



PROJETO CONCEITUAL DE PRODUTOS AUXILIADO POR COMPUTADOR: SISTEMÁTICA, DIRETRIZES E FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

André Ogliari

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica
Cx. P. 476 - 88040-900 - Florianópolis, SC, Brasil

Nelson Back

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica
Cx. P. 476 - 88040-900 - Florianópolis, SC, Brasil

***Resumo.** A prática do projeto conceitual de produtos não ocorre na indústria com a mesma intensidade que é recomendada na literatura e ensinada nos meios acadêmicos. Dentre os motivos, considera-se a falta de ferramentas computacionais que contemplem os procedimentos prescritos nas metodologias de projeto. Esta lacuna se deve, em parte, à natureza das informações tratadas durante a concepção de produtos e a dificuldade em capturar e sistematizar a experiência e criatividade dos projetistas. Neste contexto, apresenta-se uma sistemática para a concepção de produtos, através da qual são implementadas ferramentas para auxiliar na prática efetiva do projeto conceitual, desde o levantamento de necessidades até o estabelecimento do melhor conceito para o produto. A sistemática é baseada nos métodos de questionário estruturado, QFD (Quality Function Deployment), síntese de funções, matriz morfológica e valoração de concepções. As ferramentas computacionais têm sido desenvolvidas sob as seguintes diretrizes: implementar ambientes computacionais, banco de dados e base de conhecimento para auxiliar nas funções de "memória curta", "memória longa" e processos de inferência do projetista, respectivamente. Sob a sistemática e as diretrizes estabelecidas, apresenta-se, ao final, as principais funcionalidades de algumas ferramentas implementadas.*

***Palavras-chave:** Concepção de produtos, Métodos de projeto, Ferramentas computacionais*

1. INTRODUÇÃO

A prática do projeto conceitual de produtos não ocorre na indústria com a mesma intensidade que é recomendada na literatura e ensinada nos meios acadêmicos. Vários motivos podem ser apontados para isto e, dentre eles, que a prática de projeto na indústria é voltada, em geral, para adaptações e reprojeção de produtos e muito pouco para novos desenvolvimentos e, que os conceitos e princípios do projeto conceitual não são adequadamente entendidos e valorizados no meio industrial. Entretanto, admite-se como motivo mais importante, a falta de ferramentas computacionais que implementem os princípios e os procedimentos prescritos nas metodologias de projeto propostas.

Esta lacuna se deve, em parte, por que, em primeiro lugar, as pesquisas e aplicações nesta direção são recentes. Muitos trabalhos têm sido realizados sob o ponto de vista de análise de engenharia; o investimento em síntese de novos produtos tem sido incipiente. Aliado a isto inclui-se a natureza do projeto conceitual de produtos, como sendo bastante flexível em suas informações e geralmente qualitativo em seus resultados; não se trata, por exemplo, de especificar um dado mancal de rolamento, sujeito a um carregamento radial de "x N", mas de definir, em primeiro lugar, se a melhor solução, considerando necessidades e os requisitos de projeto, será aquela do mancal de rolamento. Além disso, esta definição é baseada, em geral, em dados qualitativos e, muitas vezes, insuficientes, fazendo com que o projeto conceitual seja "evitado", o que implica numa dificuldade adicional para explorar e sistematizar os conhecimentos envolvidos nesta atividade.

Por outro lado, verifica-se que as metodologias de projeto não estão devidamente preparadas para a implementação de auxílios computacionais para as fases iniciais do projeto. Elas prescrevem muito bem "o que" o projetista deve fazer durante a concepção de produtos, mas falham em estabelecer "como" o projetista deve fazer. Aliado a isto inclui-se a falta de diretrizes para orientar sobre os melhores caminhos na "tradução" de dada metodologia em ferramentas computacionais de apoio ao projeto conceitual de produtos.

Sob este contexto o presente trabalho apresenta-se como contribuição a preparação de uma metodologia de projeto conceitual de produtos viável à implementação de auxílios computacionais, através de uma sistemática voltada aos métodos de projeto e através de diretrizes que consideram algumas características de processos cognitivos do projetista. Para tal, discute-se, inicialmente, sobre a viabilidade computacional de metodologias de projeto, seguindo com uma caracterização de seus principais elementos, associando-os às características físico/funcionais do projetista. Estabelece-se, então, entre outros, que o processo de implementação de ferramentas computacionais de apoio à concepção de produtos deve ser, em primeiro lugar, na forma de ferramentas facilitadoras do processo e, em seguida, na forma de sistemas especialistas. Ao final, sob a sistemática e as diretrizes estabelecidas, apresenta-se as principais funcionalidades das ferramentas computacionais implementadas, com exemplos de aplicação voltados ao projeto de componentes de plástico injetado.

