

4. REFERÊNCIAS

Akao, Y., 1990, "Quality Function Deployment - QFD : Integrating Customers Requirements into Product Design". Cambridge. Productivity Press.

Back, N, 1983, "Metodologia de Projeto". Rio de Janeiro. Editora Guanabara Dois.

Ferreira, C.V, 1997, "Estimativa de Custos de Produtos na Fase de Projeto Conceitual: Uma Metodologia para Seleção da Estrutura Funcional e da Alternativa de Solução". Florianópolis. SC. CPGEM. UFSC. Dissertação.

Ferreira, C.V.,1998, "Estimativa de Custos de Componentes Injetados". Florianópolis. SC. 1998. CPGEM. UFSC. Relatório.

Ferreira, C.V. 2000. " TRIZ - Teoria da Solução de Problemas Inventivos". PPGEM. EMC. CTC. UFSC. Apostila.

Pahl, G. & Beitz, W., 1995. "Engineering Design : a Systematic Approach". Berlin. Springer Verlag.

Pugh, S., 1990, "Total Design. Integrated Methods for Successful Product Engineering". Addison-Wesley Publishing Company.

Roozenburg, N.F.M. e Eekels, J., 1995, "Product Design.: fundamental and methods". England: John & Sons Ltda. ISBN 047194351-7

Terninko, J., Zusman, A. e Zlotin, B., 1998, "Systematic Innovation. An Introduction to TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving). St. Lucie Press.

Theory of Inventive Problem Solving. www-personal.engin.umich.edu/~gmazur/triz

Ullman, D.G. "The Mechanical Design Process". Mc-Graw Hill. Mechanical Technology Series. 1992. ISBN 007065739-1.

3. CONCLUSÕES

As metodologias de projeto tradicionais foram elaboradas considerando a “teoria de sistemas técnicos” e esta abordagem não se mostra a mais adequada ao desenvolvimento de componentes injetados. O projeto do componente injetado inicia-se com o processo de manufatura e a família de material do produto especificada. Devido a este fato, novas informações e restrições são introduzidas no projeto do produto e, assim, devem ser consideradas. A metodologia proposta contribui, entre outros pontos, no sentido de possibilitar que o desenvolvimento do componente injetado ocorra considerando estas informações e estas restrições.

A metodologia proposta apresenta a vantagem de permitir que o desenvolvimento do componente injetado ocorra de forma integrada. Desta forma, as informações relacionadas aos distintos campos de conhecimento podem ser consideradas, simultaneamente, desde o início do processo de projeto do produto, segundo a filosofia da Engenharia Simultânea. Além disto, considerando as informações provenientes dos campos de conhecimento desde o início do projeto, a ocorrência de problemas relacionados a moldabilidade do componente, a manufatura do molde de injeção e a aspectos econômicos pode ser minimizada e, conseqüentemente, o custo de desenvolvimento do componente pode ser reduzido.

A etapa definição das especificações de projeto do componente injetado ocorre de forma integrada e mais fundamentada, pois as informações envolvidas no projeto do componente injetado são consideradas simultaneamente. Esta abordagem é possível devido ao emprego da Matriz de Apoio à Definição das Diretrizes de Projeto, juntamente, com a Matriz de Correlação do QFD. Nesta etapa do projeto, ocorre a preparação de informações sobre o produto e, a ferramenta proposta, apresenta a vantagem de permitir o mapeamento destas informações. Em termos técnicos, esta preparação envolve a consideração de informações relacionadas ao componente, ao processo, ao molde e ao material de injeção. Em termos econômicos, envolve a consideração de informações relacionadas aos custos ciclo de vida do componente.

Em se tratando da *geração das alternativas de concepção do componente*, tem-se a vantagem de gerar as concepções segundo as particularidades deste tipo de atividade, ou seja, levando em conta o desenvolvimento de formas básicas, as especificações do componente, processo, molde e material de injeção, as regras de projeto e a experiência de quem executa este tipo de projeto. Esta abordagem é possível devido ao emprego da Matriz de Geração de Alternativas de Concepção, que integra os conceitos da matriz morfológica (Back, 1983) e das estratégias de eliminação e combinação de princípios de solução apresentadas por Roozemburg *et all* (1995).

