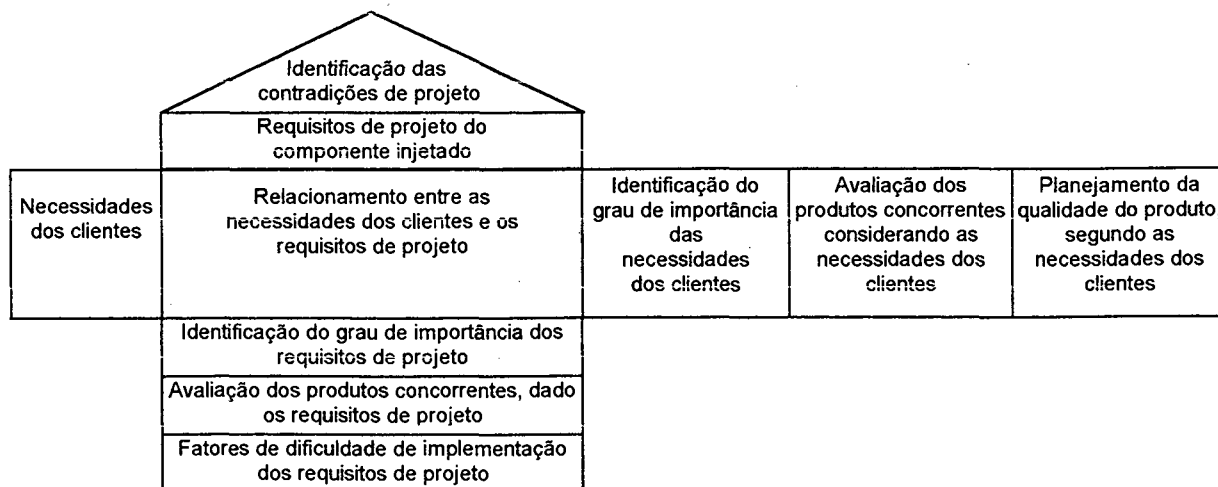


Figura H.1. Primeira matriz do QFD ou Casa da Qualidade.

# **ANEXO I: FERRAMENTA: QUADRO DE ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO DO COMPONENTE INJETADO**

## **I.1. Introdução**

Nesta proposição, as especificações de projeto de componentes injetados passam a ser entendidas como "restrições de projeto, informações de custos, estratégias, regras, restrições e princípios de solução para o desenvolvimento de componentes injetados".

A ferramenta denominada "Quadro de Especificações de Projeto de Componentes Injetados" visa mostrar os requisitos de projeto ordenados segundo o seu grau de importância e seus respectivos requisitos conflitantes, valores meta, saídas desejadas, saídas indesejadas e metas.

A descrição desta ferramenta é resultado da compilação do estudo de Maribondo (2000).

## **I.2. Quadro de Especificações de Projeto do Componente Injetado**

A definição das especificações de projeto de componentes injetados é realizada por meio do Quadro de Especificações. Este quadro, apresentado por Maribondo (2000) é um documento destinado a registrar de modo explícito o entendimento dos requisitos de projeto visando auxiliar o desenvolvimento do produto.

Neste documento, ilustrado na figura I.1, são apresentados os recursos destinados a registrar os requisitos de projeto do componente injetado, classificados de acordo com a sua importância, os requisitos de projeto conflitantes, os valores meta, as saídas desejadas e indesejadas dos requisitos de projeto.

Os requisitos de projeto classificados em ordem de importância e os requisitos conflitantes são provenientes da Primeira Matriz do QFD. Os valores meta, as saídas desejadas e as saídas indesejadas são definidos considerando as informações obtidas ao longo do processo de desenvolvimento do componente injetado e a experiência da equipe de projeto.

Segundo Maribondo (2000), no preenchimento do quadro de especificações é preciso que haja um consenso no tocante a cada uma das informações inseridos no mesmo, pois além das mesmas representarem, do ponto de vista da linguagem de projeto, a "voz do consumidor" e a "voz da engenharia", se destinam a estabelecer um roteiro para o desenvolvimento do componente injetado.

No caso de componentes injetados, este preenchimento pode ser realizado pela equipe multidisciplinar envolvida no projeto do produto.



## ANEXO J. FERRAMENTA: TRIZ – TEORIA DA SOLUÇÃO INVENTIVA DE PROBLEMAS

### J.1. Introdução

O objetivo deste anexo é mostrar os distintos aspectos que norteiam a Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ), destacando a sua utilização como ferramenta de projeto, dentro da proposição da metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados. Inicialmente, será apresentada a filosofia da TRIZ e, na sequência, será descrita a sua aplicação. A descrição desta ferramenta será realizada com base as colocações de Terninko *et al.* (1998) e Mazur (1995).

### J.2. Filosofia da TRIZ

Segundo a abordagem da TRIZ, o processo de projeto é visto como um processo de busca por um produto (solução) ideal, onde o resultado ideal é aquele onde existem somente benefícios e nenhum efeito prejudicial. Do ponto de vista de projeto, deve-se procurar as características que forneçam elevado desempenho ao produto e, ao mesmo tempo, reduzam os efeitos prejudiciais. Dentro deste processo, normalmente, a satisfação ou otimização de um requisito de projeto causa o surgimento de contradições com os demais requisitos. Para solucionar estas contradições, recorre-se a uma solução de compromisso que, na maioria das vezes, não é um procedimento adequado. Para solucionar esta questão, ou seja, para eliminar as contradições de projeto sem recorrer a uma solução de compromisso, utiliza-se a Teoria da Solução de Problemas Inventivos.

De acordo com Altshuller (1946), a teoria que rege o processo criativo deve ser sistemática (apresentando os procedimentos passo a passo), um guia (sem restringir o espaço de busca da solução ideal), apresentar repetibilidade, confiabilidade e não depender de ferramentas psicológicas, permitir o acesso ao corpo de conhecimento inventivo, permitir adicionar ao corpo de conhecimento inventivo e ser familiar bastante para os inventores.

Considerando estes aspectos, Altshuller (1946) desenvolveu a metodologia, que auxilia o processo de busca de solução criativa de problemas, pela equipe de projeto. Esta metodologia constitui a base para a aplicação da TRIZ no processo de desenvolvimento de componentes injetado, com o objetivo de auxiliar a definição das especificações de projeto.

A seguir, serão descritas essas etapas, juntamente com os demais elementos constituintes da TRIZ. Para auxiliar essa descrição e facilitar o entendimento da ferramenta de projeto, será apresentado o exemplo do desenvolvimento de uma lata de refrigerante.

- **Etapas 1: Identificar o Problema de Projeto:** Envolve o entendimento do problema de projeto, a identificação do ambiente operacional, dos requisitos de projeto, das funções principais e o estabelecimento do resultado ideal a ser alcançado com o projeto do produto.



- **Etapa 2: Formular o Problema sob a Abordagem da TRIZ:** O problema de projeto deve ser reformulado em termos de contradições de projeto.

- **Etapa 3: Determinar os parâmetros de engenharia:** Os requisitos de projeto do produto devem ser associados aos parâmetros de engenharia da TRIZ. Na sequência, deve identificar os parâmetros de engenharia a serem otimizados, assim como, o respectivo parâmetro que causa conflito ou está em contradição.

Aitshuller (1946), pesquisando mais de 1.500.000 patentes pelo mundo, observou a existência de **39 Parâmetros de Engenharia**, os quais são informações que buscam caracterizar o produto. Estes parâmetros estão listados na tabela J.1, juntamente, com o seu significado.

Tabela J.1. Listagem dos 39 Parâmetros de Engenharia da TRIZ

Parâmetro de Engenharia	Significado do Parâmetro de Engenharia
1. Peso do objeto móvel	A massa do objeto no campo gravitacional. A força que o corpo apresenta para se apoiar ou sustentar.
2. Peso do objeto de estático	
3. Comprimento do objeto móvel	Qualquer uma dimensão linear, não necessariamente a maior, é considerado o comprimento do objeto.
4. Comprimento do objeto estático	
5. Área do objeto móvel	Uma característica geométrica representada pela parte de um plano fechado por linhas. A parte de uma superfície ocupada pelo objeto, a medida da superfície, interna ou externa, de um objeto.
6. Área do objeto de estático	
7. Volume do objeto móvel	A medida cúbica do espaço ocupado pelo objeto. Por exemplo, comprimento x largura x altura de um objeto retangular, altura x área de um cilindro, entre outros.
8. Volume do objeto de estático	
9. Velocidade	Corresponde a distância percorrida em função do tempo.
10. Força	Força medida da interação entre os sistemas. Na física Newtoniana, força = massa x aceleração. Na TRIZ, força é qualquer interação que ocorre no sentido de alterar o estado de um objeto.
11. Tensão, pressão	Força por unidade de área. Também denominada de tensão.
12. Forma	Os contornos externos do sistema, a aparência do sistema.
13. Estabilidade do objeto	Representa a integridade do sistema e a relação entre os componentes que formam o sistema. Uso, decomposição química e desmontagem do sistema contribui no sentido de diminuir a estabilidade do sistema. No sentido crescente da entropia, diminui a estabilidade do sistema.
14. Resistência	Ponto, até o qual, o objeto pode resistir a mudar de estado. Por exemplo, resistência a frenagem.
15. Durabilidade do objeto móvel	O tempo que o objeto pode executar a ação. O tempo de vida do objeto. O tempo de duração de uma ação até o momento que ocorre uma falha do objeto. Também, durabilidade.
16. Durabilidade do objeto estático	
17. Temperatura	A condição térmica do sistema. Inclui, outros parâmetros térmicos como, por exemplo, a capacidade térmica, que determina a taxa de mudança de temperatura.
18. Brilho	Fluxo de luz por área de unidade. Pode ser também qualquer outra característica de iluminação do sistema como, por exemplo, brilho, qualidade clara, entre outras.
19. Energia gasta pelo objeto móvel	A medida da energia gasta pelo sistema para executar uma ação. Em mecânica clássica, a energia é dada pelo produto da força pela distância. Isto inclui a utilização da energia provida por super-sistemas (como, por exemplo, energia elétrica ou calor). Também, pode ser a energia exigida para fazer uma atividade particular.
20. Energia gasta pelo objeto estático	
21. Potência	A taxa de tempo no qual uma ação é executada. A taxa de uso da energia.
22. Perda de energia	Corresponde ao uso de energia que não contribui para a realização de uma ação. Em muitos casos, para se reduzir as perdas de energia faz-se necessário empregar diferentes técnicas.
23. Perda de substância	Parcial ou completa, permanente ou temporária, corresponde a perda de alguns dos materiais, substâncias ou subsistemas do sistema.
24. Perda de informação	Parcial ou completa, permanente ou temporária, corresponde a perda ou aquisição de dados que ocorrem no sistema. Frequentemente, ocorre a inclusão de informações sensoriais, como, por exemplo, aroma, textura, entre outras.

Tabela J.1. Listagem dos 39 Parâmetros de Engenharia da TRIZ

Parâmetro de Engenharia	Significado do Parâmetro de Engenharia
25. Perda de tempo	Tempo é a duração de uma atividade. Reduzindo as perdas de tempo, o tempo necessário para realizar uma atividade é minimizado. "Redução de tempo de ciclo" é um termo comumente empregado.
26. Quantidade de substância	Corresponde ao número ou a quantia de materiais das substâncias, das partes, dos subsistema ou dos sistemas que, podem ser alterados completamente ou parcialmente, permanentemente ou temporariamente.
27. Confiabilidade	A habilidade do sistema em executar suas funções de maneira e em condições previsíveis.
28. Precisão de medida	A proximidade entre o valor especificado e o valor medido de uma propriedade do sistema. Reduzindo o erro de uma medida tem-se um aumento da precisão do sistema.
29. Precisão de manufatura	Correspondem as características e os requisitos do sistema obtidas durante o processo de manufatura, em relação as características especificadas.
30. Fatores prejudiciais, externos, do objeto	A suscetibilidade do sistema em gerar, externamente, efeitos prejudiciais.
31. Efeitos colaterais da ação do objeto	Um efeito prejudicial é aquele que causa a redução da eficiência ou da qualidade do sistema. Estes efeitos prejudiciais são gerados pelo sistema, como resultado da sua operação.
32. Manufaturabilidade	Refere-se ao grau de facilidade, conforto ou esforço despendido na fabricação do sistema.
33. Conveniência de uso	Simplicidade. Um sistema não é simples, se a sua operação requer um grande número de pessoas e processos, exige a utilizar ferramentas especiais. Os sistemas simples são preferido aos complexo, pois é mais fácil executar as suas funções.
34. Reparabilidade	Refere-se as características de qualidade do sistema, tais como conveniência, conforto, simplicidade e tempo, necessário para consertar as falhas ou defeitos do sistema.
35 Adaptabilidade ou versatilidade	Corresponde ao modo pelo qual o sistema responde, positivamente, a mudanças externas. Também, refere-se a capacidade do sistema em poder ser utilizado em diferentes modos e circunstâncias.
36. Complexidade do dispositivo	Corresponde ao número, a relação e a diversidade de componentes do sistema. O usuário pode ser um elemento do sistema, aumentando a sua complexidade. A dificuldade de controlar o sistema é uma medida de sua complexidade.
37. Complexidade de controle	A dificuldade de analisar (detectar, medir, controlar) o sistema pode ser avaliada considerando o custo, o tempo e as atividades para obter informações, diagnosticar e corrigir o sistema e, também as relações entre os componentes do sistema.
38. Nível de automação	Até que ponto um sistema executa as suas funções sem necessitar da interface humana.
39. Produtividade	Corresponde ao número de funções ou operações executadas por um sistema na unidade de tempo. A produção por unidade de tempo ou o custo por unidade de produção.

Para facilitar a compreensão destes parâmetros é importante definir o que, segundo a TRIZ, denomina-se de objeto em movimento e objeto estático. O objeto em movimento é aquele que pode mudar de posição facilmente no espaço, seja por força própria ou por atuação de forças externas. Veículos e objetos projetados para serem portáteis são exemplos desta categoria. Por sua vez, os objetos estáticos são aqueles que não mudam de posição no espaço, por força própria ou por atuação de forças externas, considerando as condições nas quais o objeto está sendo utilizado.

- **Etapa 4: Buscar uma solução análoga ao problema de projeto:** Envolve a busca por uma solução análoga para o problema de projeto em questão. Analisando as patentes de projeto de produtos, Altshuller (1946) observou a existência de **40 princípios inventivos**, os quais são orientações e sugestões para obter uma solução inventiva para o problema de projeto.

Para auxiliar a busca pelos princípios inventivos, recorre-se a Matriz de Contradições da TRIZ, apresentada, esquematicamente, na figura J.4. Nas colunas desta matriz são listados os 39

parâmetros de engenharia conflitantes e, nas linhas os 39 parâmetros de engenharia a serem otimizados. Do relacionamento entre as linhas e as colunas da matriz obtém-se os princípios inventivos, ou seja, indicações para a solução dos problemas de projeto.

A matriz de contradição da TRIZ, contendo o relacionamento dos 39 parâmetros de engenharia com os 40 princípios inventivos está apresentada ao final deste anexo, na figura J.4.

<b>MATRIZ DE CONTRADIÇÃO DA TRIZ</b>						
		<b>Parâmetros de Engenharia Conflitantes</b>				
		Parâmetro de Engenharia 1	Parâmetro de Engenharia 2	...	...	Parâmetro de Engenharia 39
<b>Parâmetros a serem Otimizados</b>	Parâmetro de Engenharia 1		Princípios Inventivos	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos
	Parâmetro de Engenharia 2	Princípios Inventivos		Princípios Inventivos	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos
	...	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos		Princípios Inventivos	Princípios Inventivos
	...	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos		Princípios Inventivos
	Parâmetro de Engenharia 39	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos	Princípios Inventivos	

Figura J.4. Representação esquemática da Matriz de Contradição da TRIZ.

Os 40 Princípios Inventivos da TRIZ são mostrados na tabela J.2. Na coluna da esquerda é apresentado o princípio inventivo, propriamente dito. Na coluna central, este princípio é interpretado. E, na coluna da direita são apresentados exemplos gerais de aplicação do princípio inventivo no projeto de um produto qualquer.

Tabela J.2. Listagem dos 40 Princípios Inventivos da TRIZ.

<b>Princípio Inventivo</b>	<b>Significado do Princípio Inventivo</b>	<b>Exemplo Geral de Aplicação</b>
<b>1. Segmentação</b>	a. Dividir um objeto em partes independentes; b. Fazer uma seção no objeto; c. Aumentar o grau da segmentação do objeto;	Mobiliária modular, componentes modulares do computador, as mangueiras do jardim podem ser unidas para formar o comprimento desejado.
<b>2. Extração</b>	a. Extrair (remova ou separe) uma parte ou propriedade indesejada do objeto; b. Extraia somente a parte ou propriedade necessária;	Para afastar os pássaros da proximidade de aeroportos pode ser empregado um aparelho de som para reproduzir o som dos pássaros.
<b>3. Qualidade local</b>	a. Fazer a transição de uma estrutura homogênea para uma estrutura heterogênea; b. Ter diferentes partes do objeto que desempenham diferentes funções; c. Arranjar cada parte do objeto sob condições favoráveis a sua operação;	Para combater o pó nas minas de carvão, aplica-se uma névoa de água, em forma cônica, próximo as máquinas perfuratrizes e carregadeiras. Outro exemplo, um lápis e uma borracha num único componente.
<b>4. Assimetria</b>	a. Substituir uma forma simétrica por uma forma assimétrica; b. Se um objeto já é assimétrico, aumentar o grau de assimetria.	Projetar um lado do pneu do carro mais resistente que o outro, de modo a resistir ao impacto com o meio-fio.
<b>5. Assimetria</b>	c. Substituir uma forma simétrica por uma forma assimétrica; d. Se um objeto já é assimétrico, aumentar o grau de assimetria.	Projetar um lado do pneu do carro mais resistente que o outro, de modo a resistir ao impacto com o meio-fio.
<b>6. Combinando</b>	a. Combinar no espaço, objetos homogêneos ou que destinam a operações contíguas; b. Combinar no tempo, operações homogêneas ou contíguas.	O elemento de atuação de um escavador apresenta bocais especiais a vapor, para descongelar o solo congelado.

Tabela J.2. Listagem dos 40 Princípios Inventivos da TRIZ.