2. VIABILIDADE COMPUTACIONAL DE METODOLOGIAS DE PROJETO

Na literatura de projeto de engenharia são encontrados diversos modelos para a condução sistemática do projeto de produtos. Em geral são do tipo procedurais, ou seja, orientam os projetistas, passo a passo, sobre a maneira de proceder e sobre os recursos que devem ser empregados na resolução de determinados tipos de problemas. Estes modelos apresentam-se, normalmente, na forma de fluxogramas das atividades de projeto, expressando "o que" os projetistas devem fazer, desde a identificação do problema, até à documentação final do produto. Alguns estudos de revisão da literatura (Finkelstein & Finkelstein, 1983), (Yoshikawa, 1989) e (Evbuomwan *et al.*, 1996) mostram, de maneira mais ou menos detalhada, estas abordagens, analisando-as sob vários enfoques.

Em particular, considerando os modelos procedurais para o projeto, verifica-se que as propostas são bastante semelhantes entre si, diferenciando-se na terminologia empregada pelos autores e no grau de detalhamento das atividades prescritas. Diante disto adotou-se a proposta de Pahl & Beitz (1996) para análise da viabilidade computacional das atividades propostas para a concepção de produtos.

Esta metodologia, mostrada parcialmente na "Fig. 1", é estabelecida sob os fundamentos de sistemas técnicos e de abordagens sistemáticas para a solução de problemas. Sob os primeiros, os objetos de projeto ou artefatos técnicos, são tratados, em geral, como sistemas conectados ao ambiente por meio de entradas e saídas, nas formas de energia, material e sinal.

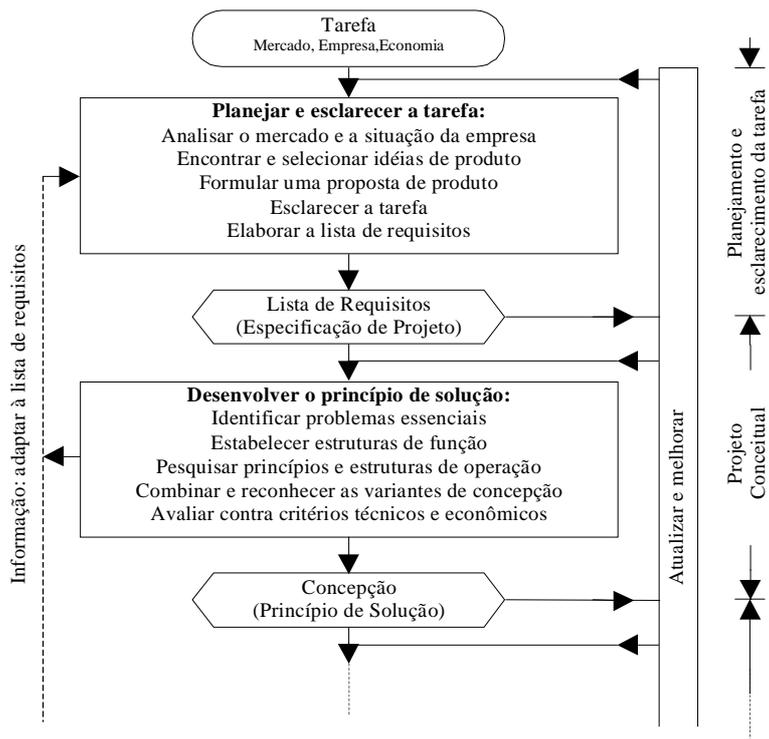


Figura 1 - Representação parcial da metodologia de projeto, segundo Pahl & Beitz (1996).

Já, sob os fundamentos de abordagens sistemáticas estabelece-se a lógica ou a seqüência dos procedimentos para o projeto de produtos.

Na fase do **projeto conceitual do produto**, conforme a “Fig. 1”, conduz-se um conjunto de procedimentos com o propósito de obter e avaliar alternativas de concepções para o produto. Trata-se, em essência, de um processo de transformação de informações de projeto, inicialmente na forma de requisitos, em conceitos para o produto, geralmente qualitativos e na forma de esquemas. Questiona-se, sob este escopo, se os procedimentos prescritos para esta fase do projeto estão preparados, ou são adequados, à implementação de ferramentas computacionais?

Considere, por exemplo, o procedimento de abstrair para **identificar os problemas essenciais**, o qual tem sido prescrito para evitar que soluções pré-concebidas sejam consideradas desde o início no projeto, reduzindo as possibilidades de soluções melhoradas ou inovadoras para o produto. Sob tal procedimento lança-se mão de processos de abstração, que consistem, essencialmente, na generalização de proposições, ignorando o que é particular e enfatizando o que é geral, visando obter declarações genéricas para o problema, geralmente na forma de uma função global para o produto.