Com relação a *estimativa do custo das alternativas de concepção* espera-se obter um modelo que permita estimar o custo do produto, considerando a natureza das informações disponível no início do projeto. Esta abordagem visa permitir que o componente obtido apresente um custo adequado. A consideração de aspectos econômicos desde o início do projeto, auxilia na identificação das características do componente, responsáveis pela elevação dos custos. Desta forma, podem ser introduzidas alterações no produto nas fases iniciais de projeto, assim, os custos que se mostrarem elevados podem ser adequados.

Na etapa de *seleção da concepção do componente*, a metodologia permite que a esta atividade ocorra levando em conta as características deste projeto. Desta forma, o desempenho técnico e econômico do componente podem ser avaliados de forma integrada e simultânea, através do emprego da Matriz de Apoio à Decisão para Seleção da Alternativa de Concepção do Componente Injetado.

2.4. Seleção da Concepção do Componente Injetado

Na quarta etapa do projeto conceitual, segundo a metodologia proposta por Ferreira (1999), ocorre a seleção da alternativa de concepção do componente injetado. Este processo deve ser conduzido de forma sistemática, levando em conta aspectos, técnicos e econômicos, a multidisciplinaridade e a interdisciplinaridade deste tipo de desenvolvimento.

Para apoiar este processo sugere-se o emprego da ferramenta proposta e denominada de Matriz de Tomada de Decisão para Seleção da Concepção do Componente Injetado, a qual visa apoiar e orientar o decisor no processo de seleção da concepção do componente, através da avaliação das alternativas de concepção, economicamente, em relação ao custo estimado e, tecnicamente, em relação as especificações de projeto.

Para que a seleção da alternativa de concepção do componente seja realizada de forma criteriosa e sistematizada deve ser estabelecido um método de julgamento e seleção. No tocante ao método de julgamento, deve-se buscar um modo para avaliar as alternativas de concepção em relação as especificações de projeto, uma vez que, tem-se disponível o valor do custo estimado. A avaliação técnica deve ser realizada com base nas especificações de projeto, considerando os aspectos funcionais, de forma, de durabilidade, de operacionalidade, de moldabilidade do processo, de manufaturabilidade do molde, entre outros.

No tocante ao método de seleção, deve ser proposta uma estratégia que permita, ao decisor, selecionar a mais adequada concepção para o projeto do produto, considerando o resultado da avaliação realizado previamente.

Segundo a metodologia proposta, para selecionar a alternativa de concepção do componente injetado, devem ser realizadas as seguintes tarefas:

- **Tarefa 13:** Avaliar as alternativas de concepção do componente injetado.

A avaliação das alternativas de concepção do componente injetado deve ser realizada considerando aspectos técnicos e econômicos, segundo uma abordagem criteriosa e empregando-se procedimentos sistemáticos. Nesta linha, encontram-se alguns trabalhos, entre eles, destacam-se os métodos descritos por Pugh (1990), Ullman (1992), Pahl e Beitz (1995) e Ferreira (1997).

Nesta avaliação, os aspectos relacionados ao componente, ao processo, ao molde, ao material e ao custo devem ser corretamente ponderados. Isto é, deve-se considerar qual destes aspectos é mais importante em relação aos demais e apresenta maior influência sobre o desempenho do componente injetado. Para isto, no decorrer da Tese será proposta uma sistemática que considere estas particularidades.

- **Tarefa 14:** Selecionar a concepção do componente injetado.

A seleção da concepção do componente deve ser realizada considerando, mutuamente, os resultados da avaliação das alternativas de concepção em relação as especificações de projeto e o resultado da estimativa de custo. Para isto, é necessário que seja estabelecida uma estratégia para seleção da concepção do componente injetado. Este procedimento será proposta na elaboração da Tese.