Princípio Inventivo	Significado do Princípio Inventivo	Exemplo Geral de Aplicação
7. Universalidade	a. Ter um objeto capaz de executar múltiplas funções, eliminando a necessidade do uso de outro(s) objeto(s).	Sofá que se converte em uma cama.
8. Alinhamento	a. Conter um objeto dentro de outro que, pode ser colocado dentro de um terceiro; b. Passar um objeto através da cavidade de um outro objeto.	Antena telescópica, cadeiras que empilham uma sobre a outra visando o armazenamento.
9. Neutralizar o peso	a. Compensar o peso de um objeto unindo-o a outro que apresenta uma força de levantamento; b. Compensar o peso de um objeto através de interação com um ambiente, de modo que sejam providas forças aerodinâmicas ou hidrodinâmicas	Barcos com hidrofólios, o aerofólio traseiro dos carros que causam um aumento da pressão do carro sob o solo.
10. Contador de ação antecessor	a. Projetar um contador-ação antecessor; b. Se o objeto está sob tensão, planejar um efeito de anti-tensão antecessor.	Coluna de concreto reforçada. Estrutura reforçada de tubos que foram deformados, previamente, com o objetivo de criar um ângulo específico.
11. Ação antecessora	a. Manter tudo ou parte da ação exigida com antecedência; b. Organizar os objetos, de modo que eles possam executar uma ação em um momento oportuno e de uma posição conveniente.	Faca com lâmina especial, capaz de restabelecer o gume, assim que o mesmo danificar-se.
12. Amortecer antecipadamente	a. Compensar a baixa confiabilidade do objeto através de medidas antecipadas.	As mercadorias de uma loja são magnetizadas para intimidar furtos.
13. Equipotencialidade	a. Alterar as condições de funcionamento, de tal forma que um objeto não necessite ser elevado ou abaixado.	O óleo do motor do carro é mudado por pessoas, que descem em uma cova, evitando usar equipamento especial.
14. Inversão	a. Em vez de implementar uma ação especificada do problema, implementar uma ação contrária; b. Transformar uma parte imóvel do objeto em móvel e, vice-versa; c. Alterar a posição do objeto, isto é, da posição superior para a posição inferior.	Processo de abrasão, onde os componentes são limpos através da sua própria vibração, ao invés dos movimentos do abrasivo, propriamente dito.
15. Esferocidade	a. Substituir as partes lineares e as superfícies planas por curvas; as formas de cúbicas por esféricas; b. Usar roletes cilíndricos e esferas; c. Substituir um movimento linear por um movimento giratório; utilizar o princípio da força centrífuga.	Mouse do computador que utiliza roletes e esferas para transferir o movimento de dois eixos, linear, em movimento vetorial.
16. Dinamicidade	a. Fazer um objeto ajustar automaticamente, visando otimizar a sua operação; b. Dividir o objeto em componentes, que permitem movimento relativo, entre si; c. Um objeto está imóvel, fazer o mesmo o móvel ou intercambiável.	Uma lanterna com um abertura flexível entre o seu corpo e a lâmpada.
17. Ação parcial ou exagerada	a. Caso seja difícil desempenhar uma ação totalmente, fazer isto, grandativamente, simplificando o problema apresentado.	Pinta-se um cilindro metálico imergindo-o em tinta. Para remover o excesso gira-se o cilindro rapidamente.
18. Movendo para uma nova dimensão	a. Remover problemas de objetos que se movem em linhas, movendo-o em um plano, bi-dimensional; b. Usar uma montagem em vários estágios (n-dimensões), em vez de um único estágio (unidimensional); c. Inclinar o objeto ou vire-o de lado.	Uma estufa que possui um refletor, côncavo, situado no lado norte da casa. Este refletor pode ser empregado para melhorar a iluminação daquele lado da casa, refletindo luz do sol.
19. Vibração mecânica	a. Fazer um objeto oscilar; b. Aumentar a frequência de oscilação. c. Em vez de vibrações mecânicas, usar piezo-elétricas; e. d. Usar vibrações ultra-sônicas juntamente com um campo eletromagnético.	O preenchimento do molde de fundição é realizado com movimentos vibratório, a fim de melhorar o fluxo de material e as suas propriedades estruturais.
20. Ação periódica	a. Substituir uma ação contínua por uma ação do tipo pulso; b. Se uma ação já é periódica, mudar sua frequência; c. Usar pulsos entre impulsos para prover ação adicional	O flash de luminária de emergência, utilizado para indicar uma situação de advertência, tornando-a mais visível do que uma iluminação contínua.

Tabela J.2. Listagem dos 40 Princípios Inventivos da TRIZ.

Princípio Inventivo	Significado do Princípio Inventivo	Exemplo Geral de Aplicação
21. Continuidade de uma ação útil	a.Fazer uma ação ser continua, sem pausas, onde todas as partes do objeto operam a capacidade máxima; b.Remover movimentos intermediários ou inativos.	Uma broca com extremidades cortantes que permitem cortar nas direções horária e anti-horária.
22. Tornar mais rápido	a.Executar as operações prejudiciais ou perigosas a uma velocidade muito alta.	No corte de tubos plásticos de paredes finas, deve-se prever a sua deformação. Deve-se executar este processo com uma velocidade muito alta. Isto é, cortar o tubo antes do mesmo deformar.
23. Converter dano em benefício	a.Utilizar fatores ou efeitos ambientais prejudiciais para obter um efeito positivo; b.Remover um fator prejudicial combinando com outro fator prejudicial; c. Aumentar as ações prejudiciais até que a mesma deixe de ser prejudicial.	A areia congela quando transportada por climas frios. Se aplicar sob a areia, uma carga térmica fria, a camada de gelo formada torna-se frágil e, conseqüentemente, a situação é revertida.
24. Realimentação	a.Introduzir realimentação; b.Se realimentação já existe, inverter o seu sentido.	A pressão de água em um poço é mantida constante, aliviando a pressão interna deste poço e acionando uma bomba hidráulica, caso a pressão é muito baixa.
25. Mediador	a.Usar um objeto de intermediário para transferir ou manter uma ação; b.Temporariamente conectar um objeto a outro, que é fácil de ser removido.	Para reduzir a perda de energia quando se aplica uma corrente elétrica sobre um metal líquido, emprega-se eletrodos resfriados e um metal líquido, intermediário, com baixa temperatura de fusão.
26. Auto-serviço	a.Fazer o objeto se auto reparar e mantenha as operações suplementares e de reparo; b. Utilizar material e energia perdida.	Para prevenir o desgaste de um equipamento que distribuiu material abrasivo, fabrica-se sua superfície com material abrasivo.
27. Copiando	a.Usar uma cópia de um objeto, simples e barata, em vez de uma cara, frágil ou de uso inconveniente; b.Substituir um objeto pela sua cópia óptica ou pela cópia da sua imagem; c. Se as cópias visíveis são utilizadas, substituir por cópias infra-vermelhas ou ultravioletas.	A altura de objetos altos pode ser determinada medindo as sombras deles/delas.
28. Objeto barato e descartável ao invés de um objeto caro e durável	a. Substituir um objeto caro por uma coleção de barato, deixando de lado suas propriedades	Fraldas descartáveis.
28 Substituição de um sistema mecânico	a.Substituir o sistema mecânico por óptico, acústico ou olfático (odor); b.Utilizar um campo elétrico, magnético ou eletromagnético; c. Substituir campos estacionários por móveis; fortuitos por estruturados; e, use um campo, juntamente, com partículas ferromagnéticas.	Para aumentar a interação entre uma camada metálica que reveste um material termoplástico, é mantido um campo eletromagnético que, por sua vez, aplica força sobre o metal.
29 Construção pneumática ou hidráulica	a. Substituir as partes sólidas do objeto por gás ou líquido. Pode ser utilizado ar ou água para inflar o objeto ou, ainda, ar ou dispositivos hidrostáticos.	Para transportar produtos frágeis, os mesmos são envoltos em bolhas de ar ou espuma.
30 Membranas flexíveis ou filmes finos	a.Substituir construções tradicionais por princípios que utilizam membranas flexíveis ou filmes finos; b.Isolar um objeto de seu ambiente usando membranas flexíveis ou filmes finos.	Para prevenir evaporação da água das folhas de planta são aplicado sobre as plantas um spray de polietileno. Depois de um tempo, o spray se solidifica e a planta tem o seu crescimento melhorado, pois, através do filme formado, o oxigênio passa melhor.
31 Utilize material poroso	a.Projetar um objeto poroso ou adicione elementos porosos (insertos, coberturas, etc.); b.Se um objeto já é poroso, encher os poros com antecedência de alguma substância.	Para evitar o aquecimento de uma máquina, suas partes podem ser preenchidas com material poroso embebido em líquido resfriado. Este líquido se evapora, provendo um resfriamento da máquina.
32 Alteração da cor	a.Alterar a cor do objeto, o seu grau de transparência ou do processo, quando estes são de difícil visualização; b. Usar elementos adicionais, coloridos; c. Se tais elementos aditivos já são usados, empregar rastros ou elementos luminescentes.	Uma bandagem transparente permite visualizar uma ferida e inspecioná-la, sem remover a mesma.

Tabela J.2. Listagem dos 40 Princípios Inventivos da TRIZ.

Princípio Inventivo	Significado do Princípio Inventivo	Exemplo Geral de Aplicação
33 Homogeneidade	a. Projetar os objetos que interagem entre si, com material de mesma natureza ou material que estão perto disto em comportamento.	A superfície de um equipamento que trabalha com grãos abrasivos é feita do mesmo material. Assim, há uma contínua restauração da mesma.
34 Rejeitando e regenerando partes	a. Depois que a função do sistema foi desempenhada ou tornou-se inútil, rejeitar ou modificar (descarte, dissolva, evapore) um componente deste sistema; b. Restabelecer, imediatamente, qualquer componente do sistema que está danificado.	As cápsulas de balas de fogo são descartadas depois que a arma é disparada. Os tanques de combustível do foguete são separados da cápsula depois de impulsionar este foguete.
35 Transformação dos estados físicos e químicos de um objeto	a. Alterar o estado, a densidade, o grau de flexibilidade e a temperatura do sistema técnico.	Para aumentar o peso de um equipamento, mantendo o seu tamanho, use material de maior densidade.
36 Transformação de fase	a. Implementar um efeito durante a transição de fase de uma substância. Por exemplo, na mudança de volume, ocorre liberação ou absorção de calor.	Para controlar a expansão de tubos guarnecidos com suportes, eles estão cheios com água e esfriaram a uma temperatura gelada
37 Expansão térmica	a. Usar um material que expanda ou contraia com calor; b. Usar vários materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica.	Para controlar as janelas de uma estufa são conecta-se placas bimetálicas às mesmas. A mudança de temperatura, expande as placas e, assim, a janela da estufa abre-se ou fecha-se.
38 Utilize oxidantes fortes	a. Substituir ar normal com ar enriquecido; b. Substituir ar enriquecido por oxigênio; c. Aplicar no objeto, situado em ambiente normal ou com oxigênio, radiação ionizada; d. Usar oxigênio ionizado.	Para gerar mais calor com uma tocha, alimenta-se a mesma com oxigênio, ao invés de, ar atmosférico.
39 Ambiente inerte	a. Substituir o ambiente normal por um ambiente inerte; b. Manter o processo à vácuo.	Para prevenir que o algodão mantido no armazém pegue fogo, o mesmo é tratado com gás inerte enquanto está sendo transportado.
40 Materiais compostos	a. Substituir um material homogêneo por um material composto.	As asas de aeronaves militares são fabricadas com materiais que combinam plásticos e fibras de carbono, assim, obtém-se uma elevada resistência e um baixo peso.

• **Etapa 5: Adaptar a solução análoga ao problema de projeto:** Envolve a aplicação do princípio inventivo, identificado na etapa 4, no desenvolvimento do produto. Esta processo envolve, inicialmente, o entendimento do princípio inventivo e, na sequência, o sua aplicação no projeto, propriamente dita.

Na figura J.6 está apresentada a Matriz de Contradição da TRIZ.



## **ANEXO L. FERRAMENTA: MATRIZ DE DEFINIÇÃO DAS DIRETRIZES DE PROJETO DE COMPONENTES INJETADOS**

### **L.1. Introdução**

As diretrizes de projeto, conforme descrito no Capítulo 4, são orientações e recomendações para o desenvolvimento do componente injetado. Para auxiliar na obtenção dessas diretrizes, propõe-se o emprego da ferramenta descrita neste Anexo. Essa ferramenta é uma base de conhecimento, representada sob a forma de uma matriz, voltada ao domínio de projeto de componentes injetado, desenvolvida considerando a filosofia da TRIZ, descrita no Anexo J.

O objetivo desse anexo é descrever, detalhadamente, a ferramenta de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados. Para isto, inicialmente, será apresentada a fundamentação teórica dessa ferramenta de projeto. Na sequência, será apresentada a sistemática utilizada para desenvolver a ferramenta. A seguir, será descrito o processo para empregar a ferramenta na processo de projeto, segundo a abordagem proposta pela metodologia. E, finalmente, serão apresentadas as informações constituintes da base de conhecimento da ferramenta.

### **L.2. Filosofia da Ferramenta de Projeto**

Da mesma forma que na TRIZ, o desenvolvimento de componentes injetados pode ser visto como um processo de busca por um produto (solução) ideal. Em outras palavras, o projeto deste produto, pode ser visto, como sendo um processo de otimização de requisitos de projeto e de busca de soluções para as contradições entre estes requisitos. E, neste processo, a equipe de projeto deve, simultaneamente, procurar satisfazer os "requisitos de projeto a serem otimizados" e minimizar os efeitos associados aos "requisitos de projeto conflitantes". Dentro desta sistemática, normalmente, a satisfação, a otimização de um requisito de projeto resulta no surgimento de contradições com os demais requisitos. Para solucionar estas contradições, deve-se buscar uma solução de compromisso que, na maioria das vezes, não é um procedimento adequado.

As contradições entre os requisitos de projeto podem ser identificadas no telhado da Primeira Matriz do QFD. Por sua vez, a busca de soluções para estas contradições é realizada empregando a ferramenta proposta denominada "Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados - MDDPCI", ilustrada, esquematicamente, na figura L.3.

Essa Matriz é uma base de conhecimento para o desenvolvimento do componente injetado. A sua utilização envolve, inicialmente, a identificação do parâmetro de engenharia do componente injetado a ser otimizado e do correspondente parâmetro de engenharia conflitante de componente injetado com o primeiro. Do relacionamento entre estes parâmetros é obtida, uma indicação para a solução do problema, ou seja, uma diretriz de projeto do componente injetado, as quais serão empregadas para definir as especificações de projeto.



A MDDPCI foi desenvolvida com base na filosofia da Matriz de Contradição da TRIZ, uma vez que essa ferramenta foi elaborada considerando o projeto de um produto qualquer. As informações constituintes da TRIZ são bastante genéricas para se aplicar, diretamente, no projeto de componentes injetados. Além disto, foram obtidos sem considerar as características do desenvolvimento deste tipo de produto e, a estrutura organizacional do setor.

Assim, como resultado da aplicação desta ferramenta proposta, são obtidas as diretrizes de projeto de componentes injetados, as quais são constituídas por informações associadas aos problemas, as causas e as soluções relativas ao desenvolvimento de componentes. Estas diretrizes são expressas sob a forma de regras, estratégias e princípios de projeto de componentes injetados.

A seguir, será descrito o processo de desenvolvimento da ferramenta de projeto da Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto do Componente Injetado.

### L.3. Desenvolvimento da Ferramenta de Projeto

A MDDPCI foi elaborada com o objetivo de auxiliar a equipe de projeto na definição das especificações de projeto de componentes injetados. Na figura L.1 é apresentado um fluxograma que sintetiza o processo empregado no desenvolvimento desta ferramenta de projeto.

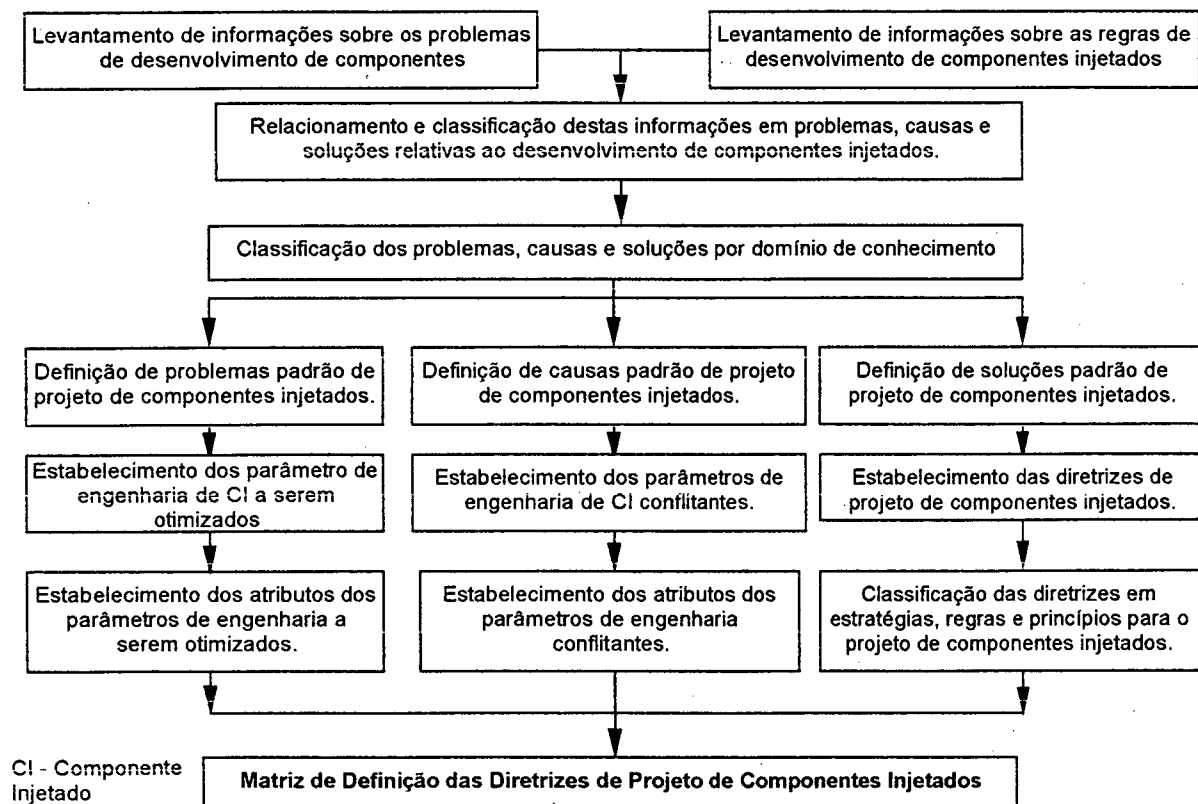


Figura L.1. Processo de desenvolvimento da MDDPCI.

O passo inicial da elaboração desta matriz envolveu o levantamento dos problemas que ocorrem no desenvolvimento de componentes injetados, assim como, a catalogação de regras de projeto de componentes injetados.

Os problemas relacionados ao desenvolvimento do componente injetado foram pesquisados considerando o ciclo de vida do produto. Entretanto, o estudo concentrou-se nos problemas relativos ao projeto, ao processo, ao molde e ao material de injeção. Este levantamento foi realizado por meio de consultas a livros técnicos, catálogos de fabricantes, entre outras fontes. São exemplos típicos de problemas de projeto: existe uma dificuldade de remoção do componente do molde de injeção quando este apresenta formas complexas, existe um excesso de compactação do material no molde quando a pressão de injeção é elevada, os ângulos da cavidade do molde de injeção são pequenos, os componentes injetados apresentam um elevado índice de empenamento, entre outras.