Sob tais propósitos, o desenvolvimento de ferramentas computacionais, na forma de sistemas especialistas, por exemplo, demanda estudos avançados no sentido de capturar o raciocínio empregado durante os processos de abstração. Questões do tipo, como os processos de abstração deverão ser conduzidos, quais serão as principais considerações durante a abstração, como identificar uma declaração particular, como transformar uma declaração particular, numa geral, quais são os elementos que estabelecem as qualidades ou as características de uma declaração, entre outras, precisam ser adequadamente respondidas. Tais respostas se fazem necessárias para estabelecer modelos que representem os processos de inferência dos projetistas durante a abstração. Entretanto, estas respostas não têm sido devidamente contempladas pelos autores.

Por outro lado, através dos métodos recomendados para conduzir determinados

procedimentos da metodologia proposta, verifica-se que é viável, em parte, a implementação de auxílios computacionais para a concepção de produtos. Considere, por exemplo, o método morfológico, cujas principais características são mostradas na “Fig. 2”, o qual tem sido recomendado para **combinar e reconhecer as variantes de concepção do produto**.

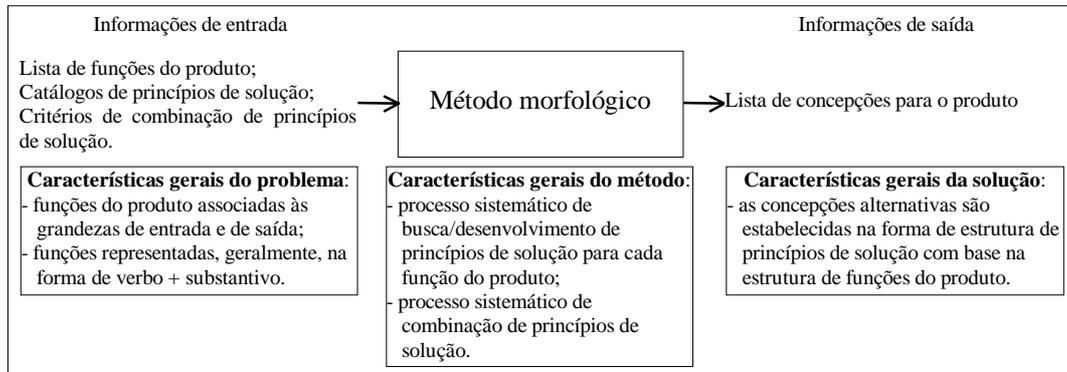


Figura 2 - Principais características do método morfológico.

No método morfológico o processo de solução do problema inicia com as funções do produto identificadas em processos anteriores e, através delas, procura-se estabelecer concepções alternativas, combinando princípios na forma de efeitos, leis, objetos, formas, movimentos, posições, entre outros elementos de solução. Do ponto de vista operacional, as funções do produto são listadas na coluna de uma matriz e, para cada uma delas, são pesquisados e/ou desenvolvidos princípios de solução alternativos, preenchendo-se as demais colunas da matriz. Dessa forma, configura-se um “campo de soluções” para o problema. Na próxima etapa, iniciam-se processos de seleção e de combinação dos princípios de solução. Para cada função, seleciona-se um princípio adequado às restrições do problema e combina-o com um princípio da próxima função. Esse processo é conduzido, sucessivamente, até que se obtenha uma concepção para o produto. Repetindo o processo anterior podem ser geradas, de modo sistemático, diversas concepções alternativas para o produto.

Na forma como este método se apresenta, sua implementação, através de ferramentas computacionais, consistirá, por exemplo, das seguintes atividades: desenvolvimento de um ambiente onde uma matriz possa ser construída e manipulada; desenvolvimento de funcionalidades para a manipulação das informações consideradas sob o método, tais como inserção de funções, de princípios de solução, deleção, entre outras; desenvolvimento de algoritmos para a combinação sucessiva de princípios de solução; desenvolvimento de banco de dados para armazenar as funções, os princípios de solução, os critérios de combinação, as concepções geradas, entre outros dados; etc. A natureza da ferramenta resultante destas atividades tem sido denominada como ferramenta facilitadora do processo.