A Metodologia de Desenvolvimento e Estimativa de Custos do Componente Injetado foi sintetizada nestas quatorze tarefas. A sistematização desta metodologia visa, posteriormente, a sua implementação computacional. Para isto, tornar-se-á como base

2.3. Etapa 3: Estimativa do Custo das Alternativas de Concepção do Componente

Na terceira etapa do projeto, segundo a metodologia proposta, deve ocorrer a estimativa do custo das alternativas de concepção do componente injetado.

A estimativa do custo é fundamental para que sejam avaliados aspectos econômicos das concepções. Entre outras informações, a estimativa do custo do componente injetado fornece como resultado, o custo do molde de injeção, e que mostra-se importante para análises de investimentos relativos à manufatura do produto.

Para estimar o custo do componente injetado, neste momento do projeto, deve estar disponível um conjunto de informações sobre o próprio componente, o processo, o material e o molde. Desta forma, empregando-se um método adequado é possível estimar o custo deste produto.

Portanto, segundo a metodologia proposta, para estimar o custo das alternativas de concepção do componente injetado são descritas as seguintes tarefas:

- **Tarefa 11:** Preparação das informações sobre custos do componente injetado. Nesta etapa, devem ser identificados os atributos do componente, do processo, do molde, do material e de custos, necessários e suficientes para estimar o custo do componente injetado. Estas informações podem ser identificadas (buscadas) no banco de dados do sistema, uma vez que estão descritas nos princípios de solução que compõem as alternativas de concepção do componente injetado.

Além disto, devem ser identificados parâmetros que não encontram-se representados nos atributos do produto, mas influenciam o custo do componente. Estes parâmetros são, por exemplo: número de componentes a serem produzidos, capacidade da injetora, custo por unidade de peso do material, entre outros.

- **Tarefa 12:** Estimar o custo das alternativas de concepção do componente. O custo do componente injetado deve ser estimado através do emprego de métodos de estimativa de custos adequados. Entretanto, considerando o nível de informações disponíveis na fase de projeto conceitual, observa-se uma dificuldade de determinar o custo do componente injetado, dado os métodos existentes.

Neste sentido, faz-se necessário propor e desenvolver um modelo que realize tal tarefa. Um estudo preliminar mostrou que, para estimar o custo do componente, pode-se considerando a natureza das informações disponíveis, inicialmente, determinar os parâmetros que determinam e influenciam o custo do produto, como, por exemplo, a altura e a espessura máxima da parede do componente injetado. Na sequência, considerando estes parâmetros, observou-se a possibilidade de determinar o tempo de setup da máquina, de molde aberto e de resfriamento do componente. Finalmente, com estas informações pode-se estimar o custo do componente injetado.

Além disto, para que o resultado da estimativa do custo do componente injetado seja preciso é necessário determinar os demais custos do ciclo de vida do componente injetado. Deste modo, devem ser propostos métodos de estimativa de custos adequados.

Como resultado destes procedimentos, tem-se o custo estimado das alternativas de concepção. Na próxima etapa do projeto, segundo a metodologia proposta, proceder-se-á a seleção da concepção do componente injetado.

Finalizando, nesta etapa do projeto, através de uma abordagem integrada, são definidas as especificações de projeto do componente injetado. Estas especificações serão empregadas nas demais etapas de projeto para apoiar os processos de geração de alternativas de concepção, de estimativa de custos e de seleção da concepção do componente injetado.

2.2. Etapa 2: Geração das Alternativas de Concepção do Componente Injetado

Nesta etapa do processo de projeto, segundo a metodologia proposta por Ferreira (1999), são geradas as alternativas de concepção do componente injetado. Para isto, propõe-se o emprego da ferramenta de projeto, denominada de Matriz de Geração das Alternativas de Concepção do Componente Injetado.