As regras de projeto de componentes injetados foram levantadas considerando as práticas mais comuns e as recomendações de projeto de especialistas da área. Esta pesquisa foi realizada por meio de consulta a livros, catálogos técnicos e manuais de projeto. São exemplos de regras de projeto de componentes injetados: para facilitar a saída de gases do molde deve-se aumentar o tamanho das mesmas mantendo um limite de 0,0127 mm da profundidade do componente, para evitar cantos vivos no componente deve-se adotar um raio de arredondamento das paredes da ordem de 1,0 mm, para facilitar a extração do componente do molde de injeção deve-se adotar uma conicidade do molde da ordem de 0,5° a 1,0°, entre outras.

Num segundo momento, os problemas e as regras de desenvolvimento de componentes injetados foram relacionados procurando agrupar os problemas, causas e soluções relativas ao desenvolvimento de componentes injetados. Assim, por exemplo, considerando as informações descritas, um problema está relacionado com a dificuldade de remoção do componente do molde de injeção, a causa deste problema está relacionada com os ângulos da cavidade do molde são pequenos e a solução para este problema é adotar uma conicidade do molde da ordem de grandeza de 0,5° a 1,0°.

Na sequência, os problemas, as causas e as soluções foram classificados, em relação à origem das informações, considerando os campos de conhecimento de engenharia do projeto do componente injetado, do processo de injeção, do molde de injeção e de materiais. A seguir, estas informações, foram padronizadas. Como resultado deste desenvolvimento, determinou-se um conjunto de problemas-padrão, causas-padrão e soluções-padrão de projeto de componentes injetados. Assim, por exemplo, o problema "existe uma dificuldade de remoção do componente do molde de injeção" foi padronizado para "dificuldade de remoção do componente do molde de injeção".

Analisando os problemas-padrão, as causas-padrão e as soluções-padrão observou-se que, da forma que estão apresentadas, a sua utilização no processo de projeto é complexa. Este fato decorre da dificuldade de associá-las a elementos de projetos de produtos, tais como, requisitos e especificações de projeto. Para facilitar esta associação e viabilizar o emprego destas informações no processo de projeto, adotou-se a abordagem da TRIZ, descrevendo estas informações em termos de parâmetros de engenharia de componentes injetados a serem otimizados, parâmetros de engenharia de componentes injetados conflitantes e diretrizes de projeto de componentes injetados.

Como ilustrado na figura L.2, os problemas-padrão foram associados aos parâmetros de engenharia a serem otimizados, as causas-padrão aos parâmetros de engenharia conflitantes e as soluções-padrão foram associadas as diretrizes de projeto de componentes injetados.

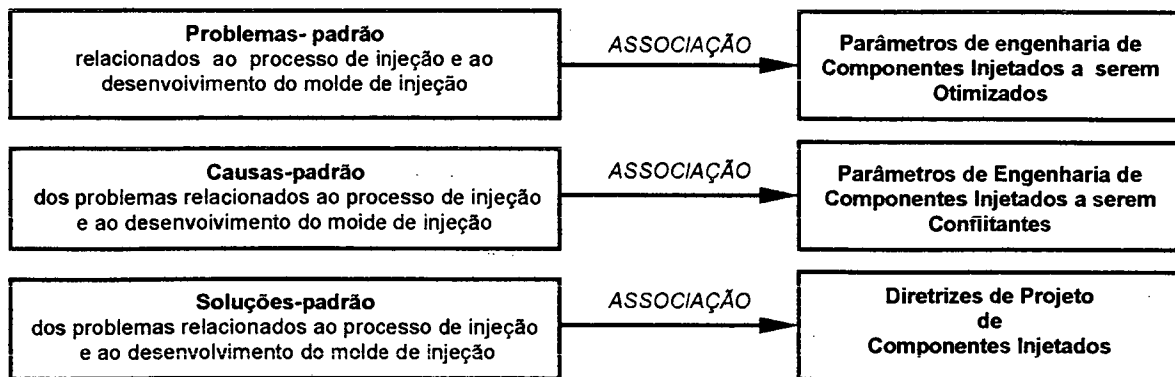


Figura L.2. Associação de informações para composição da Matriz de Diretrizes de Projeto.

São alguns exemplos deste processo de associação:

i) O **problema padrão** “dificuldade de remoção do componente do molde de injeção” foi escrito sob a forma de **parâmetro de engenharia a ser otimizado** “força de extração do componente do molde menor”; onde “força de extração do componente do molde de injeção” corresponde a expressão do requisito de projeto e, “menor” corresponde ao valor do atributo do requisito de projeto;

ii) A **causa padrão** do problema “ângulos da cavidade do molde pequenos” foi escrito sob a forma de **parâmetro de engenharia conflitante**. “ângulo da cavidade do molde pequeno”, onde “ângulo da cavidade do molde” corresponde à expressão do requisito de projeto e, “pequeno” corresponde ao valor do atributo do requisito de projeto.

iii) A **solução padrão** do problema “para facilitar a extração do componente do molde de injeção deve-se adotar uma conicidade do molde da ordem de 0,5° a 1,0°” foi escrito sob a forma de **diretriz de projeto de componentes injetados** “adotar uma conicidade do molde de injeção da ordem de 0,5° a 1,0°”.

Esta associação constitui a base teórica da matriz, uma vez que possibilita tratar, efetivamente e simultaneamente, os problemas, as causas e as soluções de projeto, no início do processo de desenvolvimento de componentes injetados. Salienta-se que, novas informações podem ser adicionadas a base da matriz através da estruturação do conhecimento de especialistas.

A seguir, será apresentada a sistemática para empregar a MDDPCI no desenvolvimento de componentes injetados, segundo a metodologia proposta.

#### L.4. Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados

Como foi colocado, a Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados, ilustrada esquematicamente na figura L.3, é uma base de conhecimento para o desenvolvimento do componente injetado. A sua utilização envolve, inicialmente, a identificação do parâmetro de engenharia do componente injetado a ser otimizado e do correspondente parâmetro de engenharia conflitante de componente injetado com o primeiro. Do relacionamento entre estes parâmetros é obtido, uma indicação para a solução do problema, ou seja, uma diretriz de projeto do componente injetado, as quais serão empregadas para definir as especificações de projeto.

### MATRIZ DE DEFINIÇÃO DAS DIRETRIZES DE PROJETO DE COMPONENTES INJETADOS

PARÂMETRO DE ENGENHARIA DE COMPONENTES INJETADOS A SER OTIMIZADO													
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ATRIBUTO DO PARÂMETRO DE ENGENHARIA:</li> <li>• Valor do atributo:</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• % DE CONTRAÇÃO DO COMPONENTE</li> <li>• Menor</li> </ul>												
PARÂMETRO DE ENGENHARIA DE COMPONENTES INJETADOS EM CONTRADIÇÃO	DIRETRIZES DE PROJETO DE COMPONENTES INJETADOS												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 70%;">ATRIBUTO DO PARÂMETRO</th> <th style="width: 30%;">Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>• Nível de compactação do material no molde</td> <td style="text-align: center;">Maior</td> </tr> <tr> <td>• Tempo de ciclo de injeção</td> <td style="text-align: center;">Maior</td> </tr> <tr> <td>• Nível de acabamento superficial do molde de injeção.</td> <td style="text-align: center;">Menor</td> </tr> <tr> <td>• % de contaminação do material</td> <td style="text-align: center;">Maior</td> </tr> <tr> <td>• Tamanho das saídas de gases do molde do molde de injeção.</td> <td style="text-align: center;">Menor</td> </tr> </tbody> </table>	ATRIBUTO DO PARÂMETRO	Valor	• Nível de compactação do material no molde	Maior	• Tempo de ciclo de injeção	Maior	• Nível de acabamento superficial do molde de injeção.	Menor	• % de contaminação do material	Maior	• Tamanho das saídas de gases do molde do molde de injeção.	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuir a pressão de injeção.</li> <li>• Diminuir a pressão de recalque.</li> <li>• Diminuir a velocidade de avanço do cilindro de injeção.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Otimizar o resfriamento do molde de injeção</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar o polimento da superfície do molde de injeção.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Empregar um material de injeção isento de contaminação.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar o tamanho das saídas de gases do molde de injeção, mantendo um limite de 0,0127 mm da profundidade do componente.</li> <li>• Aumentar o número de saídas de gases do molde de injeção.</li> </ul>
ATRIBUTO DO PARÂMETRO	Valor												
• Nível de compactação do material no molde	Maior												
• Tempo de ciclo de injeção	Maior												
• Nível de acabamento superficial do molde de injeção.	Menor												
• % de contaminação do material	Maior												
• Tamanho das saídas de gases do molde do molde de injeção.	Menor												

Figura L.3. Representação da matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados.

A associação dos requisitos de projeto a serem otimizados aos parâmetros de engenharia a serem otimizados, pode ser realizada consultando as informações constantes na parte superior desta matriz. Nesta associação deve-se considerar a similaridade e a compatibilidade entre os atributos do requisito de projeto, provenientes da Primeira Matriz do QFD, e os parâmetros de engenharia, assim como, observando o valor destes atributos.

Na figura L.4, tem-se como exemplo de parâmetro de engenharia a ser otimizado "% de contração do componente" e o valor do atributo "menor", pois a equipe de projeto deseja um componente com menor % de contração.

A associação dos requisitos de projeto conflitantes aos parâmetros de engenharia conflitantes listados na MDDPCI deve ser realizada na coluna da esquerda da matriz, considerando o parâmetro de engenharia a ser otimizado, a similaridade e a compatibilidade entre os atributos do requisitos de projeto, provenientes da Primeira Matriz do QFD, e os parâmetros de engenharias, assim como, o valor do atributo.

Na figura L.4, tem-se como exemplos de parâmetros de engenharia conflitantes para o parâmetro a ser otimizado "% de contração do componente maior": i) Nível de compactação do material no molde de injeção, com o valor do atributo "maior"; ii) Tempo de ciclo de injeção, com o valor do atributo "maior"; iii) Nível de acabamento superficial do molde de injeção, com o valor do

atributo "menor"; iv) % de contaminação do material no molde de injeção, com o valor do atributo "maior"; e, v) Tamanho das saídas de gases do molde de injeção, com o valor do atributo "menor".

Finalmente, a identificação das diretrizes de projeto de componentes injetados pode ser realizada na coluna da direita da MDDPCl, resultado do relacionamento entre os parâmetros de engenharia a serem otimizados e conflitantes. Como colocado, esta diretriz indica uma possível solução para as contradições entre os requisitos de projeto, ou seja, fornece uma orientação para que o desenvolvimento do projeto do componente injetado seja realizado sem que, a equipe de projeto, tenha que recorrer a uma solução de compromisso. Estas diretrizes podem ser apresentadas sob a forma de regras, recomendações e princípios de solução para a elaboração do projeto do componente injetado.

Na figura L.4, na coluna da direita são apresentadas as diretrizes de projeto de componentes injetados, para cada parâmetro de engenharia conflitante, dado um parâmetro de engenharia a ser otimizado. Desta forma, considerando o parâmetro a ser otimizado "% de contração do componente maior" e o parâmetro em conflito "tempo do ciclo de injeção menor", são obtidas as seguintes diretrizes de projeto de componentes injetados: aumentar a pressão de injeção, aumentar a pressão de recalque e aumentar a velocidade de avanço do cilindro de injeção.

A identificação das diretrizes de projeto de componentes injetados pode ser realizada manualmente, utilizando as informações descritas na seção L.5, entretanto, para facilitar a realização destas tarefas foi desenvolvida o ambiente computacional, o qual é descrito no Capítulo 5 desta Tese.

## **L.5. Base de Conhecimento da Ferramenta de Projeto**

A base de conhecimento da Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados é constituída por um conjunto de parâmetros de engenharia a serem otimizados, parâmetros de engenharia conflitantes e diretrizes de projeto aplicada a este domínio de conhecimento. Nesta base, os parâmetros de engenharia estão associados a um valor, que indica a situação na qual estes parâmetros estão em contradição.

Esta base de conhecimento está descrita a seguir, considerando para cada parâmetro a ser otimizado, os respectivos, parâmetros conflitantes e diretrizes de projeto. Nesta apresentação, na coluna da direita apresenta-se a referência na qual foi obtido o conhecimento de projeto. Os princípios de solução indicados na base de conhecimento estão listados ao final deste Anexo.

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: % de contração do componente**
  - Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Nível de compactação do material no molde	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuir a pressão de injeção.</li> <li>• Diminuir a pressão de recalque.</li> <li>• Diminuir a velocidade de avanço do cilindro de injeção.</li> </ul>	OPP Petroquímica, 19--
Tempo de ciclo de injeção	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otimizar o resfriamento do molde de injeção.</li> </ul>	
% de contaminação do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empregar um material de injeção isento de contaminação.</li> </ul>	
Tamanho das saídas de gases do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar o tamanho das saídas de gases do molde de injeção, mantendo um limite de 0,0127 mm da profundidade do componente.</li> <li>• Aumentar o número de saídas de gases do molde de injeção.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: % de rechupes do componente**
  - Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Uniformidade da temperatura do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alterar a espessura da parede no componente.</li> </ul>	Rhodia. ST/BR/0985/006
Diferença da espessura da parede do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prever o resfriamento das regiões espessas dos componentes e dos pontos de injeção de material.</li> <li>• Empregar um princípio de solução número 15</li> <li>• Empregar um princípio de solução número 17</li> </ul>	
Temperatura de extração do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alterar a espessura da parede do componente.</li> <li>• Diminuir a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Aumentar o tempo de resfriamento do componente.</li> <li>• Aumentar a vazão de fluido refrigerante no molde de injeção.</li> <li>• Resfriar lentamente o componente em solução imersa em água, imediatamente, após a sua extração.</li> </ul>	
Temperatura do molde de injeção	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prover circuito de refrigeração na cavidade do molde de injeção.</li> </ul>	
Força de fechamento do molde	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empregar uma injetora com capacidade de injeção maior.</li> </ul>	Harada, 1991
Tempo de resfriamento do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a vazão de fluido refrigerante no molde de injeção.</li> <li>• Diminuir a temperatura de injeção do material.</li> </ul>	
% de umidade do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura de injeção do material.</li> </ul>	Belofsky, 1995

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: % de descoloração do componente**
  - Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Nível de degradação do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuir a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Diminuir o tempo do ciclo de injeção.</li> <li>• Adotar um volume de material injetado menor do que 2/3 da capacidade de vazão da máquina injetora.</li> <li>• Diminuir a velocidade de avanço do cilindro de injeção.</li> </ul>	Belofsky, 1995
% de contaminação do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspeccionar o cilindro de injeção.</li> <li>• Empregar um material de injeção isento de contaminação.</li> <li>• Aumentar a velocidade de avanço do cilindro de injeção.</li> </ul>	
Temperatura de injeção do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspeccionar o cilindro de injeção.</li> <li>• Diminuir a velocidade de avanço do cilindro de injeção.</li> </ul>	
Tamanho das saídas de gases no molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posicionar as saídas de ar do molde de injeção no ponto final de preenchimento da cavidade.</li> <li>• Alocar adequadamente o ponto de injeção de material no componente.</li> <li>• Diminuir a força de fechamento do molde de injeção.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: % de vazios do componente**
- Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Temperatura do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Aumentar a temperatura de injeção do material.</li> </ul>	OPP Petroquímica, 19-
Temperatura de injeção do material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura do molde de injeção.</li> <li>• Aumentar a temperatura de injeção do material.</li> </ul>	
Vazão de alimentação de material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a pressão de injeção.</li> <li>• Aumentar a pressão de recalque.</li> <li>• Aumentar o tamanho dos canais de injeção.</li> </ul>	
Pressão de injeção do material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a pressão de recalque.</li> <li>• Aumentar a vazão de injeção de material.</li> </ul>	
Tamanho dos pontos de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar o número de pontos de injeção.</li> </ul>	
Tamanho das saídas de gases do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posicionar as saídas de gases do molde de injeção no ponto final de preenchimento da cavidade</li> <li>• Alocar os canais de injeção, adequadamente, para obter o máximo de preenchimento da cavidade do molde.</li> <li>• Diminuir a força de fechamento do molde de injeção.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: % de vazios do componente**
- Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Diferença de espessura de parede do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adotar espessuras de parede no componente uniforme.</li> </ul>	OPP Petroquímica, 19-
% de contração do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a pressão de injeção.</li> <li>• Diminuir a velocidade de avanço do cilindro de injeção.</li> <li>• Aumentar a vazão de alimentação de material.</li> <li>• Aumentar o tamanho dos canais de injeção.</li> <li>• Resfriar lentamente o componente em solução imersa em água, imediatamente, após a sua extração.</li> <li>• Aumentar a velocidade de avanço do cilindro.</li> </ul>	
Velocidade de injeção do material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a pressão de injeção.</li> <li>• Diminuir a velocidade de avanço do cilindro de injeção.</li> <li>• Aumentar a vazão de alimentação de material.</li> <li>• Aumentar o tamanho dos canais de injeção.</li> <li>• Resfriar lentamente o componente em solução imersa em água, imediatamente, após a sua extração.</li> </ul>	
Umidade do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura de injeção do material.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: % de vulcanização prematura do componente**
- Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Temperatura de injeção do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuir a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Diminuir o tempo do ciclo de injeção.</li> </ul>	Belofsky, 1995
% de umidade do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura de injeção do material.</li> </ul>	
Tamanho das saídas de gases do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posicionar as saídas de ar do molde de injeção no ponto final de preenchimento da cavidade.</li> <li>• Diminuir a força de fechamento do molde de injeção.</li> </ul>	
Velocidade de injeção do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuir a velocidade de avanço do cilindro de injeção.</li> <li>• Diminuir o tempo de aplicação da pressão de recalque.</li> <li>• Diminuir a pressão de injeção.</li> <li>• Aumentar o tamanho do ponto de injeção de material.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: Nível de acabamento superficial do componente elevado**
- Valor: Maior

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Tamanho dos pontos de injeção	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adotar as dimensões para os pontos de injeção: <math>\varnothing 0,8</math> a 1 para espessura <math>\leq 1,5</math> mm; <math>\varnothing 1</math> a 1,5 para espessura <math>1,5 &lt; e &lt; 3,5</math> mm; <math>\varnothing 2</math> a 3 para espessura <math>e \geq 3,5</math> mm;</li> <li>• Empregar um princípio de solução número 16 da figura L.5.</li> </ul>	Rhodia. ST/BR/0985/ 004