Considerando as observações anteriores, verifica-se que a viabilidade computacional de metodologias depende, em parte, da natureza dos métodos recomendados para conduzir determinados procedimentos de projeto. Se tais métodos pressupõem atividades sistemáticas e consideram a utilização de instrumentos, ou recursos, para organizar e manipular informações de projeto, então a implementação computacional, neste caso, consiste na emulação dos recursos estabelecidos pelo método, através de ambientes computacionais, utilizando os recursos promovidos pela tecnologia da informática (processamento, armazenamento, e exibição de informações). Noutra forma, para o desenvolvimento de sistemas “inteligentes”, dedicados à concepção de produtos, faz-se necessário sistematizar, além dos procedimentos prescritos e as informações relacionadas, os processos de inferência realizados pelo projetista para implementá-los através de técnicas de sistemas especialistas.

3. DIRETRIZES PARA A IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DE METODOLOGIAS DE PROJETO

Embora as observações anteriores estabeleçam, em parte, a problemática para a informatização do projeto conceitual de produtos, elas não são suficientes para definir quais são os melhores caminhos nesta direção. É necessário, para tal, considerar, em maiores detalhes, as características de metodologias de projeto e do próprio projetista, como sistemas de transformação de informações, para, então, estabelecer as diretrizes que orientarão à implementação de ferramentas computacionais de apoio à concepção de produtos.

Uma metodologia de projeto é entendida, em primeiro lugar, como um sistema de métodos, onde cada método é prescrito através de um conjunto de procedimentos, os quais estabelecem a lógica para o desenvolvimento do produto. Sob tal sistema obtêm-se orientações sobre o que fazer em dada fase do desenvolvimento do produto e quais os recursos ou instrumentos que deverão ser empregados.

O projetista, por sua vez, conforme Ullman (1992), constitui-se num sistema de processamento de informações composto de dois ambientes principais (externo e interno), em relação ao cérebro humano. Em particular, no ambiente interno, configuram-se duas áreas de memória (curta e longa) e um mecanismo controlador, que em conjunto, transformam os estados de informação.

Ambos os sistemas anteriores, quando associados, constituem-se em meios de projeto que suportam o desenvolvimento sistemático de produtos. Uma representação conceitual destes meios é mostrada na “Fig. 3”.

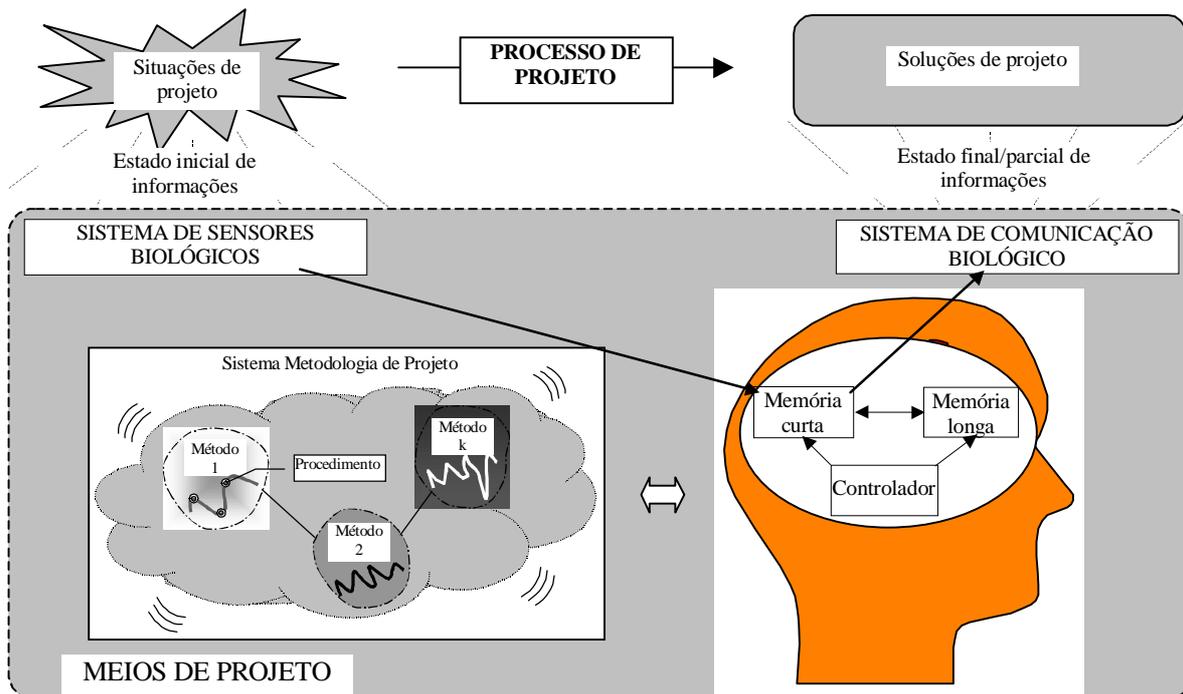


Figura 3 - Principais elementos de um sistema de projeto de produtos.