Esta matriz está sendo proposta considerando a integração dos conceitos da Matriz Morfológica (Back, 1983) com as estratégias de eliminação e combinação de princípios de solução apresentadas por Roozemburg & Eekels (1995). Nas linhas da matriz estão representadas as funções do componente injetado, por exemplo, suportar carga, posicionar componente, entre outras. E, nas colunas, são dispostos, para cada uma das funções, os princípios de solução do componente, como, por exemplo, cilindros, snaps e outros.

Segundo a metodologia proposta, a geração das alternativas de concepção do componente injetado, envolve a execução das seguintes tarefas:

- **Tarefa 8:** Modelar funcionalmente o componente injetado. No projeto do componente injetado, as funções do produto estão associadas a aspectos estéticos, de forma, geométricos, estruturais, de processo de injeção, de manufatura do molde e de material.

- **Tarefa 9:** Pesquisar os princípios de solução para as funções do componente. A busca pelos princípios de solução, segundo a abordagem proposta, é realizada em um banco de dados, o qual compõem-se de uma série de formas e/ou elementos básicos, caracterizados através de um conjunto de atributos do produto. Como resultado deste processo, tem-se representada na Matriz de Geração das Alternativas de Concepção do Componente Injetado, as funções do componente e os, respectivos, princípios de solução.

- **Tarefa 10:** Gerar as alternativas de concepção do componente injetado através do emprego das estratégias de eliminação e combinação de princípios de solução, apresentadas por Roozemburg & Eekels (1995).

Para gerar as alternativas de concepção devem ser considerados aspectos relacionados ao componente, ao processo, ao molde, aos materiais e aos custos, os quais estão traduzidos nas especificações de projeto. Segundo a metodologia proposta, a geração das alternativas de concepção deve ser realizada com base nas especificações de projeto, nas informações disponíveis sobre os princípios de solução e empregando as estratégias de eliminação e combinação apresentadas por Roozemburg & Eekels (1995).

Portanto, com base nas especificações de projeto e empregando-se as estratégias de eliminação, inicialmente, são excluídos aqueles princípios de solução que estão em desacordo com as especificações. Na sequência, os demais princípios são arranjados empregando-se as estratégias de combinação, gerando as alternativas de concepção do componente injetado.

A alternativa de concepção do componente injetado pode ser entendida como sendo uma representação esquemática deste tipo de produto, descrita através de um conjunto de princípios de solução e atributos do produto.

A Matriz Apoio à Definição das Diretrizes de Projeto do Componente Injetado foi proposta com base na filosofia da TRIZ (*Theory of Inventive Problem*) (Terninko et al, 1998). A TRIZ, originalmente, foi elaborada considerando o domínio de sistemas técnicos. Através da abordagem da TRIZ, o desenvolvimento do componente injetado pode ser visto como um processo de otimização e/ou satisfação dos requisitos de projeto e de busca de soluções para as contradições entre estes requisitos.

A seguir, serão descritas as tarefas necessárias para definir as especificações de projeto, segundo a metodologia proposta. Desta forma, tem-se:

- **Tarefa 1:** Levantar as necessidades dos usuários, do componente, do processo, do molde, do material de injeção e de custos.

- **Tarefa 2:** Estabelecer os requisitos de projeto, associados aos campos de conhecimento da engenharia do componente, do processo, do molde, de materiais e de custos.

- **Tarefa 3:** Relacionar as necessidades com os requisitos visando identificar a importância relativa dos requisitos de projeto. A execução desta tarefa deve ser realizada segundo a abordagem tradicional do QFD, procurando identificar o grau de relacionamento entre as necessidades dos clientes e os requisitos de projeto. Este relacionamento visa, entre outros aspectos, determinar a importância dos requisitos de projeto, que será empregado para determinar quais são os requisitos de projeto a serem otimizados.

- **Tarefa 4:** Correlacionar os requisitos de projeto procurando identificar as contradições entre os mesmos. Neste estágio do projeto, deve ser identificado na Matriz de Correlação do QFD, as contradições entre os requisitos do componente, do processo, do molde, do material e de custo. Para isto, estes requisitos devem ser correlacionados, entre si, procurando identificar, para um dado requisito a ser satisfeito, aqueles que dificultam atingir este objetivo.