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: Nível de empenamento do componente**
- Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Força de extração do componente do molde de injeção	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a conicidade do molde de injeção.</li> </ul>	OPP Petroquímica, 19-
Temperatura de extração do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuir a temperatura do molde de injeção.</li> <li>• Diminuir a temperatura de injeção do material.</li> </ul>	
Uniformidade da temperatura do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otimizar o resfriamento do molde de injeção.</li> </ul>	
Dimensão do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inserir nervuras no componente.</li> <li>• Alterar a espessura das nervuras do componente.</li> <li>• Alocar adequadamente o ponto de injeção de material no componente.</li> <li>• Empregar um princípio de solução número 4 da figura L.5.</li> </ul>	Rhodia. ST/BR/0985/004
Temperatura de injeção do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuir a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Aumentar o tempo de resfriamento do componente.</li> <li>• Resfriar lentamente o componente em solução imersa em água, imediatamente, após a sua extração.</li> </ul>	Belofsky, 1995
Nível de tensão interna do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuir a pressão de injeção.</li> <li>• Aumentar a vazão de fluido refrigerante no molde de injeção.</li> <li>• Aumentar o tempo de resfriamento do componente.</li> <li>• Aumentar a temperatura do molde de injeção.</li> <li>• Manter a velocidade de avanço do cilindro de injeção constante.</li> </ul>	
Espessura da parede do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura do molde de injeção.</li> <li>• Aumentar a temperatura do cilindro de injeção.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: Nível de opaco do componente**
- Valor: Maior

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Temperatura de injeção do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuir o tempo do ciclo de injeção.</li> <li>• Diminuir a pressão de injeção.</li> </ul>	Belofsky, 1995
Área de contato do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuir o número de cavidades do molde de injeção.</li> <li>• Adotar uma injetora com capacidade de injeção maior.</li> </ul>	
Nível de acabamento superficial do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuir a vazão de injeção de material.</li> </ul>	
Tamanho das saídas de gases do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspeccionar as saídas de gases do molde de injeção.</li> <li>• Aumentar o tamanho das saídas de gases dos moldes de injeção, mantendo um limite de 0,0127 mm da profundidade do componente.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: Número de fissuras na superfície do componente**
- Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Pressão de injeção do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a velocidade de avanço do cilindro de injeção.</li> <li>• Diminuir o tempo de aplicação da pressão de recalque.</li> </ul>	Belofsky, 1995
Temperatura de injeção do material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Aumentar o tempo do ciclo de injeção.</li> <li>• Empregar uma injetora com capacidade de injeção maior.</li> </ul>	
Número de cantos vivos do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar áreas com grandes concentrações de tensão no componente.</li> <li>• Evitar o emprego de insertos no componente.</li> <li>• Eliminar os cantos vivos do componente.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: Número de listras prateadas do componente**
- Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Temperatura de injeção do material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Aumentar a temperatura do molde de injeção.</li> </ul>	Belofsky, 1995
Velocidade de injeção de material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Aumentar o tempo do ciclo de injeção.</li> </ul>	



- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado:** Número de listras prateadas do componente
- **Valor:** Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Temperatura do molde de injeção	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prover circuito de refrigeração na cavidade do molde de injeção.</li> </ul>	Belofsky, 1995
% de umidade do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura de injeção do material.</li> </ul>	
Temperatura de injeção do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuir a temperatura do bico de injeção.</li> <li>• Diminuir a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Diminuir o tempo do ciclo de injeção.</li> </ul>	
% de contaminação do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empregar um material de injeção isento de contaminação.</li> <li>• Inspeccionar o cilindro de injeção.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado:** Número de marcas de fluxo do componente
- **Valor:** Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Temperatura de injeção do material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura do molde de injeção.</li> <li>• Aumentar a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Aumentar o tempo do ciclo de injeção.</li> </ul>	OPP Petroquímica, 19-
Temperatura do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura do molde de injeção.</li> <li>• Aumentar a temperatura do cilindro de injeção.</li> </ul>	
% de umidade do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empregar um material de injeção isento de contaminação.</li> <li>• Empregar um material de injeção isento de umidade.</li> </ul>	
Velocidade de injeção do material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a velocidade de avanço do cilindro de injeção.</li> </ul>	
Nível de acabamento superficial do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar o polimento da superfície do molde.</li> </ul>	
Índice de fluidez do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empregar um material com índice de fluidez maior.</li> </ul>	
% de contaminação do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustar a pressão de recalque.</li> <li>• Ajustar a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Inspeccionar o cilindro de injeção.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado:** Número de linhas de solda do componente
- **Valor:** Maior

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Temperatura de injeção do material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Aumentar a temperatura do molde de injeção.</li> <li>• Aumentar o tempo do ciclo de injeção.</li> </ul>	Belofsky, 1995

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado:** Número de linhas de solda do componente
- **Valor:** Maior

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Pressão de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a velocidade do cilindro de injeção.</li> <li>• Aumentar o tempo de aplicação da pressão de recalque.</li> <li>• Diminuir o tempo de preenchimento do molde.</li> <li>• Aumentar o tamanho dos canais de injeção.</li> </ul>	Belofsky, 1995
Temperatura do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura do molde de injeção.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado:** Resistência a quebra sob tensão ambiental
- **Valor:** Maior

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Temperatura de injeção do material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a velocidade de avanço do cilindro de injeção.</li> </ul>	OPP Petroquímica, 19-
Temperatura do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a velocidade de avanço do cilindro de injeção.</li> </ul>	
Nível de compactação do material no molde de injeção	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustar a pressão de injeção.</li> <li>• Ajustar a pressão de recalque.</li> <li>• Ajustar a vazão de alimentação de material no molde de injeção.</li> </ul>	
% de contaminação do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empregar um material de injeção isento de contaminação.</li> </ul>	
Temperatura de montagem do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montar o componente, somente, quando a sua temperatura estiver baixa.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado:** Número de rebarbas do componente
  - Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Vazão de alimentação do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuir a pressão de recalque.</li> <li>• Diminuir a vazão de injeção de material.</li> </ul>	OPP Petroquímica, 19--
Nível de acabamento superficial do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar a existência de relevos nas faces do molde de injeção.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado:** Número de operações envolvidas na montagem do componente
  - Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Tempo de desmontagem do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adotar montagem do componente do tipo elástica.</li> <li>• Adotar um ângulo de ataque entre 20° e 30°; ângulo de encaixe da ordem de 40° e para acoplamentos desmontáveis da ordem de 50°.</li> <li>• Empregar o princípio número 8 da figura L.5.</li> </ul>	Rhodia. ST/BR/0985/ 004
Tempo de montagem do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adotar montagem do componente do tipo snap.</li> <li>• Dimensionar o snap considerando uma deformação de 5 %, o comprimento e a espessura do snap (esporão), conforme o seguinte modelo matemático: <math>f=0,03 \cdot L^2 \cdot h</math>, onde <math>f</math> = flecha do snap; <math>L</math> = comprimento em mm e <math>h</math> = espessura em mm</li> <li>• Empregar um princípio de solução número 9</li> </ul>	
Resistência a torção do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adotar montagem do componente por soldagem por ultrassom</li> <li>• Adotar insertos recartilhados ou entalhados fixados por ultrassom</li> <li>• Empregar um princípio de solução número 10, 11, 12, 13 14 figura L.5.</li> <li>• Adotar montagem do componente por união.</li> </ul>	
Resistência a tração do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adotar montagem por soldagem por ultrassom</li> <li>• Adotar insertos recartilhados ou entalhados fixados por ultrassom</li> <li>• Empregar um princípio de solução número 10, 12 e 13 da figura L.5.</li> </ul>	
Tempo de manufatura do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adotar montagem por soldagem por ultrassom</li> <li>• Adotar insertos recartilhados ou entalhados fixados por ultrassom</li> <li>• Empregar um princípio de solução número 9, 10, 11, 12, 13 e 14 da figura L.5.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado:** Resistência da interface entre componente e inserto
  - Valor: Maior

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Dimensão do inserto	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar o pré-aquecimento do inserto antes da sobremoldagem.</li> <li>• Adotar formas arredondadas na união entre o inserto e o componente.</li> <li>• Considerar a contração diferencial entre o inserto e o material do componente.</li> </ul>	Rhodia. ST/BR/0985/ 004

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado:** Resistência das linhas de solda
  - Valor: Maior

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Velocidade de injeção do material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a pressão de injeção.</li> <li>• Ajustar a vazão de alimentação de material no molde de injeção.</li> </ul>	OPP Petroquímica, 19--
Nível de acabamento superficial do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspeccionar o molde de injeção.</li> </ul>	
Espessura da linha de solda	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alocar adequadamente o ponto de injeção do componente.</li> </ul>	
Índice de fluidez do material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empregar um material de injeção com índice de fluidez maior.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: Resistência a fragilidade**
- Valor: Maior

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Nível de compactação do material no molde de injeção	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustar a pressão de injeção.</li> <li>• Ajustar a pressão de fechamento do molde de injeção.</li> <li>• Ajustar a vazão de alimentação de material no molde.</li> <li>• Ajustar a pressão de recalque.</li> </ul>	OPP Petroquímica, 19-
% de contaminação do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspeccionar o cilindro de injeção.</li> <li>• Empregar um material de injeção isento de contaminação.</li> </ul>	
Número de cantos vivos do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adotar um raio de arredondamento entre 1 a 1,5 mm.</li> </ul>	Rhodia. ST/BR/0985/004
Temperatura de injeção do material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Diminuir a velocidade de avanço do cilindro de injeção.</li> </ul>	
Temperatura de injeção do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuir a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Adotar um volume de material injetado menor do que 2/3 da capacidade de vazão da máquina injetora.</li> <li>• Diminuir o tempo do ciclo de injeção.</li> <li>• Diminuir a pressão de recalque.</li> </ul>	Belofsky, 1995
Temperatura do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura do molde de injeção.</li> <li>• Diminuir a pressão de injeção.</li> <li>• Diminuir a vazão de fluido refrigerante no molde de injeção.</li> </ul>	
Vazão de alimentação de material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a pressão de injeção</li> <li>• Aumentar o tempo de aplicação da pressão de recalque</li> <li>• Manter a velocidade de avanço do cilindro de injeção constante</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: Resistência estrutural do componente**
- Valor: Maior

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Espessura da parede do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar o número de nervuras do componente.</li> <li>• Empregar um princípio de solução número 18</li> </ul>	Rhodia. ST/BR/0985/004
Espessura da parede do componente	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empregar um princípio de solução número 18</li> </ul>	
Número de cantos vivos do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projetar filetes com cantos arredondados.</li> <li>• No caso de filetagem negativa (filetagem fêmea), interromper a filetagem do componente antes do fundo do mesmo.</li> <li>• No caso de filetagem positiva (filetagem macho), haverá maior vantagem se houver interrupção no plano de junção das peças.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: Tempo de montagem do componente**
- Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Tempo de manufatura do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adotar montagem por soldagem por ultrassom</li> <li>• Adotar insertos recartilhados ou entalhados fixados por ultrassom</li> <li>• Empregar um princípio de solução números 2, 10, 12, 13 e 14.</li> </ul>	Rhodia. ST/BR/0985/004

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: Tolerância dimensional do componente**
- Valor: Maior

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Tempo do ciclo de injeção	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adotar, em condições normais, tolerâncias de <math>\pm 0,2</math> % da cota nominal.</li> <li>• Adotar, em condições de precisão, tolerâncias de <math>\pm 0,1</math> % da cota nominal.</li> <li>• Adotar um volume de material injetado menor do que 2/3 da capacidade máxima de vazão da injetora.</li> <li>• Aumentar o nível de tolerâncias dimensionais se usar molde de múltiplas cavidades.</li> <li>• Aumentar o nível de tolerâncias dimensionais quando a cota corresponder a duas partes diferentes do molde de injeção.</li> </ul>	Rhodia. ST/BR/0985/004

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: Tempo de montagem do componente**
- Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Resistência a torção do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adotar parafusos triobulares que apresentam torque de aperto menor, risco de fissuração menor e proporcionam autofixação devido à deformação do material.</li> <li>• Adotar o diâmetro do furo da ordem de 0,8 a 0,9 d</li> <li>• Adotar um comprimento de fixação de 2 a 2,5 d</li> <li>• Adotar uma conicidade do orifício de 1° 30'</li> <li>• Empregar um princípio de solução números 6 e 7</li> </ul>	Rhodia. ST/BR/0985/ 004
Tempo de desmontagem do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adotar montagem do tipo elástica.</li> <li>• Adotar um ângulo de ataque entre 20° e 30°; ângulo de encaixe na ordem de 40 ° e para acoplamentos desmontáveis da ordem de 50°.</li> <li>• Empregar um princípio de solução número 8</li> </ul>	
Tempo de montagem do componente	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adotar montagem do componente do tipo snap.</li> <li>• Dimensionar o snap considerando uma deformação de 5 %, o comprimento e a espessura do snap (esporão), conforme o seguinte modelo matemático: <math>f=0,03 \cdot L^2 \cdot h</math>, onde f= flecha do snap; L = comprimento em mm e h = espessura em mm</li> <li>• Empregar um princípio de solução número 9</li> </ul>	
Resistência a tração do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adotar montagem do componente por soldagem por ultrassom</li> <li>• Adotar insertos recartilhados ou entalhados fixados por ultrassom</li> <li>• Empregar um princípio de solução números 10, 11, 12 e 13.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: Força de extração do componente do molde**
- Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Temperatura do molde de injeção	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuir a temperatura de injeção do material.</li> <li>• Aumentar o tempo do ciclo da injetora.</li> </ul>	OPP Petroquímica, 19--
Temperatura do material de injeção	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a vazão de refrigerante no molde.</li> <li>• Aumentar o tempo do ciclo da injetora.</li> </ul>	
Nível de compactação do material no molde	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuir a pressão de injeção.</li> <li>• Diminuir a pressão de recalque.</li> <li>• Diminuir a vazão de injeção de material.</li> <li>• Ajustar a vazão de alimentação de material no molde de injeção.</li> </ul>	
Nível de acabamento superficial do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar o polimento da superfície do molde de injeção.</li> <li>• Retificar o molde de injeção.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: Força de extração do componente do molde**
- Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Conicidade do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminar os cantos vivos do componente.</li> <li>• Adotar uma conicidade do molde de injeção na ordem de 0,5° a 1,0°.</li> </ul>	OPP Petroquímica, 19--
Temperatura de extração do componente	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar o tempo de resfriamento do componente.</li> <li>• Diminuir a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Aumentar a vazão de fluido refrigerante no molde de injeção.</li> <li>• Projetar undercuts no canal de injeção para ejetar adequadamente o componente.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado: Número de processos para manufaturar o molde de injeção.**
- Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Tempo de manufatura do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empregar um princípio de solução números 2 e 3.</li> </ul>	Rhodia. ST/BR/0985/ 004

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado:** Força de remoção dos canais de alimentação do molde
  - Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Índice de fluidez do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar o tempo do ciclo de injeção.</li> </ul>	OPP Petroquímica, 19-
Temperatura de injeção do material	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a vazão de fluido refrigerante no molde de injeção.</li> <li>• Diminuir a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Aumentar o tempo de resfriamento do componente.</li> </ul>	
Tamanho do ponto de injeção	Maior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adotar um bico de injeção com tamanho menor que o tamanho do canal de injeção.</li> <li>• Adotar uma bucha de injeção com diâmetro maior. O diâmetro do bucha do canal principal precisa ser pelo menos 1/16 " maior que o diâmetro do canal principal e o diâmetro do bocal. No caso de bucha cônica, recomenda-se de 3,5 a 5 " incluindo o ângulo.</li> </ul>	Belofsky, 1995

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado:** Tempo de ciclo de injeção
  - Valor: Menor

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Pressão de injeção do material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a velocidade de avanço do cilindro de injeção.</li> <li>• Aumentar o tempo de aplicação da pressão de recalque.</li> </ul>	Belofsky, 1995
Temperatura de injeção do material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar o tempo do ciclo de injeção.</li> <li>• Aumentar a temperatura do cilindro de injeção.</li> <li>• Aumentar a temperatura na zona frontal de avanço de material.</li> </ul>	
Temperatura do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otimizar o resfriamento do molde de injeção.</li> <li>• Aumentar a temperatura do molde de injeção.</li> </ul>	
Vazão de alimentação de material	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a pressão de recalque</li> <li>• Aumentar o tamanho dos canais de injeção.</li> <li>• Aumentar o tamanho do ponto de injeção de material.</li> <li>• Inspeccionar o cilindro de injeção.</li> </ul>	
Tamanho das saídas de gases do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posicionar as saídas de ar do molde de injeção no ponto final de preenchimento da cavidade.</li> <li>• Diminuir a velocidade de avanço do cilindro de injeção.</li> <li>• Diminuir a força de fechamento do molde de injeção.</li> <li>• Aumentar a vazão de injeção de material.</li> </ul>	

- **Parâmetro de Engenharia de Componentes Injetados a ser Otimizado:** Uniformidade da vazão de material no molde
  - Valor: Maior

Parâmetro de Engenharia de Componente Injetado Conflitante	Valor do atributo	Diretriz de Projeto de Componentes Injetados	Referência
Temperatura do molde de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura do canal de injeção.</li> </ul>	OPP Petroquímica, 19-
Temperatura do material de injeção	Menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a temperatura do canal de injeção.</li> </ul>	

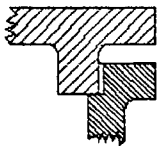
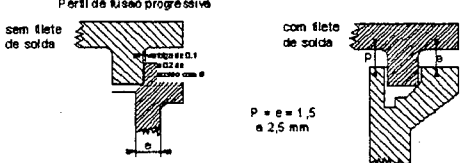
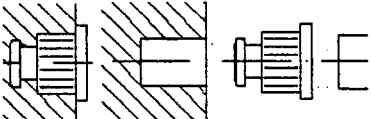
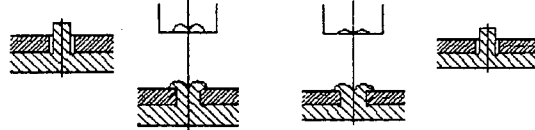
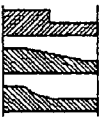
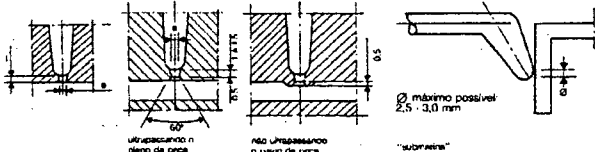
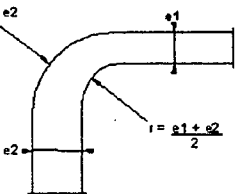
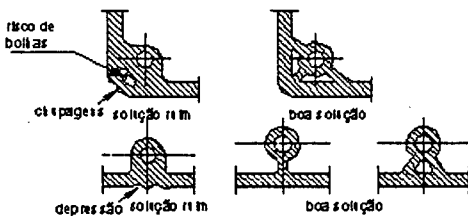
Figura L.5. Relação de princípios de solução de componentes injetados apresentados na matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados.