De acordo com a “Fig. 3”, considerando as características físico/funcionais do projetista, a memória curta funciona como uma espécie de área de trabalho, que opera com “blocos” de informações, tais como conceitos, objetos, números, figuras, etc. Nesta memória são executadas operações, tais como, comparação, modificação, decomposição, combinação de informações, entre outras, as quais podem ser prescritas, em parte, pelos procedimentos de dado método de projeto. A memória curta tem capacidade limitada e, diante disso o cérebro

humano faz uso de outros mecanismos para conduzir o processamento de informações. Inclui-se, aí, a memória longa e o controlador.

A memória longa contém conhecimentos fatuais e heurísticos de determinado domínio e funciona como uma espécie de base de conhecimento do ser humano. Ela é constantemente acessada durante o processamento de informações na memória curta. As limitações desta área de memória se dão, principalmente, na velocidade de armazenamento e recuperação de informações ou, em outras palavras, por exemplo, na memorização ou lembrança de determinados conceitos de projeto, que podem ser os próprios procedimentos da metodologia de projeto. O controlador, por sua vez, gerencia o fluxo de informações entre as áreas de memória e os sistemas sensores e de comunicação do ser humano.

Diante dos meios de projeto anteriores, suas características e limitações, parece adequado considerar que a implementação de ferramentas computacionais de apoio ao projeto deve iniciar contemplando as características de cada um deles, suprimindo suas limitações. Os programas resultantes deverão contemplar os procedimentos prescritos na metodologia de projeto e suportar, por exemplo, as limitações da memória curta e longa do projetista. Sob tais considerações, dentre as diretrizes para a implementação de ferramentas computacionais de apoio ao projeto conceitual de produtos, incluem-se:

- o sistema computacional deverá suportar os recursos técnicos empregados pelo projetista durante a concepção de produtos, estendendo, assim, as capacidades de sua memória curta;
- o sistema computacional deverá suportar as informações processadas e os conhecimentos utilizados durante a concepção de produtos, estendendo, assim, as capacidades da memória longa;
- as funcionalidades do sistema computacional deverão corresponder aos procedimentos e recursos prescritos na metodologia de projeto, estabelecendo-se, assim, uma lógica na configuração do sistema;
- o sistema computacional deve ser modular, agrupando funcionalidades correspondentes a cada método de projeto e
- a evolução do sistema computacional de apoio ao projeto deve-se dar, através de técnicas de sistemas especialistas, modelando o conhecimento empregado para processar as informações e controlar o fluxo das mesmas.

Diante das diretrizes anteriores implementou-se um sistema computacional caracterizado, inicialmente, na forma de ferramentas facilitadoras do processo, ou seja, que estendem as capacidades de processamento de informações da memória curta e de armazenamento e recuperação de informações da memória longa. Este sistema contempla, ainda, os procedimentos e os recursos de uma metodologia dedicada a concepção de componentes injetados, configurada através de métodos clássicos de projeto, incluindo-se, aí, o método de questionário estruturado, da “casa da qualidade”, de síntese de funções, o método morfológico e de valoração de concepções. Uma proposta para a evolução do sistema implementado foi demonstrada através de recursos especializados para identificar as funções do produto durante a síntese funcional. As principais características das ferramentas implementadas sob as diretrizes anteriores são mostradas na “Fig. 4”.

4. METODOLOGIA E FERRAMENTAS DE APOIO À CONCEPÇÃO DE PRODUTOS

A metodologia proposta para a concepção de produtos (Ogliari, 1999) constituiu-se, conforme a "Fig. 4", nos seguintes métodos de projeto: questionário estruturado; “casa da qualidade”; síntese de funções; método morfológico e valoração de concepções.