- **Tarefa 5:** Identificar os requisitos a serem otimizados e os, correspondentes, requisitos conflitantes. A identificação do requisito a ser otimizado é realizada com base na importância dos requisitos de projeto. Desta forma, comparando, entre si, os requisitos em contradição, aquele que apresentar maior importância deve ser entendido como o requisito de projeto a ser otimizado e, o correspondente, o requisito em contradição.

- **Tarefa 6:** Buscar uma orientação para a solução das contradições entre os requisitos. A equipe de projeto deve, inicialmente, associar os requisitos de projeto, otimizados e em contradição, aos parâmetros de engenharia do componente, do processo, do molde, do material. Na sequência, empregando-se a Matriz de Apoio à Definição das Diretrizes de Projeto do Componente Injetado (Ferreira, 1999), ilustrada na figura 2, a equipe de projeto obtém as orientações para a solução das contradições entre os requisitos de projeto, isto é, as diretrizes de projeto do componente injetado.

- **Tarefa 7:** Definir as especificações de projeto do componente injetado. No modelo tradicional de projeto, a definição das especificações de projeto é realizada com base no relacionamento entre as necessidades dos clientes e os requisitos de projeto. Para auxiliar a execução desta atividade foi introduzido o conceito de diretrizes de projeto do componente injetado. Assim, as especificações de projeto podem ser definidas de forma mais fundamentada, considerando um maior número de informações e o resultado da Matriz de Correlação do QFD. Nesta abordagem, busca-se obter especificações de projeto melhor formuladas e definidas, permitindo a minimização da ocorrência de problemas e do tempo de desenvolvimento do produto.

considerando a natureza das informações, seja capaz de determinar o custo do componente injetado.

Finalmente, na quarta etapa do projeto, realiza-se a seleção da concepção do componente injetado, a qual deve ser realizada considerando o resultado da estimativa de custo e as especificações de projeto. Para isto, propõe-se o emprego de uma Matriz de Tomada de Decisão para Seleção da Concepção do Componente Injetado, a qual busca tornar este processo de seleção mais criterioso.

A seguir, estas etapas serão apresentadas detalhadamente.

2.1. Etapa 1: Definição das Especificações de Projeto do Componente Injetado

A primeira etapa do projeto conceitual, segundo a metodologia proposta, tem como objetivo principal a definição das especificações de projeto do componente. De acordo com a metodologia proposta, estas especificações são obtidas considerando o resultado dos relacionamentos entre as necessidades dos clientes e os requisitos de projeto, as contradições entre os requisitos de projeto e, principalmente, as informações das diretrizes de projeto do componente injetado.

A definição das especificações de projeto é realizada através de uma nova abordagem, que busca integrar a Primeira Matriz do QFD (Akao, 1990) e a ferramenta proposta, que será denominada de Matriz de Apoio à Definição das Diretrizes de Projeto do Componente Injetado. Para definir as especificações de projeto do componente, primeiramente, deve-se identificar na Matriz de Correlação do QFD, as contradições existentes entre os requisitos do componente, do processo, do molde, do material e de custo. Na sequência, devem ser buscadas as diretrizes de projeto do componente injetado, ou seja, regras, estratégias ou princípios para o projeto do componente, considerando estas contradições.

Para executar este processo, propõe-se o emprego da **Matriz de Apoio à Definição das Diretrizes de Projeto do Componente Injetado** proposta por Ferreira (1999) e ilustrada na figura 2.