Número do Princípio	Representação	Descrição
1	<p> <math>D=1,2 \text{ a } 1,8d</math>  <math>1,2 \text{ a } 1,5d \text{ para } d&gt;50</math>  <math>1,5 \text{ a } 1,8d \text{ para } d&lt;50</math> </p> <p>inserto recartilhado (ângulos arredondados)</p> <p>inserto liso</p> <p>contração</p>	Sobremoldagem dos inserts, que não devem fragilizar o material que o envolve. A junção dos inserts deve ser feita sobre cantos arredondados.

Figura L.4. Relação de princípios de solução de componentes injetados apresentados na matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados.

Número do Princípio	Representação	Descrição
2		Princípio do tipo snap, configurado de modo a reduzir o tempo de manufatura do molde de injeção.
3		Princípio visando a eliminação de gaveta do molde de injeção.
4		Indicado para componentes que apresentam grandes dimensões, sendo susceptíveis a deformações. Indica-se alimentação simultânea de todos os pontos de injeção.
5		Princípio de união por junta.
6		Parafuso, visando suportar uma maior quantidade de carga.
7		Parafuso com extremidade cônica, para suportar uma maior quantidade de carga.
8		Princípio de projeto de encaixe por colchetes, indicado para reduzir o tempo de montagem de componentes
9		Princípio de projeto do tipo snap, indicado para montagem rápida.
10		Princípio de projeto de soldagem por ultrassom, visando melhorar a resistência a torção e tração, assim como o tempo de manufatura do componente injetado.

Figura L.4. Relação de princípios de solução de componentes injetados apresentados na matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados.

Número do Princípio	Representação	Descrição
11	<p>Perfil de desengate</p> 	<p>Princípio de projeto de soldagem por ultrassom, visando melhorar a resistência a torção e tração, assim como o tempo de manufatura do componente injetado.</p>
12	<p>Perfil de fusão progressiva</p> 	<p>Princípio de projeto de soldagem por ultrassom, visando melhorar a resistência a torção e tração, assim como o tempo de manufatura do componente injetado.</p>
13		<p>Princípio de projeto de fixação de insertos por ultrassom, visando melhorar a resistência a torção e tração, assim como o tempo de manufatura do componente injetado.</p>
14		<p>Princípio de projeto de rebiteamento por ultrassom, visando melhorar o tempo de manufatura do componente injetado.</p>
15		<p>Princípio empregado quando se deseja variar a espessura das paredes do componente.</p>
16	<p>Injeção capilar.</p> 	<p>Princípio empregado quando se deseja um acabamento superficial de qualidade superior. A injeção do tipo capilar não é indicado para componentes com espessura de parede elevada.</p>
17	<p>Variações em um ângulo</p> 	<p>Princípio empregado quando se deseja a variação da espessura da parede em ângulo.</p>
18		<p>Princípio de projeto para reforçar a espessura da parede do componente injetado, visando reduzir o acúmulo de material em pontos locais.</p>

# ANEXO M. PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DE COMPONENTES INJETADOS

## M.1. Introdução



Neste anexo são apresentados alguns princípios de solução em termo de suas formas e atributos, conforme as informações descritas na tabela M.1, que foram compiladas da tabela 4.13.



## M.2. Princípios de Solução

Tabela M.1. Modelo de representação do princípio de solução.


Representação Gráfica Do Princípio De Solução		NOME: Nome do princípio de solução FUNÇÕES DESEMPENHADAS: lista de funções desempenhadas pelo princípio.	
ATRIBUTOS GERAIS	BÁSICOS	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Funcionamento:</b> refere-se as funções que podem ser desempenhadas pelo princípio de solução.</li> <li><b>Ergonômico:</b> Qualitativo, refere-se a maior ou menor habilidade do ser humano em interagir com o princípio</li> <li><b>Segurança:</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor capacidade do princípio de solução em oferecer segurança ao usuário.</li> <li><b>Confiabilidade:</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor confiabilidade do princípio de solução.</li> <li><b>Normalização:</b> refere-se àquelas normas que devem ser consideradas no projeto e na manufatura do princípio de solução.</li> <li><b>Modularidade:</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor facilidade de modularizar o princípio de solução.</li> </ol>	
	Econômico	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Produto:</b> qualitativo, refere-se ao maior ou menor impacto das características do princípio de solução sobre o custo do componente injetado.</li> <li><b>Material:</b> qualitativo, refere-se ao maior ou menor impacto do tipo de material do princípio de solução sobre o custo no componente injetado</li> <li><b>Processo de injeção:</b> qualitativo, refere-se ao maior ou menor impacto das características do processo de injeção associadas ao princípio de solução sobre o custo do componente injetado.</li> <li><b>Molde de injeção:</b> qualitativo, refere-se ao maior ou menor impacto das características do molde de injeção associadas ao princípio de solução sobre o custo do componente injetado.</li> <li><b>Processos de manufatura adicionais:</b> qualitativo, refere-se ao maior ou menor impacto das características dos processos adicionais associados ao princípio de solução sobre o custo do componente injetado.</li> </ol>	
	CICLO DE VIDA	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Manufaturabilidade do molde:</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor facilidade do princípio de solução ser manufaturado no molde de injeção.</li> <li><b>Manufaturabilidade do componente (processo):</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor facilidade do princípio de solução ser injetado.</li> <li><b>Montabilidade:</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor facilidade do princípio de solução em ser montado com os demais componentes e sistema técnico.</li> <li><b>Testabilidade:</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor facilidade do princípio de solução em ser testado.</li> <li><b>Embalabilidade:</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor facilidade do princípio em ser embalado.</li> <li><b>Transportabilidade:</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor facilidade do princípio em ser transportado.</li> <li><b>Armazenabilidade:</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor facilidade do princípio em ser armazenado.</li> <li><b>Comerciabilidade:</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor facilidade em dispor no mercado o princípio.</li> <li><b>Reciclabilidade:</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor facilidade do princípio de solução ser reciclado;</li> <li><b>Descartabilidade:</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor facilidade do princípio de solução ser descartado;</li> </ol>	
ATRIBUTOS ESPECÍFICOS	MATERIAL	Geométricos	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Forma:</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor complexidade das formas do princípio de solução.</li> <li><b>Configurações:</b> qualitativo, refere-se maior ou menor facilidade do princípio de solução em ser compatível com os demais princípios de solução.</li> <li><b>Dimensões:</b> refere-se a regras ou recomendações que devem ser contempladas no projeto do princípio.</li> <li><b>Resistência:</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor capacidade de suportar carregamentos.</li> <li><b>Acabamento:</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor facilidade do princípio de solução em assumir um acabamento superficial.</li> <li><b>Textura:</b> qualitativo, refere-se a maior ou menor facilidade do princípio em assumir uma textura.</li> <li><b>Tipo:</b> qualitativo, refere-se ao tipo de material do princípio de solução.</li> <li><b>Cor:</b> qualitativo, refere-se a cor do princípio de solução.</li> </ol>
	RESTRIÇÃO		<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Sistema:</b> refere-se àquelas restrições do princípio de solução em relação ao sistema.</li> <li><b>Processo:</b> refere-se àquelas restrições do princípio de solução em relação ao processo de injeção.</li> <li><b>Molde:</b> refere-se àquelas restrições do princípio de solução em relação ao molde.</li> <li><b>Material:</b> refere-se àquelas restrições do princípio de solução em relação ao material.</li> <li><b>Custo:</b> refere-se àquelas restrições do princípio de solução em relação aos aspectos econômicos.</li> </ol>




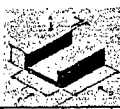
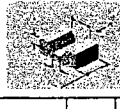
				<b>NOME:</b> Nervura (rib) <b>FUNÇÕES DESEMPENHADAS:</b> Acoplar, ajudar, auxiliar, alinhar, assistir, conter, ejetar, espaçar, guiar, limitar e montar.
		<b>ATRIBUTOS GERAIS</b>		
<b>ATRIBUTOS ESPECÍFICOS</b>				
		<b>ATRIBUTOS ESPECÍFICOS</b>		<b>MATERIAL</b> Geométricos 1. <b>Forma:</b> moderado 2. <b>Configurações:</b> moderada 3. <b>Dimensões:</b> devem ser consideradas regras e recomendações para dimensionar o princípio. 4. <b>Resistência:</b> elevada 5. <b>Acabamento:</b> moderada 6. <b>Textura:</b> baixa 7. <b>Tipo:</b> ABS, por exemplo. 8. <b>Cor:</b> translúcido, por exemplo.
				
		<b>ATRIBUTOS GERAIS</b>		
<b>ATRIBUTOS ESPECÍFICOS</b>				
		<b>ATRIBUTOS ESPECÍFICOS</b>		<b>MATERIAL</b> Geométricos 1. <b>Forma:</b> moderado 2. <b>Configurações:</b> moderada 3. <b>Dimensões:</b> devem ser consideradas regras e recomendações para dimensionar o princípio. 4. <b>Resistência:</b> elevada 5. <b>Acabamento:</b> moderada 6. <b>Textura:</b> baixa 7. <b>Tipo:</b> ABS, por exemplo. 8. <b>Cor:</b> translúcido, por exemplo.


		<b>NOME:</b> Parede lisa <b>FUNÇÕES DESEMPENHADAS:</b> acoplar, ajudar, auxiliar, alinhar, amplificar, assistir, cobrir, conectar, conter, restringir, criar, enclausurar, espaçar, estabilizar, expor, exibir, guiar, limitar, manter, montar, orientar, padronizar, permitir, posicionar, prevenir, proteger, reforçar, prender, suportar, trancar, transferir e transmitir.	
		<b>ATRIBUTOS GERAIS</b>	
<b>ATRIBUTOS GERAIS</b>	<b>BÁSICOS</b>	1. <b>Funcionamento:</b> acoplar, ajudar, ..., transferir e transmitir. 2. <b>Ergonômico:</b> elevada 3. <b>Segurança:</b> elevada 4. <b>Confiabilidade:</b> elevada 5. <b>Normalização:</b> devem ser consideradas informações relativas a espessura da parede 6. <b>Modularidade:</b> elevada	
		<b>ECONÔMICO</b>	1. <b>Produto:</b> baixo 2. <b>Material:</b> depende do material do componente injetado 3. <b>Processo de injeção:</b> baixo 4. <b>Molde de injeção:</b> baixo 5. <b>Processos de manufatura adicionais:</b> baixo
<b>CICLO DE VIDA</b>		1. <b>Manufaturabilidade do molde:</b> elevada 2. <b>Manufaturabilidade do componente (processo):</b> elevada 3. <b>Montabilidade:</b> elevada 4. <b>Testabilidade:</b> elevada 5. <b>Embalabilidade:</b> elevada 6. <b>Transportabilidade:</b> elevada 7. <b>Armazenabilidade:</b> elevada 8. <b>Comerciabilidade:</b> elevada 9. <b>Reciclabilidade:</b> dependente do material do componente injetado; 10. <b>Descartabilidade:</b> depende do material do componente injetado;	
<b>ATRIBUTOS ESPECÍFICOS</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>Geométricos</b>	1. <b>Forma:</b> baixa 2. <b>Configurações:</b> elevada 3. <b>Dimensões:</b> devem ser consideradas regras e recomendações para dimensionar o princípio. 4. <b>Resistência:</b> intermediária 5. <b>Acabamento:</b> elevado 6. <b>Textura:</b> elevada 7. <b>Tipo:</b> ABS, por exemplo. 8. <b>Cor:</b> translúcido, por exemplo.
	<b>RESTRIÇÃO</b>	1. <b>Sistema:</b> não se aplica. 2. <b>Processo:</b> não se aplica. 3. <b>Molde:</b> não se aplica. 4. <b>Material:</b> não se aplica. 5. <b>Custo:</b> não se aplica.	
		<b>NOME:</b> Parede em forma de L <b>FUNÇÕES DESEMPENHADAS:</b> acoplar, ajudar, auxiliar, alinhar, amplificar, assistir, cobrir, conectar, conter, restringir, criar, enclausurar, espaçar, estabilizar, expor, exibir, facilitar, guiar, limitar, manter, montar, orientar, guiar, padronizar, permitir, posicionar, prevenir, proteger, proteger, prover acesso, reforçar, segurar, prender, suportar, trancar, transferir e transmitir.	
<b>ATRIBUTOS GERAIS</b>	<b>BÁSICOS</b>	1. <b>Funcionamento:</b> acoplar, ajudar, ..., transferir e transmitir. 2. <b>Ergonômico:</b> elevada 3. <b>Segurança:</b> elevada 4. <b>Confiabilidade:</b> elevada 5. <b>Normalização:</b> devem ser consideradas informações relativas a espessura da parede 6. <b>Modularidade:</b> elevada	
		<b>ECONÔMICO</b>	1. <b>Produto:</b> baixo-intermediário 2. <b>Material:</b> depende do material do componente injetado 3. <b>Processo de injeção:</b> baixo-intermediário 4. <b>Molde de injeção:</b> baixo-intermediário 5. <b>Processos de manufatura adicionais:</b> baixo-intermediário
<b>CICLO DE VIDA</b>		1. <b>Manufaturabilidade do molde:</b> elevada 2. <b>Manufaturabilidade do componente (processo):</b> elevada 3. <b>Montabilidade:</b> elevada 4. <b>Testabilidade:</b> elevada 5. <b>Embalabilidade:</b> intermediária-elevada 6. <b>Transportabilidade:</b> intermediária-elevada 7. <b>Armazenabilidade:</b> intermediária-elevada 8. <b>Comerciabilidade:</b> elevada 9. <b>Reciclabilidade:</b> dependente do material do componente injetado; 10. <b>Descartabilidade:</b> depende do material do componente injetado;	
<b>ATRIBUTOS ESPECÍFICOS</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>Geométricos</b>	1. <b>Forma:</b> elevada 2. <b>Configurações:</b> elevada 3. <b>Dimensões:</b> devem ser consideradas regras e recomendações para dimensionar o princípio. 4. <b>Resistência:</b> intermediária 5. <b>Acabamento:</b> elevado 6. <b>Textura:</b> elevada 7. <b>Tipo:</b> ABS, por exemplo. 8. <b>Cor:</b> translúcido, por exemplo.
	<b>RESTRIÇÃO</b>	1. <b>Sistema:</b> não se aplica. 2. <b>Processo:</b> não se aplica. 3. <b>Molde:</b> não se aplica. 4. <b>Material:</b> não se aplica. 5. <b>Custo:</b> não se aplica.	


4 - Anexo M

		<p><b>NOME:</b> Parede em forma de U</p> <p><b>FUNÇÕES DESEMPENHADAS:</b> acoplar, auxiliar, alinhar, amplificar, cobrir, conectar, conter, restringir, criar, enclausurar, espaçar, estabilizar, expor, guiar, limitar, manter, montar, orientar, guiar, padronizar, permitir, posicionar, proteger, prover acesso, reforçar, segurar, prender, suportar, trancar, transferir e transmitir.</p>		
ATRIBUTOS GERAIS	BÁSICOS	1.	<b>Funcionamento:</b> acoplar, ajudar, ..., transferir e transmitir.	
		2.	<b>Ergonômico:</b> elevada	
	ECONÔMICO	3.	<b>Segurança:</b> elevada	
4.		<b>Confiabilidade:</b> elevada		
CICLO DE VIDA		5.	<b>Normalização:</b> devem ser consideradas informações relativas a espessura da parede	
		6.	<b>Modularidade:</b> elevada	
		1.	<b>Produto:</b> intermediário	
		2.	<b>Material:</b> depende do material do componente injetado	
		3.	<b>Processo de injeção:</b> intermediário	
		4.	<b>Molde de injeção:</b> intermediário	
		5.	<b>Processos de manufatura adicionais:</b> baixo	
		1.	<b>Manufaturabilidade do molde:</b> elevada	
		2.	<b>Manufaturabilidade do componente (processo):</b> elevada	
		3.	<b>Montabilidade:</b> elevada	
4.	<b>Testabilidade:</b> elevada			
5.	<b>Embalabilidade:</b> intermediária			
6.	<b>Transportabilidade:</b> intermediária			
7.	<b>Armazenabilidade:</b> intermediária			
8.	<b>Comerciabilidade:</b> elevada			
9.	<b>Reciclabilidade:</b> dependente do material do componente injetado;			
10.	<b>Descartabilidade:</b> depende do material do componente injetado;			
ATRIBUTOS ESPECÍFICOS	MATERIAL	Geométricos	1.	<b>Forma:</b> baixa
			2.	<b>Configurações:</b> elevada
3.			<b>Dimensões:</b> devem ser consideradas regras e recomendações para dimensionar o princípio.	
4.			<b>Resistência:</b> intermediária	
5.			<b>Acabamento:</b> elevado	
6.			<b>Textura:</b> elevada	
7.			<b>Tipo:</b> ABS, por exemplo.	
8.			<b>Cor:</b> translúcido, por exemplo.	
RESTRIÇÃO			1.	<b>Sistema:</b> não se aplica.
			2.	<b>Processo:</b> não se aplica.
			3.	<b>Molde:</b> não se aplica.
			4.	<b>Material:</b> não se aplica.
			5.	<b>Custo:</b> não se aplica.

		<p><b>NOME:</b> Parede retangular</p> <p><b>FUNÇÕES DESEMPENHADAS:</b> acoplar, auxiliar, alinhar, amplificar, cobrir, conectar, conter, restringir, enclausurar, espaçar, expor, exibir, guiar, limitar, manter, montar, orientar, padronizar, permitir, posicionar, prevenir, proteger, prover acesso, reforçar, segurar, prender, suportar, trancar, transferir e transmitir.</p>		
ATRIBUTOS GERAIS	BÁSICOS	1.	<b>Funcionamento:</b> acoplar, ajudar, ..., transferir e transmitir.	
		2.	<b>Ergonômico:</b> elevada	
	ECONÔMICO	3.	<b>Segurança:</b> elevada	
4.		<b>Confiabilidade:</b> elevada		
CICLO DE VIDA		5.	<b>Normalização:</b> devem ser consideradas informações relativas a espessura da parede	
		6.	<b>Modularidade:</b> elevada	
		1.	<b>Produto:</b> intermediário - elevado	
		2.	<b>Material:</b> depende do material do componente injetado	
		3.	<b>Processo de injeção:</b> intermediário - elevado	
		4.	<b>Molde de injeção:</b> intermediário - elevado	
		5.	<b>Processos de manufatura adicionais:</b> intermediário - elevado	
		1.	<b>Manufaturabilidade do molde:</b> elevada	
		2.	<b>Manufaturabilidade do componente (processo):</b> elevada	
		3.	<b>Montabilidade:</b> intermediária	
4.	<b>Testabilidade:</b> elevada			
5.	<b>Embalabilidade:</b> intermediária			
6.	<b>Transportabilidade:</b> intermediária			
7.	<b>Armazenabilidade:</b> intermediária			
8.	<b>Comerciabilidade:</b> elevada			
9.	<b>Reciclabilidade:</b> dependente do material do componente injetado;			
10.	<b>Descartabilidade:</b> depende do material do componente injetado;			
ATRIBUTOS ESPECÍFICOS	MATERIAL	Geométricos	1.	<b>Forma:</b> intermediária
			2.	<b>Configurações:</b> elevada
3.			<b>Dimensões:</b> devem ser consideradas regras e recomendações para dimensionar o princípio.	
4.			<b>Resistência:</b> intermediária	
5.			<b>Acabamento:</b> elevado	
6.			<b>Textura:</b> elevada	
7.			<b>Tipo:</b> ABS, por exemplo.	
8.			<b>Cor:</b> translúcido, por exemplo.	
RESTRIÇÃO			1.	<b>Sistema:</b> não se aplica.
			2.	<b>Processo:</b> não se aplica.
			3.	<b>Molde:</b> não se aplica.
			4.	<b>Material:</b> não se aplica.
			5.	<b>Custo:</b> não se aplica.