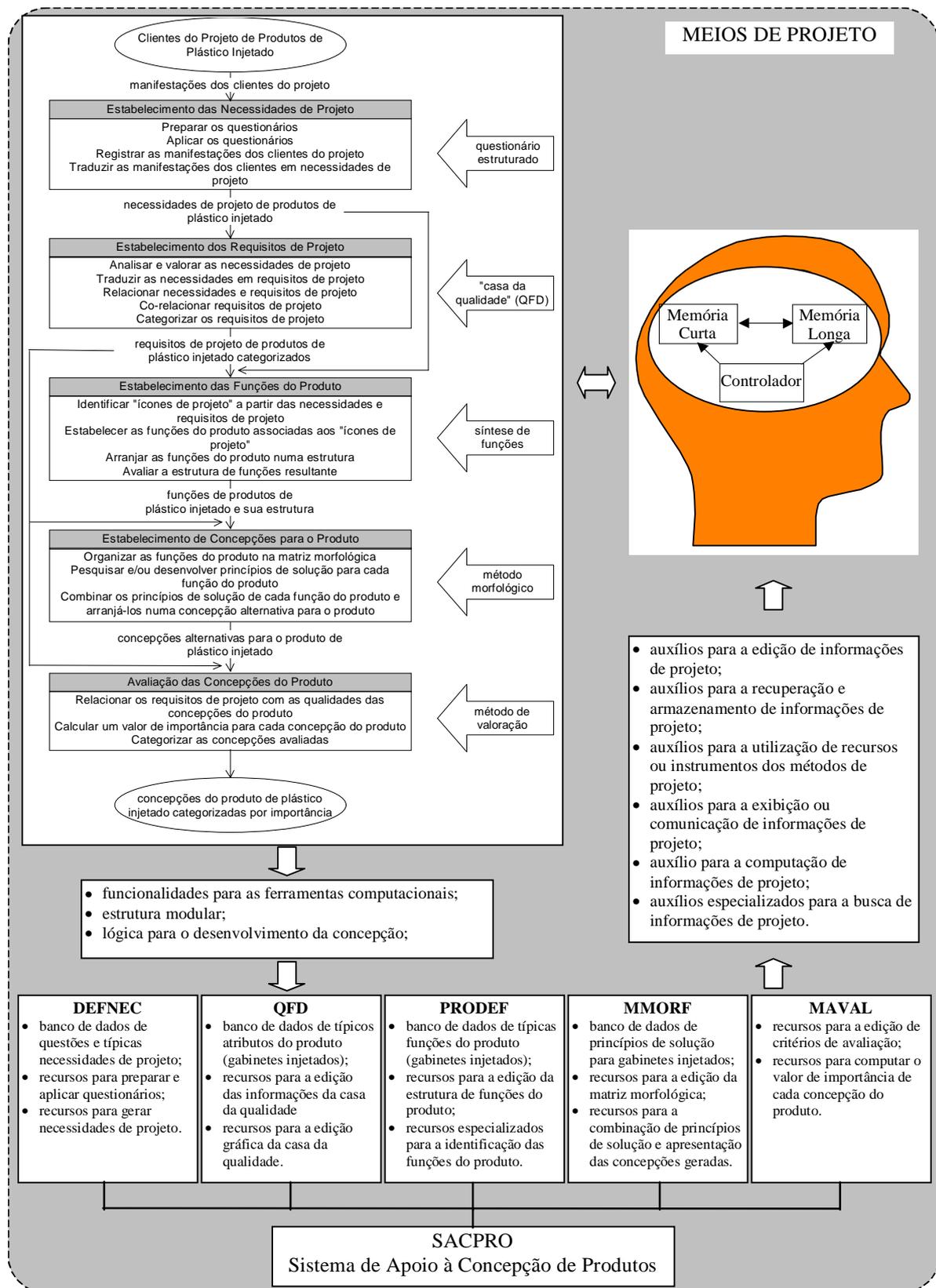


Figura 4 - Principais características do sistema de apoio à concepção de produtos.

Sob o método de questionário estruturado conduz-se o processo de estabelecimento das necessidades de projeto, o qual inicia com as manifestações dos clientes do projeto e termina com uma lista de necessidades declaradas para o problema. Para suportar este processo

implementou-se uma ferramenta denominada de DEFNEC. Através deste programa o projetista obtém auxílios para preparar questionários e aplicá-los aos clientes do projeto. Para tal o programa dispõe de um banco de dados de questões de projeto classificadas por fase do ciclo-de-vida do produto. Sob as respostas, ou interesses declarados, o programa oferece recursos para gerar e armazenar as declarações de necessidades do problema em questão. Dentre tais recursos incluí-se um conjunto de típicas necessidades para produtos injetados.

Através da “casa da qualidade”, por sua vez, prescrevem-se procedimentos para estabelecer os requisitos de projeto a partir das necessidades estabelecidas anteriormente. A ferramenta implementada para auxiliar neste processo denomina-se QFD. Trata-se de um programa com recursos para a edição da matriz da "casa da qualidade" onde as declarações de necessidades e de requisitos de projeto podem ser manipuladas. O programa conta, ainda, com um banco de dados de típicos atributos de componentes injetados para auxiliar na configuração dos requisitos de projeto.

Diante das necessidades e requisitos de projeto, estabelecidos com o auxílio dos programas anteriores, iniciam-se processos para conceber o produto. Sob o método de síntese de funções, procura-se estabelecer, inicialmente, uma estrutura funcional para o produto. Para auxiliar neste processo implementou-se uma ferramenta denominada de PRODEF. Trata-se, em essência, de um banco de dados de típicas funções de componentes injetados (gabinetes), estabelecidas na forma de par verbo + substantivo, associado a recursos para auxiliar na edição gráfica da estrutura de funções do produto.