A utilização da Matriz de Apoio à Definição das Diretrizes de Projeto considera, inicialmente, a identificação, no "campo 1", do requisito a ser otimizado e, no "campo 2", do correspondente requisito que está em contradição com o primeiro. Do relacionamento entre estes requisitos é obtido, no "campo 3", 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 APOIO À DEFINIÇÃO DAS DIRETRIZES DE PROJETO DO COMPONENTE INJETADO					
		CAMPO 2 - Parâmetros em Contradição			
		Parâmetros de engenharia do componente	Parâmetros de engenharia do processo	Parâmetros de engenharia do molde	Parâmetros de engenharia de material
CAMPO 1 - Parâmetros a serem otimizados	Parâmetros de engenharia do componente		Diretrizes de projeto	Diretrizes de projeto	Diretrizes de projeto
	Parâmetros de engenharia do processo	Diretrizes de projeto		Diretrizes de projeto	Diretrizes de projeto
	Parâmetros de engenharia do molde	Diretrizes de projeto	Diretrizes de projeto	CAMPO 3	Diretrizes de projeto
	Parâmetros de engenharia de material	Diretrizes de projeto	Diretrizes de projeto	Diretrizes de projeto	

Figura 2. Representação esquemática da matriz de apoio à definição das diretrizes de projeto (Ferreira, 1999)

2. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES INJETADOS

A proposição da metodologia é originada do estudo do processo de projeto de sistemas técnicos, das práticas de desenvolvimento de componentes injetados e, também, do processo de estimativa de custos. E, busca refletir as relações entre os campos de conhecimento envolvidos, satisfazer as necessidades e as práticas do setor e tratar o desenvolvimento do componente injetado de forma integrada, segundo a filosofia da Engenharia Simultânea.

A Metodologia de Desenvolvimento e Estimativa de Custos de Componentes Injetados, proposta está representada, esquematicamente, na figura 1. Para cada uma destas etapas, estão associados um conjunto de informações e ferramentas de projeto. A metodologia proposta compõe-se das seguintes etapas:

- **Etapa 1:** Definição das Especificações de Projeto do Componente Injetado;
- **Etapa 2:** Geração das Alternativas de Concepção do Componente Injetado;
- **Etapa 3:** Estimativa do Custo das Alternativas de Concepção e
- **Etapa 4:** Seleção da Concepção do Componente Injetado.