		<b>NOME:</b> Parede oval em forma de U <b>FUNÇÕES DESEMPENHADAS:</b> acoplar, auxiliar, alinhar, cobrir, conectar, conter, restringir, enclausurar, espaçar, estabilizar, expor, exibir, facilitar, guiar, limitar, manter, montar, orientar, guiar, padronizar, permitir, posicionar, prevenir, proteger, prover acesso, reforçar, segurar, prender, suportar, trancar, transferir e transmitir.	
		<b>Funcionamento:</b> acoplar, ajudar, ..., transferir e transmitir. <b>Ergonômico:</b> elevada <b>Segurança:</b> elevada <b>Confiabilidade:</b> elevada <b>Normalização:</b> devem ser consideradas informações relativas a espessura da parede <b>Modularidade:</b> elevada	
ATRIBUTOS GERAIS	BÁSICOS	1. <b>Funcionamento:</b> acoplar, ajudar, ..., transferir e transmitir. 2. <b>Ergonômico:</b> elevada 3. <b>Segurança:</b> elevada 4. <b>Confiabilidade:</b> elevada 5. <b>Normalização:</b> devem ser consideradas informações relativas a espessura da parede 6. <b>Modularidade:</b> elevada	
	ECONÔMICO	1. <b>Produto:</b> intermediário 2. <b>Material:</b> depende do material do componente injetado 3. <b>Processo de injeção:</b> intermediário 4. <b>Molde de injeção:</b> intermediário 5. <b>Processos de manufatura adicionais:</b> baixo	
	CICLO DE VIDA	1. <b>Manufaturabilidade do molde:</b> elevada 2. <b>Manufaturabilidade do componente (processo):</b> elevada 3. <b>Montabilidade:</b> elevada 4. <b>Testabilidade:</b> elevada 5. <b>Embalabilidade:</b> intermediária 6. <b>Transportabilidade:</b> intermediária 7. <b>Armazenabilidade:</b> intermediária 8. <b>Comerciabilidade:</b> elevada 9. <b>Reciclabilidade:</b> depende do material do componente injetado; 10. <b>Descartabilidade:</b> depende do material do componente injetado;	
ATRIBUTOS ESPECÍFICOS	MATERIAL	Geométricos	1. <b>Forma:</b> baixa 2. <b>Configurações:</b> elevada 3. <b>Dimensões:</b> devem ser consideradas regras e recomendações para dimensionar o princípio. 4. <b>Resistência:</b> intermediária 5. <b>Acabamento:</b> elevado 6. <b>Textura:</b> elevada 7. <b>Tipo:</b> ABS, por exemplo. 8. <b>Cor:</b> translúcido, por exemplo.
	RESTRIÇÃO		1. <b>Sistema:</b> não se aplica. 2. <b>Processo:</b> não se aplica. 3. <b>Molde:</b> não se aplica. 4. <b>Material:</b> não se aplica. 5. <b>Custo:</b> não se aplica.
		<b>NOME:</b> Ranhura horizontal interna <b>FUNÇÕES DESEMPENHADAS:</b> acoplar, ajudar, auxiliar, alinhar, assistir, ativar, conter, restringir, controlar, espaçar, evitar, guiar, limitar, manter, montar, padronizar, permitir, pivotar, posicionar, prender, fechar, fixar, prover acesso, reduzir, reforçar, restringir, segurar, prender, suportar e unir.	
		<b>Funcionamento:</b> acoplar, ajudar, ..., suportar e unir. <b>Ergonômico:</b> intermediário <b>Segurança:</b> elevada <b>Confiabilidade:</b> elevada <b>Normalização:</b> devem ser consideradas informações relativas ao dimensionamento das ranhuras <b>Modularidade:</b> elevada	
ATRIBUTOS GERAIS	BÁSICOS	1. <b>Funcionamento:</b> acoplar, ajudar, ..., suportar e unir. 2. <b>Ergonômico:</b> intermediário 3. <b>Segurança:</b> elevada 4. <b>Confiabilidade:</b> elevada 5. <b>Normalização:</b> devem ser consideradas informações relativas ao dimensionamento das ranhuras 6. <b>Modularidade:</b> elevada	
	ECONÔMICO	1. <b>Produto:</b> intermediário 2. <b>Material:</b> depende do material do componente injetado 3. <b>Processo de injeção:</b> intermediário 4. <b>Molde de injeção:</b> intermediário 5. <b>Processos de manufatura adicionais:</b> baixo	
	CICLO DE VIDA	1. <b>Manufaturabilidade do molde:</b> elevada 2. <b>Manufaturabilidade do componente (processo):</b> elevada 3. <b>Montabilidade:</b> elevada 4. <b>Testabilidade:</b> elevada 5. <b>Embalabilidade:</b> intermediária 6. <b>Transportabilidade:</b> intermediária 7. <b>Armazenabilidade:</b> intermediária 8. <b>Comerciabilidade:</b> intermediária 9. <b>Reciclabilidade:</b> depende do material do componente injetado; 10. <b>Descartabilidade:</b> depende do material do componente injetado;	
ATRIBUTOS ESPECÍFICOS	MATERIAL	Geométricos	1. <b>Forma:</b> intermediária-elevada 2. <b>Configurações:</b> intermediária 3. <b>Dimensões:</b> devem ser consideradas regras e recomendações para dimensionar o princípio. 4. <b>Resistência:</b> intermediária 5. <b>Acabamento:</b> intermediário 6. <b>Textura:</b> baixa 7. <b>Tipo:</b> ABS, por exemplo. 8. <b>Cor:</b> translúcido, por exemplo.
	RESTRIÇÃO		1. <b>Sistema:</b> não se aplica. 2. <b>Processo:</b> não se aplica. 3. <b>Molde:</b> não se aplica. 4. <b>Material:</b> não se aplica. 5. <b>Custo:</b> não se aplica.

		<b>NOME:</b> Ranhura circular interna <b>FUNÇÕES DESEMPENHADAS:</b> acoplar, ajudar, auxiliar, alinhar, assistir, ativar, conter, restringir, controlar, espaçar, evitar, guiar, limitar, manter, montar, padronizar, permitir, pivotar, posicionar, prender, fechar, fixar, prover acesso, reduzir, reforçar, restringir, segurar, prender, suportar e unir.	
		<b>ATRIBUTOS GERAIS</b>	<b>BÁSICOS</b>
<b>ECONÔMICO</b>	1. <b>Produto:</b> elevado 2. <b>Material:</b> depende do material do componente injetado 3. <b>Processo de injeção:</b> intermediário-elevado 4. <b>Molde de injeção:</b> elevado 5. <b>Processos de manufatura adicionais:</b> intermediário		
<b>ATRIBUTOS ESPECÍFICOS</b>	<b>CICLO DE VIDA</b>	1. <b>Manufaturabilidade do molde:</b> elevada 2. <b>Manufaturabilidade do componente (processo):</b> elevada 3. <b>Montabilidade:</b> elevada 4. <b>Testabilidade:</b> elevada 5. <b>Embalabilidade:</b> intermediária 6. <b>Transportabilidade:</b> intermediária 7. <b>Armazenabilidade:</b> intermediária 8. <b>Comerciabilidade:</b> intermediária 9. <b>Reciclabilidade:</b> dependente do material do componente injetado; 10. <b>Descartabilidade:</b> depende do material do componente injetado;	
	<b>MATERIAL</b> Geométricos	1. <b>Forma:</b> elevada 2. <b>Configurações:</b> intermediária-baixa 3. <b>Dimensões:</b> devem ser consideradas regras e recomendações para dimensionar o princípio. 4. <b>Resistência:</b> intermediária 5. <b>Acabamento:</b> baixa 6. <b>Textura:</b> baixa 7. <b>Tipo:</b> ABS, por exemplo. 8. <b>Cor:</b> translúcido, por exemplo.	
<b>RESTRIÇÃO</b>	1. <b>Sistema:</b> pode ser encaixado, somente, com princípio de forma compatível. 2. <b>Processo:</b> não se aplica. 3. <b>Molde:</b> molde, geralmente, deve possuir gavetas para extrair o princípio. 4. <b>Material:</b> não se aplica. 5. <b>Custo:</b> não se aplica.		

		<b>NOME:</b> Ranhura circular pino <b>FUNÇÕES DESEMPENHADAS:</b> acoplar, ajudar, auxiliar, alinhar, assistir, ativar, conter, restringir, controlar, espaçar, evitar, guiar, limitar, manter, montar, padronizar, permitir, pivotar, posicionar, prender, fechar, fixar, prover acesso, reduzir, reforçar, restringir, segurar, prender, suportar e unir.	
		<b>ATRIBUTOS GERAIS</b>	<b>BÁSICOS</b>
<b>ECONÔMICO</b>	1. <b>Produto:</b> intermediário-elevado 2. <b>Material:</b> depende do material do componente injetado 3. <b>Processo de injeção:</b> intermediário 4. <b>Molde de injeção:</b> elevado 5. <b>Processos de manufatura adicionais:</b> intermediário		
<b>ATRIBUTOS ESPECÍFICOS</b>	<b>CICLO DE VIDA</b>	1. <b>Manufaturabilidade do molde:</b> elevada 2. <b>Manufaturabilidade do componente (processo):</b> elevada 3. <b>Montabilidade:</b> elevada 4. <b>Testabilidade:</b> elevada 5. <b>Embalabilidade:</b> intermediária 6. <b>Transportabilidade:</b> intermediária 7. <b>Armazenabilidade:</b> intermediária 8. <b>Comerciabilidade:</b> intermediária 9. <b>Reciclabilidade:</b> dependente do material do componente injetado; 10. <b>Descartabilidade:</b> depende do material do componente injetado;	
	<b>MATERIAL</b> Geométricos	1. <b>Forma:</b> intermediária-elevada 2. <b>Configurações:</b> intermediária 3. <b>Dimensões:</b> devem ser consideradas regras e recomendações para dimensionar o princípio. 4. <b>Resistência:</b> intermediária 5. <b>Acabamento:</b> baixa 6. <b>Textura:</b> baixa 7. <b>Tipo:</b> ABS, por exemplo. 8. <b>Cor:</b> translúcido, por exemplo.	
<b>RESTRIÇÃO</b>	1. <b>Sistema:</b> pode ser encaixado, somente, com princípio de forma compatível. 2. <b>Processo:</b> não se aplica. 3. <b>Molde:</b> molde, geralmente, deve possuir gavetas para extrair o princípio. 4. <b>Material:</b> não se aplica. 5. <b>Custo:</b> não se aplica.		

# ANEXO N. MÉTODO DE SIMILARIDADE DE ESTIMATIVA DO CUSTO DO PROCESSO DE INJEÇÃO

## N.1. Introdução

Neste anexo é apresentado o desenvolvimento do método de similaridade para se estimar o custo do processo de injeção das alternativas de concepção de componentes injetados..

## N.2. Desenvolvimento do Método

No desenvolvimento deste método considerou-se a abordagem de Pahl e Beitz (1996), que apresenta o emprego deste método para processos de manufatura em geral. Em se tratando de componentes injetados, considerou-se as equações (3.7), (3.10), (3.22), (3.23) e (3.24) do método do ciclo de vida, as quais estão replicada nas equações (N.1), (N.2), (N.3), (N.4) e (N.5).

$$t_{INJ} = \frac{2 \cdot V_s}{v_{INJ}} \quad (N.1)$$

$$t_{REC} \cong 0,2 \cdot t_{INJ} \quad (N.2)$$

$$t_{RESF} = \frac{(\Delta z)^2}{4 \cdot e} \quad (N.3)$$

$$e = \frac{k}{\rho \cdot Cp} \quad (N.4)$$

$$t_{RESET} = 1 + 1,75 \cdot t_{cs} \cdot \left[ \frac{(2D + 0,05)}{A_{MAQ}} \right]^{1/2} \quad (N.5)$$

- onde:
- $t_{INJ}$  = Tempo de injeção do componente (s);
  - $t_{REC}$  = Tempo de aplicação da pressão de recalque do componente (s);
  - $t_{RESF}$  = Tempo de resfriamento do componente (s);
  - $t_{RESET}$  = Tempo de resetagem da máquina injetora (s);
  - $V_s$  = Volume de material injetado, considerando o volume do canal de injeção (m<sup>3</sup>);
  - $v_{INJ}$  = Vazão de injeção (m<sup>3</sup>/s);
  - $\Delta z$  = Maior espessura do componente (m);
  - $e$  = coeficiente de difusividade térmica (m<sup>2</sup>/s);
  - $k$  = Condutividade térmica do polímero (W/m.K);
  - $Cp$  = Calor específico do polímero (J/kg.K);
  - $\rho$  = Densidade do polímero (kg/m<sup>3</sup>).

2 - Anexo N

$t_{cs}$  = Tempo de ciclo seco (s);

D = Máxima profundidade do componente (m);

$A_{MAQ}$  = Abertura máxima da máquina de injeção para extração do componente (m);

Definindo o índice "s" para designar o componente similar (existente) e o índice "n" para designar o componente a ser projetado (em desenvolvimento).

Na sequência do desenvolvimento do método, é importante tomar conhecimento do modo no qual ocorre o incremento do custo do componente injetado de acordo com suas características dimensionais. Como resultado, elaborou-se a tabela N.1, sendo proposta com base na tabela 3.3 apresentada por Pahl e Beitz (1996).

Tabela N.1. Incremento do custo do processo de injeção segundo a dimensão do componente.

Etapas do ciclo de Injeção	Incremento do Custo do Componente			
	$\phi L_3$	$\phi L_2$	$\phi L_1$	Constante
Injeção	$CDU_{PROC INJ s}$			
Recalque	$CDU_{PROC REC s}$			
Resfriamento		$CDU_{PROC RESF s}$		
Resetagem			$CDU_{PROC RESET s}$	
$CDU_{PROC/COMP s}$	$\Sigma_3$	$\Sigma_2$	$\Sigma_1$	$\Sigma_0$
	$a_3 = \frac{\Sigma_3}{CDU_{PROCS}}$	$a_2 = \frac{\Sigma_2}{CDU_{PROCS}}$	$a_1 = \frac{\Sigma_1}{CDU_{PROCS}}$	$a_0 = \frac{\Sigma_0}{CDU_{PROCS}}$

As informações descritas na tabela N.1 mostram o desdobramento do custo do processo de injeção do componente injetado. Com a determinação destas informações dos componentes injetados similares, as mesmas podem ser utilizadas para estimar o custo direto unitário do processo de injeção do componente em desenvolvimento. Os valores de  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  e  $a_3$  podem ser obtidos através dos sistemas de gerenciamento de custos ou empregando-se programas de simulação do processo de injeção de componentes injetados.

Considerando as equações (N.1), (N.2), (N.3), (N.4) e (N.5), juntamente, com as equações (4.11) e (4.12), o custo direto unitário do processo de injeção do componente pode ser dado pela equação (N.6).

$$CDU_{PROC} = \frac{CD_{PROC/HORA}}{3600} \cdot \frac{1}{\eta_{PROC}} \cdot \frac{1}{N^{cav.}} \cdot \left\{ \frac{2 \cdot V_s}{v_{inj}} + \frac{0,4 \cdot V_s}{v_{inj}} + \frac{\rho \cdot Cp \cdot \Delta z^2}{4 \cdot k} + \left[ 1 + 1,75 \cdot t_d \left( \frac{2D + 0,05}{A_{MAQ}} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (N.6)$$

onde:  $CDU_{PROC}$  = Custo direto unitário do processo do componente injetado (R\$);  
 $CD_{PROC/HORA}$  = Custo unitário direto do processo por hora de produção (R\$/h);  
 $t_{INJ}$  = Tempo de injeção do componente (s);  
 $t_{REC}$  = Tempo de aplicação da pressão de recalque do componente (s);  
 $t_{RESF}$  = Tempo de resfriamento do componente (s);  
 $t_{RESET}$  = Tempo de resetagem da máquina injetora (s);  
 $V_s$  = Volume de material injetado, considerando o volume do canal de injeção (m<sup>3</sup>);  
 $v_{INJ}$  = Vazão de injeção (m<sup>3</sup>/s);  
 $\Delta z$  = Maior espessura do componente (m);  
 $k$  = Condutividade térmica do polímero (W/m.K);  
 $C_p$  = Calor específico do polímero (J/kg.K);  
 $\rho$  = Densidade do polímero (kg/m<sup>3</sup>).  
 $t_{CS}$  = Tempo de ciclo seco (s);  
 $D$  = Máxima profundidade do componente (m);  
 $A_{MAQ}$  = Abertura máxima da máquina de injeção para extração do componente (m);

Aplicando o método de similaridade, conforme as diretrizes apresentadas por Pahl e Beitz (1996), tem-se as seguintes equações para o desenvolvimento do método de similaridade:

$$CDU_{PROC\ n} = \varphi_{CDU\ proc} \cdot CDU_{PROC\ s} \quad (N.7)$$

$$CDU_{tci/COMP\ n} = \varphi_{CDU\ tci/proc} \cdot CDU_{tci/COMP\ s} \quad (N.8)$$

$$a_{CDU\ PROC\ k} = \frac{CDU_{tci/COMP\ k\ s}}{CDU_{PROC/COMP\ s}} \quad (N.9)$$

onde:  $CDU_{PROC\ n}$  = Custo direto unitário do processo do componente em desenvolvimento (R\$), resultado que se deseja obter;  
 $CDU_{PROC\ s}$  = Custo direto unitário do processo do componente similar (R\$);  
 $\varphi_{CDU\ PROC}$  = fator de similaridade do custo direto unitário do processo de injeção do componente em desenvolvimento e do componente similar;  
 $CDU_{tci/COMP\ n}$  = Custo direto unitário de cada etapa do ciclo de injeção do componente em desenvolvimento (R\$);  
 $CDU_{tci/COMP\ s}$  = Custo direto unitário de cada etapa do ciclo de injeção do componente similar (R\$);  
 $\varphi_{CDU\ tci\ proc}$  = fator de similaridade do custo direto unitário de cada etapa do processo de injeção do componente em desenvolvimento e do componente similar;  
 $a_{CDU\ PROC\ K}$  = parcela do custo direto unitário de cada etapa do ciclo de injeção sobre o custo direto unitário do processo de injeção do componente similar Na tabela N.1 correspondem aos valores de  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  e  $a_3$ ;  
 $CDU_{PROC\ s}$  = Custo direto unitário do processo do componente similar (R\$);  
 $k$  = número de etapas associadas ao ciclo de injeção do componente injetado similar.