Visando estender as capacidades do PRODEF e demonstrar a viabilidade de sistemas especialistas para auxiliar na concepção de produtos implementou-se um protótipo de demonstração de sistema especialista, utilizando o "shell" KAPPA-PC (IntliCorp, Inc., 1992), que auxilia na identificação das funções do produto através do conceito de "ícones de projeto". Os "ícones de projeto" representam parcelas do conhecimento do projetista, na forma de episódios, procedimentos, regras, fatos, entre outros tipos de conhecimentos, sobre dado produto, as quais são derivadas das fases de seu ciclo-de-vida. Sob cada "ícone de projeto" são associadas uma ou mais funções do produto. Dessa maneira, diante das necessidades ou requisitos de projeto, o projetista identifica, primeiro, os "ícones de projeto", lembrando ou percebendo determinados episódios, procedimentos, regras, fatos, etc. Sob os ícones identificados o programa infere, através de um conjunto de regras, quais são as funções mais apropriadas para o problema.

Diante das funções do produto e dos requisitos de projeto, prescreve-se um conjunto de procedimentos, sob o método morfológico, para estabelecer as concepções alternativas para o produto. Para tal implementou-se um programa, denominado de MMORF, que dispõe de recursos para a edição de uma matriz morfológica, associados a um banco de dados de princípios de solução (princípios para gabinetes moldados por injeção de plástico). Sob tais recursos, o projetista obtém auxílio para combinar princípios de solução e estabelecer as concepções mais apropriadas para o problema em questão. As concepções são geradas na forma de uma estrutura de princípios de solução, conforme a estrutura de funções geradas no PRODEF.

Com as alternativas de concepções geradas procede-se no sentido de estabelecer aquela que será levada adiante nas demais fases do desenvolvimento do produto. Para tal, implementou-se um programa denominado de MAVAL, que implementa um método de valoração de concepções, o qual determina o valor de importância de cada concepção alternativa, baseado no confronto entre os requisitos de projeto e as qualidades das concepções geradas. Para tal, o programa conta com recursos para relacionar, inicialmente, os requisitos de projeto (critérios de avaliação) com as qualidades das concepções geradas. Sob os relacionamentos resultantes, o programa calcula o valor de importância de cada concepção, organizando-as em ordem decrescente. Sob este resultado, o projetista obtém indicativos para

decidir qual será a concepção escolhida para o problema.

Em particular, como exemplos dos programas implementados, mostra-se, na "Fig. 5" e "Fig. 6", algumas das principais funcionalidades promovidas pelos programas QFD e MMORF, respectivamente.

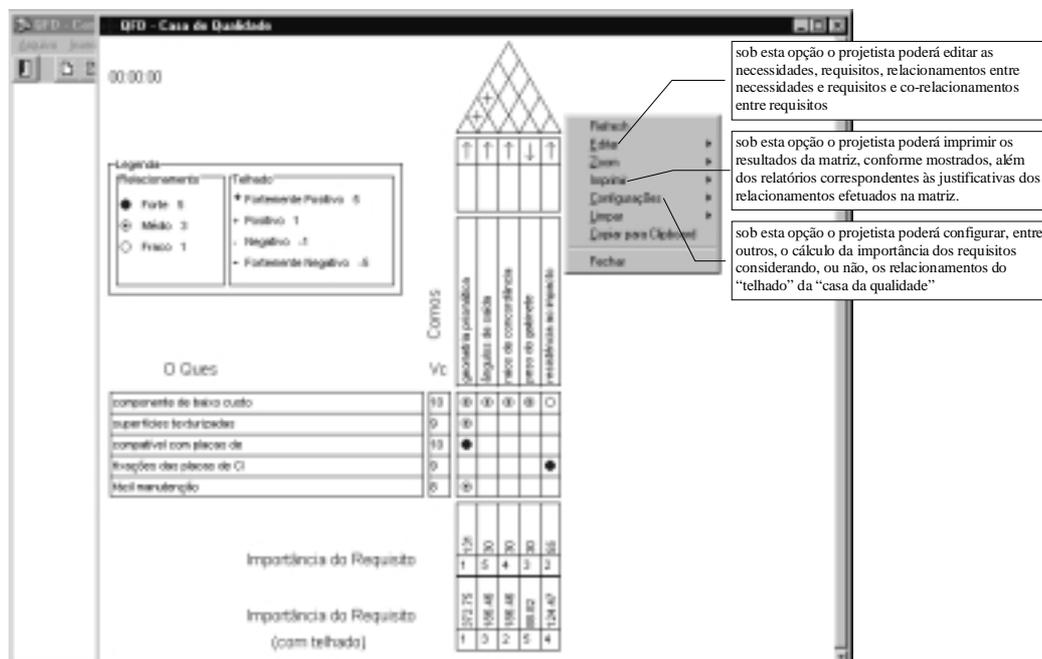


Figura 5 - Interface gráfica do programa QFD e algumas de suas principais funcionalidades.