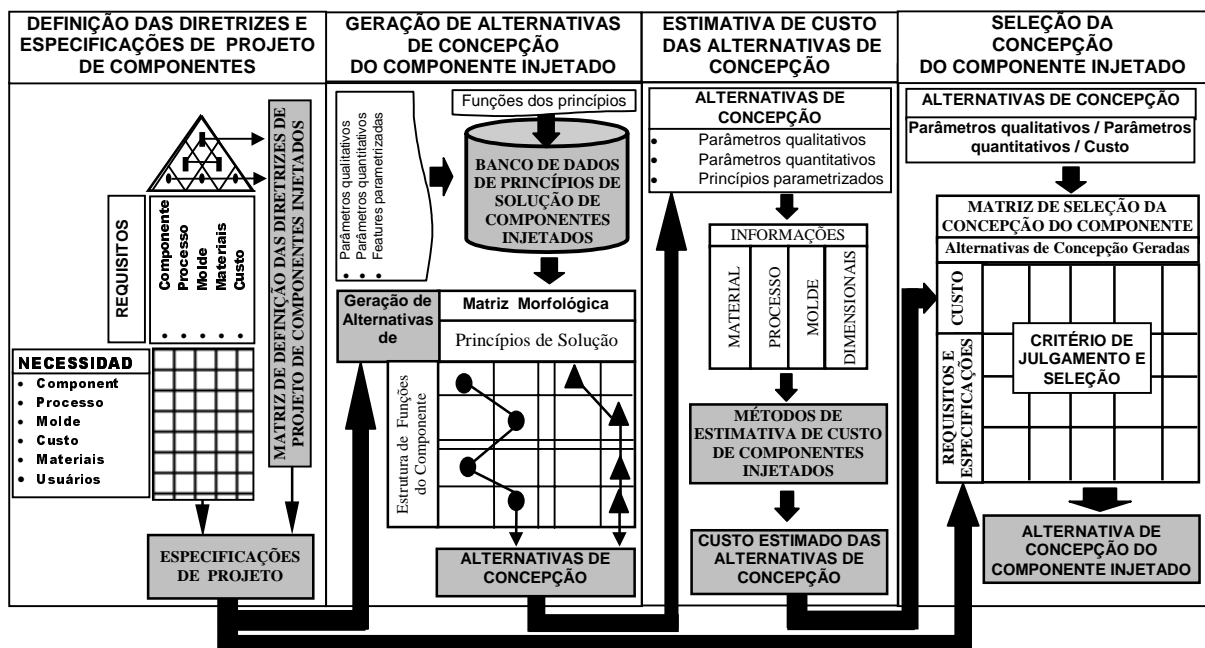


Figura 1. Metodologia de projeto e estimativa de custos de componentes injetados.

Na primeira etapa da metodologia proposta, conforme ilustrado na figura 1, são definidas as especificações de projeto do componente injetado, empregando-se a ferramenta proposta denominada de Matriz de Apoio à Definição das Diretrizes de Projeto do Componente Injetado. Estas especificações serão empregadas nas demais etapas do processo de desenvolvimento do componente injetado.

Na segunda etapa da metodologia, ocorre a geração das alternativas de concepção do componente, a qual é realizada com base nas especificações de projeto e nos princípios de solução disponíveis no banco de dados. Para auxiliar este processo, propõe-se o uso da Matriz de Geração das Alternativas de Concepção do Componente Injetado. Esta ferramenta busca integrar a abordagem da Matriz Morfológica (Back, 1983) e as estratégias de eliminação e combinação de princípios de solução (Roosenburg & Eekels, 1995).

Na terceira etapa da metodologia, o custo das alternativas de concepção do componente é estimado. Para isto, deve-se empregar um método de estimativa de custo adequado que

METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES INJETADOS

Cristiano Vasconcellos Ferreira, M. Eng.

Fernando A. Forcellini, Dr. Eng. Mec.

André Ogliari, Dr. Eng. Mec.

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica, 88000-000, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: ferreira@nedip.ufsc.br

Resumo

O desenvolvimento de componentes injetados apresenta uma natureza multidisciplinar e interdisciplinar e envolve as fases de projeto conceitual, preliminar e detalhado do produto. Entre estas fases, destaca-se a de projeto conceitual, onde são tomadas decisões que acabam por determinar o desempenho técnico e o custo do componente injetado nas diversas etapas do seu ciclo de vida. Entretanto, observa-se que as metodologias de projeto de componentes injetados não contemplam e não apresentam procedimentos sistematizados, para que os critérios técnicos e econômicos do produto sejam estimados e avaliados de maneira criteriosa e fundamentada, no início do processo de projeto. Portanto, o desafio deste trabalho é fornecer, de forma integrada, à equipe de projeto informações sobre o produto, em um momento onde existem as maiores oportunidades de aumentar o desempenho técnico e reduzir o custo do componente injetado. Um caminho inicial para vencer este desafio é apresentado neste trabalho.

Palavras-chaves: Metodologia de Projeto, Componentes Injetados, Projeto Conceitual, Estimativa de Custo

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho será apresentada uma Metodologia de Desenvolvimento e Estimativa de Custos de Componentes Injetados, proposta por Ferreira (1999) segundo uma abordagem que considera a multidisciplinaridade e a interdisciplinaridade deste tipo de projeto e, ao mesmo tempo, procure integrar os campos de conhecimento da engenharia do componente, do processo de injeção, do molde de injeção, de materiais de injeção e de custos.

Esta metodologia constitui-se de um conjunto de procedimentos e ferramentas de projeto que visam auxiliar o desenvolvimento do componente injetado. A sua apresentação será realizada através descrição destes procedimentos e ferramentas de projeto. Desta forma, através da definição inicial das especificações de projeto do componente injetado, procurar-se gerar um conjunto de concepções do produto que, posteriormente, terão os seus custos estimados. Finalmente, considerando informações técnicas e econômicas, procura-se selecionar a concepção do componente injetado.

A sistematização desta metodologia visa, posteriormente, a sua implementação computacional.