Sendo assim, a equação (N.7) pode ser escrita da seguinte forma:

$$\varphi_{CDU_{PROCk}} = \sum CDU_{PROCk} \cdot \varphi_{TCVCOMP} \quad (N.10)$$

$$\varphi_{CDU_{PROCk}} = \sum a_{CDU_{PROCk}} \cdot \varphi_i^{x_k} \quad (N.11)$$

E, definindo:

$$\varphi_i = \frac{L_N}{L_s}; \quad \sum_k a_k = 1; \quad a_k \geq 0; \quad k=1,2,3e4.$$

$$b = CD_{PROC/h}; \quad c = \frac{1}{\eta_{PROC}}; \quad d = \frac{1}{n^o cav.}; \quad e = \frac{\rho \cdot Cp}{k}$$

Então, a equação (N.6) pode ser escrita da seguinte forma:

$$CDU_{PROCS} = \frac{b.c.d.}{3600} \left\{ \frac{2.V_s}{v_{inj}} + \frac{0,4.V_s}{v_{inj}} + \frac{e.\Delta z^2}{4} + 1 + 1,75.t_d \cdot \left( \frac{2.D+0,05}{A_{MAQ}} \right)^{1/2} \right\} \quad (N.12)$$

$$CDU_{PROC s} = 2,4 \cdot \frac{b.c.d.}{3600} \cdot \frac{V_s}{v_{inj}} + \frac{b.c.d.}{3600} \cdot \frac{e}{4} \Delta z^2 + 1,75 \cdot \frac{b.c.d.}{3600} \cdot t_d \cdot \left( \frac{2.D+0,05}{A_{MAQ}} \right)^{1/2} + \frac{b.c.d.}{3600} \quad (N.13)$$

Definindo os termos  $\beta_3$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_0$  como:

$$\beta_3 = \frac{2,4}{3600} \frac{b.c.d.}{v_{inj}} \quad \beta_2 = \frac{b.c.d.e}{3600} \quad \beta_1 = \frac{1,75 b.c.d. t_{cs}}{3600 A_{MAQ}^{1/2}} \quad \beta_0 = \frac{b.c.d.}{3600}$$

Então, a equação (N.13) pode ser escrita da seguinte forma:

$$CDU_{PROC} = \beta_3 * V_s + \beta_2 * \Delta z^2 + \beta_1 * (2.D + 5)^{1/2} + \beta_0 \quad (N.14)$$

Considerando as equações (N.7), (N.10) e (N.14) tem-se um conjunto de equações finais propostas para estimar o custo direto unitário do processo de injeção de componentes injetados, conforme descrito em (N.15), (N.16), (N.17), (N.18), (N.19) e (N.20).

$$CDU_{PROC n} = \varphi_{CDU_{proc}} \cdot CDU_{PROC s} \quad (N.15)$$

$$\varphi_{CDU_{PROC}} = a_3 \cdot \beta_3' \cdot \varphi_{i3} + a_2 \cdot \beta_2' \cdot \varphi_{i2}^2 + a_1 \cdot \beta_1' \cdot (\varphi_{i1})^{1/2} + \beta_0' \quad (N.16)$$

$$\varphi_{V3} = \frac{V_{inj n}}{V_{inj s}}; \quad \varphi_{i2} = \frac{\Delta Z_{COMP n}}{\Delta Z_{COMP s}}; \quad \varphi_{i1} = \frac{(2.D + 0,05)_{COMP n}}{(2.D + 0,05)_{COMP s}} \quad (N.17)$$

$$a_3 = \frac{CDU_{PROCINJS} + CDU_{PROCRECS}}{CDU_{PROCS}}; a_2 = \frac{CDU_{PROCRESFS}}{CDU_{PROCS}}; a_1 = \frac{CDU_{PROCRESETS}}{CDU_{PROCS}}; a_0 = \frac{Cte}{CDU_{PROCS}} \quad (N.18)$$

$$\beta'_0 = \frac{(b.c.d)_N}{(b.c.d)_S}; \quad \beta'_3 = \frac{(b.c.d)_N}{(b.c.d)_S} \cdot \frac{v_{INJS}}{v_{INJN}}; \quad (N.19)$$

$$\beta'_2 = \frac{(b.c.de)_N}{(b.c.de)_S}; \quad \beta'_1 = \frac{(t_{cs}.b.c.d)_N}{(A_{MAQ})_N^{1/2}} \cdot \frac{(A_{MAQ})_S^{1/2}}{(t_{cs}.b.c.d)_S}$$

$$b = CD_{PROC/h}; \quad c = \frac{1}{\eta_{PROC}}; \quad d = \frac{1}{n^{\circ}cav.}; \quad e = \frac{\rho.Cp}{k} \quad (N.20)$$

- onde:  $CDU_{PROC\ n}$  = Custo direto unitário do processo do componente em desenvolvimento (R\$), resultado que se deseja obter;
- $CDU_{PROCS}$  = Custo direto unitário do processo do componente similar (R\$);
- $\varphi_{V3}, \varphi_{I2}$  e  $\varphi_{I1}$  = fator de similaridade entre o componente injetado em desenvolvimento e o componente injetado similar;
- $V_{inj}$  = Volume de material injetado, considerando o volume do canal de injeção (m<sup>3</sup>);
- $\Delta z$  = Maior espessura do componente (m);
- $D$  = Máxima profundidade do componente (m);
- $a_3, a_2, a_1$  e  $a_0$  = parcela do custo direto unitário de cada etapa do ciclo de injeção sobre o custo direto unitário do processo de injeção do componente similar Na tabela 4.16 correspondem aos valores de  $a_0, a_1, a_2$  e  $a_3$ ;
- $CDU_{PROCS}$  = Custo unitário direto do processo de injeção do componente injetado (R\$);
- $CDU_{PROCRESFS}$  = Custo unitário direto da etapa de resfriamento do componente injetado (R\$);
- $CDU_{PROCINJS}$  = Custo unitário direto da etapa de injeção do componente injetado (R\$);
- $CDU_{PROCRECS}$  = Custo unitário direto da etapa de recalque do componente injetado (R\$);
- $CDU_{PROCRESETS}$  = Custo unitário direto da etapa de reset do componente injetado (R\$);
- $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  e  $\beta_4$  = constantes;
- $CDU_{PROC/h}$  = Custo direto do processo de injeção por hora (R\$/h);
- $k$  = Condutividade térmica do polímero (W/m.K);
- $Cp$  = Calor específico do polímero (J/kg.K);
- $\rho$  = Densidade do polímero (kg/m<sup>3</sup>);
- $t_{cs}$  = Tempo de ciclo seco (s);
- $A_{MAQ}$  = Abertura máxima da máquina de injeção para extração do componente (m);
- $\eta_{PROC}$  = Rendimento do processo de injeção do componente injetado (%);
- $N^{\circ} Cav$  = Número de cavidades do molde de injeção (número);

## ANEXO O. MÉTODO MACBETH

### O.1. Introdução

Neste anexo são apresentados os tipos de descritores e aspectos específicos da construção da matriz de juízo de valor para cada requisito de projeto no método MACBETH. Estas informações foram compiladas dos trabalhos de Bana e Costa (1992), Bana e Costa e Vansnick (1994), Bana e Costa *et al.* (1995).

### O.2. Tipos de Descritores dos Requisitos de Projeto

Segundo Bana e Costa (1992), no método MACBETH, podem ser empregados três tipos de descritores, sendo eles:

i) **QUANTITATIVOS**, quando os descritores podem ser representados de forma adequada, somente, por números; caso contrário, é classificado como **QUALITATIVO**;

ii) **CONTÍNUO**, se o descritor puder ser representado por uma função matemática contínua; caso seja formado por um número finito de níveis é dito **DISCRETO**;

iii) **DIRETO**, é aquele descritor em que há um conjunto de níveis naturalmente associados. Este descritor é aquele tão geral no seu uso que possui uma interpretação comum para todos os atores envolvidos no processo de decisão. Por exemplo, se o ponto de vista é minimizar custo de material do componente injetado, o "custo de material em Reais" é um descritor direto; os descritores **CONSTRUÍDOS** são empregados em situações onde é muito difícil ou impossível de encontrar descritores naturais para determinados requisitos de projeto (por exemplo, melhorar a imagem do produto, maximizar a satisfação dos clientes, entre outros). A construção destes descritores envolve a definição de estados ou níveis de impacto aceitáveis para cada ponto de vista em questão (por exemplo, quanto a imagem do produto - classe mundial, similar à concorrência e inferior à concorrência; quanto a qualidade do atendimento - recomendável, normal e deixa a desejar); os **INDIRETOS** são aqueles que permitem mensurar um requisito de projeto, entretanto, não de forma direta (por exemplo, em uma situação envolvendo o requisito "acessabilidade do usuário ao interior de um componente injetado" não é possível a determinação direta de um "nível de acessabilidade", no entanto pode-se utilizar a "tempo médio para acessar o componente no interior de uma máquina" como descritor indireto).

### O.3. Aspectos Específicos da Construção da Matriz de Juízo de Valor

A construção desta matriz supõe que, a cada nível do descrito de um dado requisito de projeto está associada uma alternativa de concepção hipotética, e que estas estão ordenadas por

## 2 - Anexo O

decrecente de atratividade. Assim, o decisor pode expressar os seus julgamentos de diferença de atratividade em relação a um dado requisito de projeto. É importante ressaltar que, como as alternativas de concepção hipotéticas foram ordenadas por ordem decrescente de atratividade, a construção da matriz de juízo de valor torna-se simplificada. Caso não fosse realizada esta ordenação prévia, não seria possível utilizar esta matriz triangular superior, o que dificultaria a identificação nos julgamentos de valor do decisor (Enslin, 1997).

Apesar disto, quando as matrizes de juízos de valor começam a ficar muito grande é difícil para o decisor avaliar todas as ações de maneira coerente. Nestas situações, podem ocorrer a identificação de dois tipos de inconsistências, sendo: semântica e cardinal. No caso dos julgamentos serem semanticamente inconsistentes, o decisor atribui uma categoria de diferença de atratividade a um par de ações que não é logicamente aceitável. A consistência semântica é assegurada se, os valores correspondentes aos julgamentos de valor do decisor não decrescerem em linha da esquerda para a direita, nem crescerem em coluna de cima para baixo. (Bana e Costa, 1992). Por sua vez, na inconsistência cardinal, todos os julgamentos semânticos estão corretos, no entanto não é possível sua representação através de uma escala cardinal dentro dos números reais. Neste caso, o próprio algoritmo de MACBETH fornecerá uma solução aproximada para o problema.

de ações seja igual ao limiar inferior da categoria mais o valor de 1 unidade.



# ANEXO P. FLUXOGRAMA DO SISCOI

## P.1. Fluxograma do SISCOI

Na figura P.1 estão representados os elementos constituintes do SISCOI.

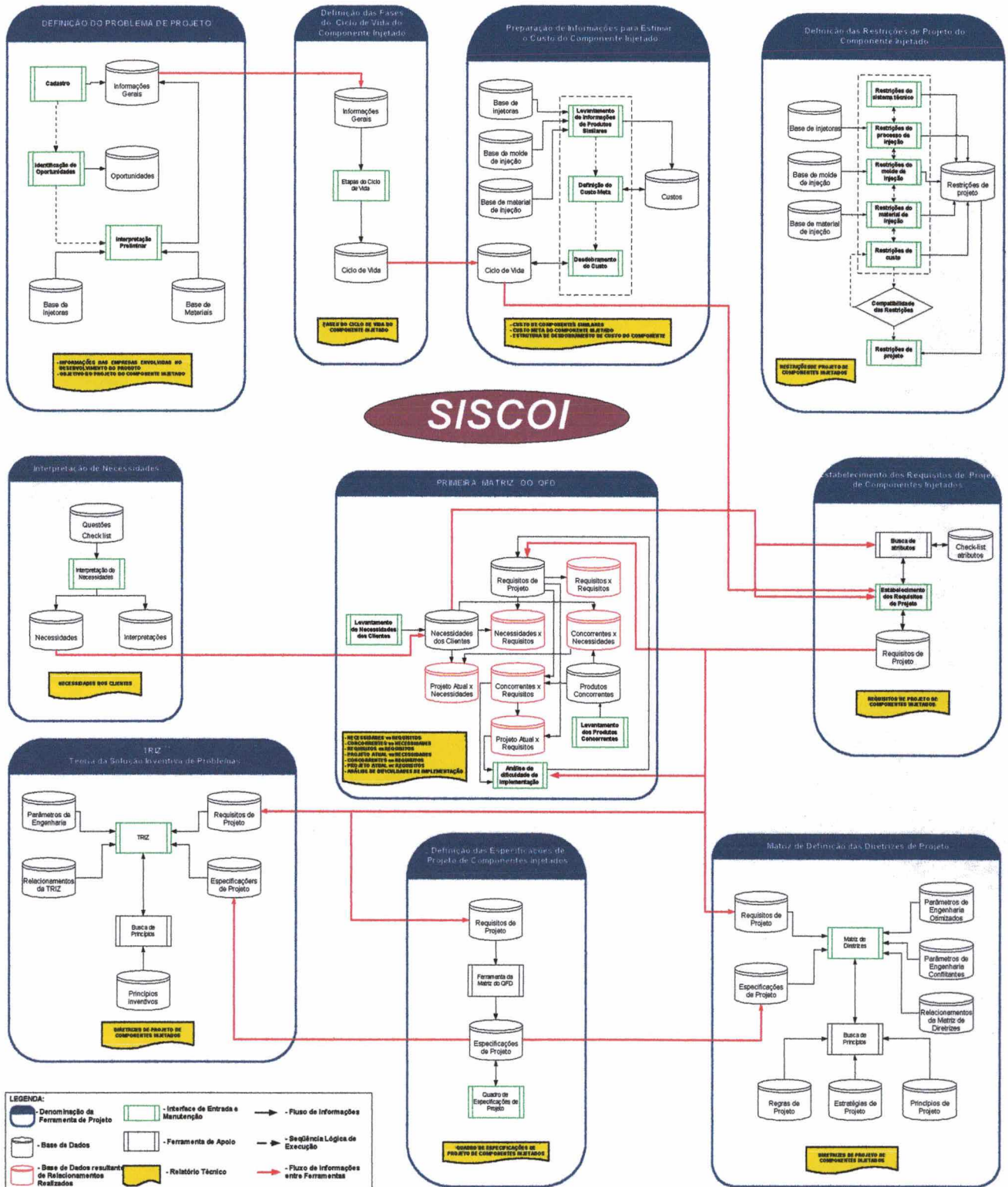


Figura P.1. Fluxograma com os elementos constituintes do SISCOI.

# ANEXO Q. DOCUMENTAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO SisCusto

## Q.1. Introdução

Neste anexo são apresentados os diagramas conceituais, de classe e de estados do Software de Apoio ao Processo de Estimativa de Custos de Componentes Injetados (SisCusto).

## Q.2. Documentação do SISCUSTO

Nas figuras Q.1, Q.2 e Q.3 são apresentados, respectivamente, o diagrama conceitual, o diagrama de classe e o diagrama de estados do SisCusto.

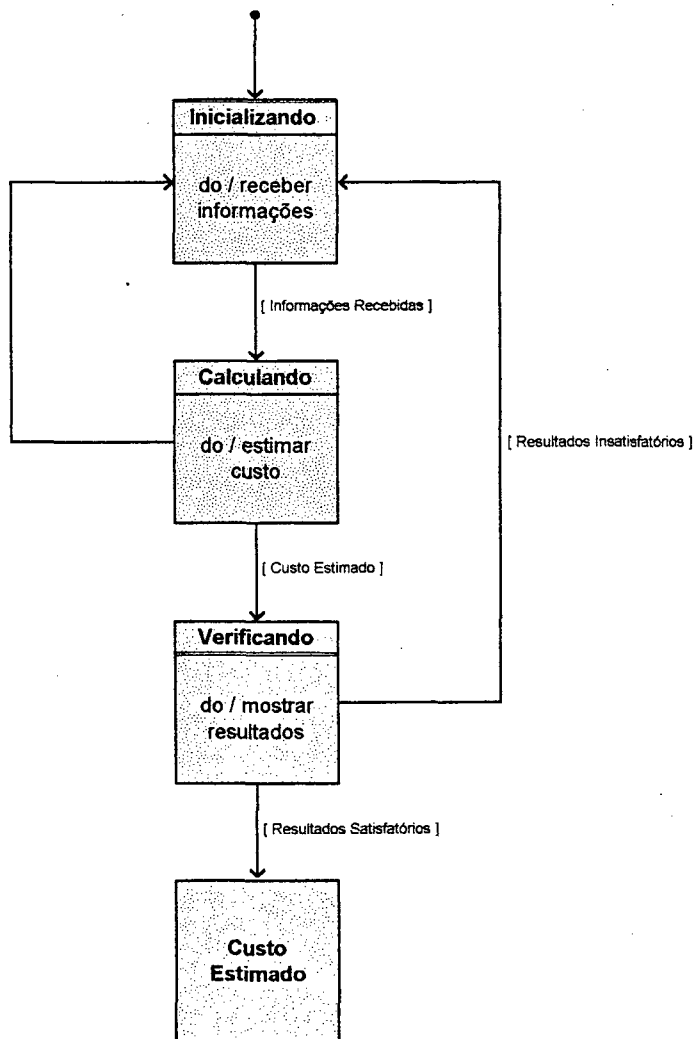


Figura Q.1. Diagrama de sequência do SisCusto - Software de Apoio à Estimativa de Custos de Componentes Injetados.

# ANEXO R. RELATÓRIOS DO SISCOI - ESTUDO DE CASO DO PROJETO DE GUIAS DO COLETOR DE CÉDULAS

## R.1. Introdução

Neste anexo são apresentados os relatórios da fase de projeto informacional do projeto de guias do coletor de cédulas.

Estes relatórios foram obtidos empregando-se o SISCOI, sendo eles de:

- Definição do problema de projeto;
- Ciclo de vida do componente injetado;
- Restrições de projeto do componente injetado;
- Necessidades dos clientes;
- Requisitos de projeto;
- Especificações de projeto do componente injetado;
- Teoria da solução inventiva de problemas;
- Matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados;

Além destes relatórios, o SISCOI permite que sejam emitidos os seguintes relatórios referentes ao preenchimento da Primeira Matriz do QFD.

- O ques vs Comos;
- Como vs Comos;
- Concorrentes vs O ques;
- Concorrentes vs Comos;
- Projeto atual vs O ques;
- Projeto atual vs Comos;
- Análise de dificuldade de implementação;

## R.2. Relatórios Emitidos para o Estudo de Caso

Na sequência, estão representados alguns exemplos dos relatórios citados acima, considerando o projeto de guias do coletor de cédulas. São eles:

- Definição do problema de projeto;
- Restrições de projeto do componente injetado;
- Especificações de projeto do componente injetado;
- Teoria da solução inventiva de problemas; e,
- Matriz de definição das diretrizes de projeto de componentes injetados.





**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

## **Definição do Problema**

**Esta Ferramenta permite identificar os elementos atuantes no desenvolvimento do componente injetado, identificar as oportunidades de negócio, registrar o pedido do solicitante e definir o objeto geral do projeto do produto.**



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

**Ordem de serviço**

Número: 1

**Informações do contratante do projeto:**

**Nome** Empresa A  
**Endereço** Campus Universitário  
**CPF/CGC** 123.456.789-0  
**Telefone** 3312000  
**Fax**  
**E-mail**

**Informações do responsável pelo processo de injeção:**

**Nome** Cimject  
**Endereço** UFSC  
**CPF/CGC** 123.456.789-2  
**Telefone** 3319000  
**Fax** 2341519  
**E-mail**

**Informações do responsável pelo molde de injeção:**

**Nome** Polimold  
**Endereço**  
**CPF/CGC**  
**Telefone**  
**Fax**  
**E-mail** [www.polimold.com.br](http://www.polimold.com.br)

**Informações do responsável pelo material de injeção:**

**Nome** Rhodia  
**Endereço**  
**CPF/CGC**  
**Telefone**  
**Fax**  
**E-mail** [www.rhodia.com](http://www.rhodia.com)



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

**Identificação de oportunidades**

Existe mercado para o projeto em estudo?

Sim  
Devido a necessidade da automatização bancária.

Existe perspectiva de lucro para este projeto?

Sim

O projeto em estudo oferece melhores vantagens do que seus concorrentes?

Sim

Existe uma clara diferenciação deste projeto para os demais projetos existentes no mercado?

Sim

É possível identificar o benefício básico deste projeto (vantagem principal) com relação aos projetos existentes?

Sim



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

---

São conhecidos os fatores que determinarão o sucesso comercial deste projeto?

Sim

---

É possível estimar um preço meta para o projeto em estudo?

Sim

O preço das guias devem situar-se em torno de R\$ 20,00 cada.

---

É possível estimar a vida do projeto em estudo?

Sim

5 anos

---

É possível estimar o tempo de retorno do investimento antes de começar a entrar na fase lucrativa?

Não

---

É possível estimar o lucro total previsto durante toda a vida do projeto no mercado?

Não



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

Quantos sistemas ou produtos foram analisados para que a equipe de projeto pudesse fornecer tais comentários?

Sim

Foi analisado um conjunto de guias.



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

**Informações preliminares da solicitação de projeto:**

**Pedido do Solicitante:**

Desenvolver um conjunto de guias de plástico para serem empregadas em uma máquinas de pagamento automático de contas.

**Produção estimada de componentes injetados por mês: 1000**

**Tipo de material do compoente injetado: ABS**

**Tipo de máquina operadora: Battenfeld 150/50 cdc B**

**Investimento disponível para a aquisição do molde de injeção: 12000**

**Interpretação preliminar da solicitação de projeto:**

**Objetivo geral:**

Desenvolver um conjunto de quatro guias manufaturadas em resina plástica. O projeto desta guia deve contemplar as necessidades, requisitos e restrições associadas ao sistema técnico.

**Tipo de projeto: Inovativo**

**Tipo de produto: Conjunto - Sistema**



Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos

**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

**Ordem de serviço**

Número: 1

**Objetivo Geral:** Desenvolver um conjunto de quatro guias manufaturadas em resina plástica. O projeto desta guia deve contemplar as necessidades,

**Contratante:** Empresa A

## **Restrições Técnicas do Componente Injetado**

**Esta Ferramenta permite que sejam definidas as restrições funcionais, geométricas, do ciclo de vida e econômicas associadas ao desenvolvimento do componente injetado.**

### **Dimensões do componente**

Altura máxima do componente (mm): 30  
Comprimento máximo do componente (mm): 115.699996948242  
Largura máxima do componente (mm): 88

### **Restrições funcionais**

**Função principal do componente:** Guiar as cédulas de dinheiro através do conjunto de guias.

**Funções auxiliares do componente:** Permitir articulação para limpeza das guias, fixar o sensor, fixar a mola dos roletes, encaixar/montar no sistema e limitar o ângulo de abertura da guia da frente para que a guia feche automaticamente quando do fechamento do sistema.

### **Restrições geométricas**

**Princípios utilizados para conectar o componente ao sistema:** Pequenas protusões que são utilizadas para montar o conjunto das guias ao sistema. A posição da barra de reforço, se mantida no novo projeto deve ser preservada, O desenho em anexo mostra o tipo de conector.

**Funções auxiliares do componente:** Snaps devem ser empregados para pressionar a mola contra os roletes e manter o posicionamento do sensor. Os arquivos em anexo mostram os detalhes dos sensores que devem ser preservados no projeto.

O molde pode apresentar gavetas? Não



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

**Ordem de serviço**

Número: 1

**Objetivo Geral:** Desenvolver um conjunto de quatro guias manufaturadas em resina plástica. O projeto desta guia deve contemplar as necessidades,

**Contratante:** Empresa A

**Restrições associadas a distribuição, venda, uso, retirada e descarte do componente injetado**

Sem restrições

O material do componente não deve degradar quando utiliza-se material químico para limpeza.

Sem restrições

**Restrições econômicas**

Custo direto máximo do componente (R\$): 7,00

Preço máximo a ser pago pelo molde de injeção (R\$): 4000,00

**Informações adicionais que definem as restrições de projeto do componente injetado**

Sistema técnico: Sem restrições

**Processo de injeção:** A pressão de injeção máxima é de 2500 bar.

**Molde de injeção:** O inserto de STL, devido a limitações do equipamento, pode ter a dimensão máxima de 250 x 250 x 250 mm. A área projetada máxima do molde é de 270 x 270 mm e para as cavidades 152 x 122 mm.

**Material de injeção:** A resina empregada no conjunto de guias deve ser de material resistente a água, isto é, higroscópico.

**Custo:** Os recursos para aquisição dos 4 moldes sendo, 1 para cada guia, é de R\$ 16000,00.





**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

Ordem de serviço

Número: 1

Contratante: Empresa A

## Especificações de Projeto do Componente Injetado

**Esta ferramenta apresenta as especificações de projeto do componente injetado. O conjunto destas especificações é composto pelas informações apresentadas nas ferramentas de:**

- Contratação de projeto do componente injetado;
- Definição do ciclo de vida do componente injetado;
- Preparação de informações para estimar o custo do componente injetado;
- Definição das restrições de projeto do componente injetado;
- TRIZ - Teoria da solução inventiva de problemas;
- Definição das diretrizes de projeto do componente injetado;

**Nome do produto:** Guia para coletagem de cédulas

**Objetivo do projeto do componente injetado:** Desenvolver um conjunto de quatro guias manufaturadas em resina plástica. O projeto desta guia deve contemplar as necessidades, requisitos e restrições associadas ao sistema técnico.

**Especificações de projeto do componente injetado:**

Ordem	Requisito de Projeto	Valor	Unid.	Metas	Conflitantes
1	dimensões		mm	Minimizar	
2	número de features		Núm	Minimizar	
3	custo do molde		R\$	Minimizar	16
4	número de nervuras		Núm	Minimizar	12/9/13
5	tolerância dimensional			Minimizar	
6	tolerância de forma			Minimizar	
7	vida útil 5 anos		anos	Maximizar	12
8	custo do processo		R\$	Minimizar	
9	confiabilidade 1/12000			Maximizar	
10	custo do material		R\$	Minimizar	
11	vol. produção (100 peças)		Núm	Maximizar	
12	deformação permissível		mm	Minimizar	
13	resist. impacto (manut)			Maximizar	
14	espessura parede cte		mm	Maximizar	
15	rugosidade		mm	Minimizar	
16	desgaste no ciclo de vida		mm	Minimizar	
17	massa injetada (95 g PS)		g	Minimizar	
18	índice de fluidez			Maximizar	
19	área projetada		mm <sup>2</sup>	Minimizar	
20	folga desvio cédula		mm	Minimizar	21



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

**Ordem de serviço**

Número: 1

**Contratante:** Empresa A

21	dimensões comp/cédula		mm	Maximizar
22	tempo de montagem		s	Minimizar
23	resist. ataque químico			Maximizar
24	resistir ao calo (0-50 C)		o	Maximizar
25	deslocamento rel. peça		mm	Maximizar

**Ordem 1**      **Requisito de Projeto** dimensões

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

**Ordem 2**      **Requisito de Projeto** número de features

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

**Ordem 3**      **Requisito de Projeto** custo do molde

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

**Ordem 4**      **Requisito de Projeto** número de nervuras

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

**Ordem de serviço**

Número: 1

**Contratante:** Empresa A

Ordem 5 **Requisito de Projeto** tolerância dimensional

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

Ordem 6 **Requisito de Projeto** tolerância de forma

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

Ordem 7 **Requisito de Projeto** vida útil 5 anos

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

Ordem 8 **Requisito de Projeto** custo do processo

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

Ordem 9 **Requisito de Projeto** confiabilidade 1/12000

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

**Ordem de serviço**

Número: 1

**Contratante:** Empresa A

**Ordem** 10 **Requisito de Projeto** custo do material

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

**Ordem** 11 **Requisito de Projeto** vol. produção (100 peças)

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

**Ordem** 12 **Requisito de Projeto** deformação permissível

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

**Ordem** 13 **Requisito de Projeto** resist. impacto (manut)

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

**Ordem** 14 **Requisito de Projeto** espessura parede cte

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

**Ordem de serviço**

Número: 1

**Contratante:** Empresa A

**Ordem 15**      **Requisito de Projeto** rugosidade

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

**Ordem 16**      **Requisito de Projeto** desgaste no ciclo de vida

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

**Ordem 17**      **Requisito de Projeto** massa injetada (95 g PS)

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

**Ordem 18**      **Requisito de Projeto** índice de fluidez

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

**Ordem 19**      **Requisito de Projeto** área projetada

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

**Ordem de serviço**

Número: 1

**Contratante:** Empresa A

**Ordem 20**      **Requisito de Projeto** folga desvio cédula

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

**Ordem 21**      **Requisito de Projeto** dimensões comp/cédula

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

**Ordem 22**      **Requisito de Projeto** tempo de montagem

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

**Ordem 23**      **Requisito de Projeto** resist. ataque químico

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**

**Ordem 24**      **Requisito de Projeto** resistir ao calo (0-50 C)

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

**Ordem de serviço**

Número: 1

**Contratante:** Empresa A

Ordem 25 Requisito de Projeto deslocamento rel. peça

**Saídas desejadas:**

**Saídas indesejadas:**



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

**Ordem de serviço**

Número: 1

**Objetivo Geral:** Desenvolver um conjunto de quatro guias manufaturadas em resina plástica. O projeto desta guia deve contemplar as necessidades,

**Contratante:** Empresa A

## **Teoria da Solução Inventiva de Problemas**

**Esta ferramenta apresenta uma série de orientações, princípios inventivos, para a solução das contradições entre os requisitos de projeto do produto.**

### **Requisitos de Projeto em Contradição**

Requisito a ser otimizado: custo do molde

Meta: Minimizar

Requisito conflitante: desgaste no ciclo de vida

Meta: Minimizar

### **Parâmetro de Engenharia da TRIZ**

Parâmetro de engenharia a ser otimizado: Manufaturabilidade

Interpretação: Refere-se ao grau de facilidade, conforto ou esforço despendido na fabricação do sistema.

Parâmetro de engenharia conflitante: Adaptabilidade ou versatilidade

Interpretação: Corresponde ao modo pelo qual o sistema responde, positivamente, a mudanças externas. Também, refere-se a capacidade do sistema em poder ser utilizado em diferentes modos e circunstâncias.

### **Princípios Inventivos da TRIZ Extração**

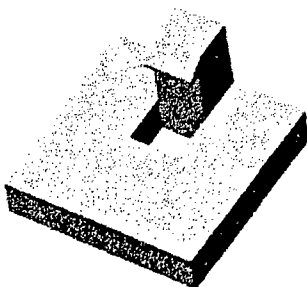
#### **Interpretação**

a) Extraia (remova ou separe) uma parte ou propriedade indesejada do objeto; b) Extraia somente a parte ou propriedade necessária;

#### **Exemplo genérico**

Para afugentar os pássaros da proximidade de aeroportos pode ser empregado um aparelho de som para reproduzir o som dos pássaros. O som está separado dos pássaros.

#### **Exemplo aplicado ao domínio de projeto de componentes injetados**







**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

Ordem de serviço

Número: 1

**Objetivo Geral:** Desenvolver um conjunto de quatro guias manufaturadas em resina plástica. O projeto desta guia deve contemplar as necessidades,

**Contratante:** Empresa A

### Princípios Inventivos da TRIZ Inversão

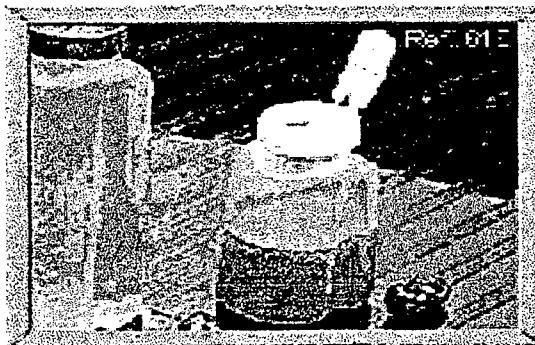
#### Interpretação

a) Em vez de implementar uma ação especificada do problema, implemente uma ação contrária ; b) Transforme uma parte imóvel do objeto em móvel e, vice-versa; c) Alterar a posição do objeto, isto é, da posição superior para a posição inferior.

#### Exemplo genérico

Processo de abrasão, onde os componentes são limpos através da sua própria vibração, ao invés dos movimento do abrasivo, propriamente dito.

#### Exemplo aplicado ao domínio de projeto de componentes injetados



### Princípios Inventivos da TRIZ Dinamicidade

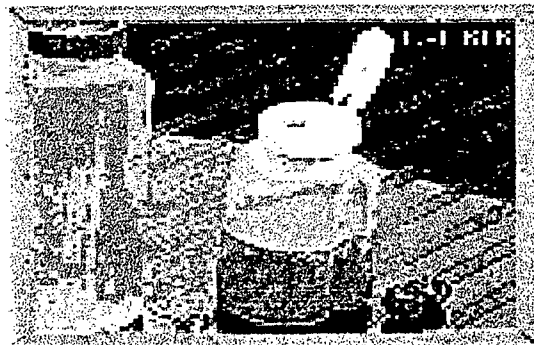
#### Interpretação

a) Faça um objeto ajustar, automaticamente, visando otimizar o seu desempenho na sua operação; b) Divida o objeto em componentes, que permitem movimento relativo entre si; c) faça um objeto imóvel, móvel ou intercambiável.

#### Exemplo genérico

Uma lanterna com um abertura flexível entre o seu corpo e a lâmpada.

#### Exemplo aplicado ao domínio de projeto de componentes injetados





**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

Ordem de serviço

Número: 1

**Objetivo Geral:** Desenvolver um conjunto de quatro guias manufaturadas em resina plástica. O projeto desta guia deve contemplar as necessidades,

**Contratante:** Empresa A

## Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados

Esta ferramenta apresenta uma série de princípios de solução, regras e estratégias para a solução das contradições entre os requisitos de projeto do produto.

### Requisitos de Projeto

Requisito a ser otimizado: custo do molde

Meta: Minimizar

Requisito conflitante: desgaste no ciclo de vida

Meta: Minimizar

### Parâmetro de Engenharia

Parâmetro de eng. de projeto de C.I. a ser otimizado: Menor nível de empenamento do componente

Parâmetro de eng. de projeto de C.I. conflitante: Maior dimensão do componente

### Diretrizes de Projeto de Componente Injetado

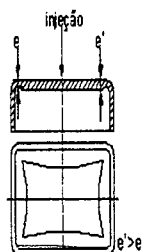
#### Estratégias de projeto

Alocar adequadamente o ponto de injeção de material no componente.

Alterar a espessura das nervuras do componente.

Inserir nervuras no componente.

#### Princípios de projeto



Princípio indicado para componentes que apresentam grandes dimensões, sendo susceptíveis a deformações. Indica-se alimentação simultânea de todos os pontos de injeção.



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

**Ordem de serviço**

Número: 1

**Objetivo Geral:** Desenvolver um conjunto de quatro guias manufaturadas em resina plástica. O projeto desta guia deve contemplar as necessidades,

**Contratante:** Empresa A

**Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados**

**Esta ferramenta apresenta uma série de princípios de solução, regras e estratégias para a solução das contradições entre os requisitos de projeto do produto.**

**Requisitos de Projeto**

Requisito a ser otimizado: número de nervuras

Meta: Minimizar

Requisito conflitante: confiabilidade 1/12000

Meta: Maximizar

**Parâmetro de Engenharia**

Parâmetro de eng. de projeto de C.I. a ser otimizado: Menor nível de empenamento do componente

Parâmetro de eng. de projeto de C.I. conflitante: Maior nível de tensão interna do componente

**Diretrizes de Projeto de Componente Injetado**

**Estratégias de projeto**

Aumentar a temperatura do molde de injeção.

Aumentar o tempo de resfriamento do componente.

Diminuir a pressão de injeção.

Diminuir a velocidade de avanço do cilindro de injeção.

Manter a velocidade de avanço do cilindro de injeção constante.



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

Ordem de serviço

Número: 1

**Objetivo Geral:** Desenvolver um conjunto de quatro guias manufaturadas em resina plástica. O projeto desta guia deve contemplar as necessidades,

**Contratante:** Empresa A

## Matriz de Definição das Diretrizes de Projeto de Componentes Injetados

**Esta ferramenta apresenta uma série de princípios de solução, regras e estratégias para a solução das contradições entre os requisitos de projeto do produto.**

### Requisitos de Projeto

Requisito a ser otimizado: vida útil 5 anos

Meta: Maximizar

Requisito conflitante: deformação permissível

Meta: Minimizar

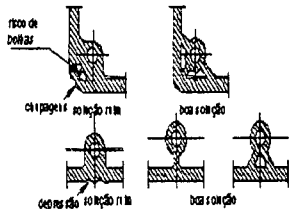
### Parâmetro de Engenharia

Parâmetro de eng. de projeto de C.I. a ser otimizado: Maior resistência estrutural do componente

Parâmetro de eng. de projeto de C.I. conflitante: Menor espessura da parede do componente

### Diretrizes de Projeto de Componente Injetado

#### Princípios de projeto



Princípio de projeto para reforçar a espessura da parede do componente injetado, visando reduzir o acúmulo de material em pontos locais.