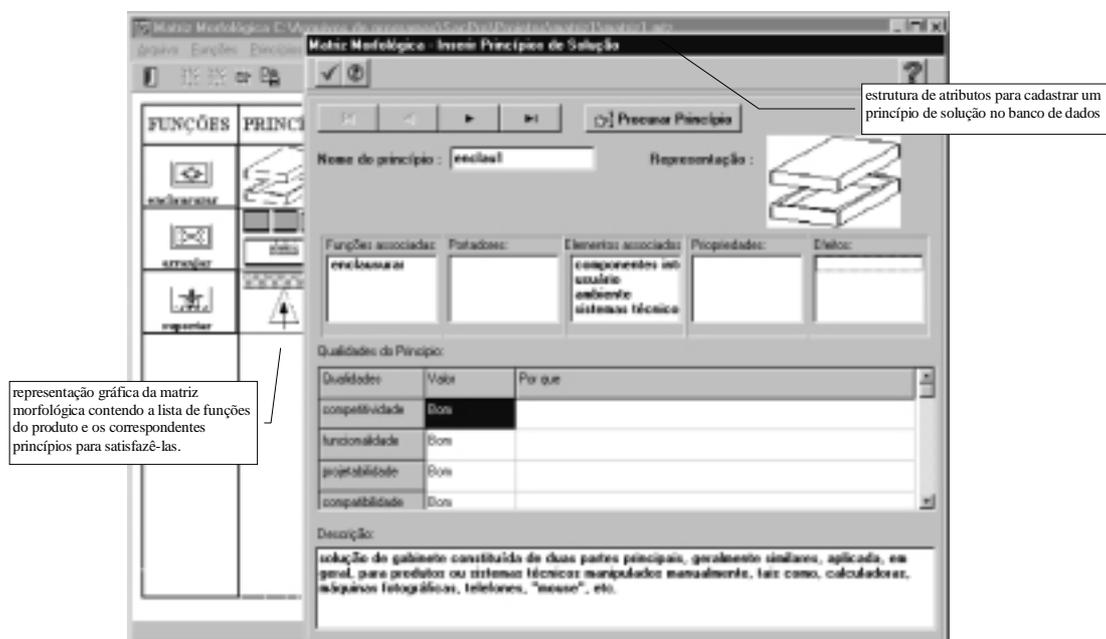


Figura 6 - Interfaces do programa MMORF e algumas de suas principais funcionalidades.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sob os resultados do presente trabalho, verificou-se que as diretrizes propostas para a implementação de ferramentas computacionais de apoio à concepção de produtos, se mostraram eficientes; elas contemplam as características de dada metodologia de projeto e de

processos cognitivos do projetista, orientando a “tradução” destes sistemas em funcionalidades computacionais.

As ferramentas resultantes caracterizam-se na forma de ferramentas facilitadoras do processo, ou seja, na forma de ambientes computacionais e de banco de dados que auxiliam nas funções de “memória curta” e de “memória longa” do projetista, durante a concepção.

Através dos programas implementados, o projetista terá a oportunidade de praticar, efetivamente, o projeto conceitual de produtos, uma vez que, os mesmos, contemplam, através de suas funcionalidades e recursos, os procedimentos prescritos na metodologia proposta para a concepção de produtos.

A evolução dos programas na forma de sistemas especialistas é viável, entretanto depende de modelos que capturem os processos de inferência do projetista e que sejam orientados aos procedimentos prescritos em cada método de projeto.

REFERÊNCIAS

- Evbuomwan, N.F.O., Sivaloganathan, S., Jebb, A., 1996, A survey of design philosophies, models, methods and systems, Proc Instn. Mech. Engrs, vol 210, pp. 301-320.
- Finkelstein, L. & Finkelstein, A.C.W., 1983, Review of design methodology, IEE Proceedings, vol. 130, n. 4, pp. 213-221.
- InteliCorp, Inc., 1992, KAPPA-PC User's Guide, versão 2.0.
- Ogliari, A., 1999, Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetado, Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- Pahl, G. & Beitz, W., 1996, Engineering design: a systematic approach, Springer-Verlag London Limited, Great Britain.
- Ullman, D.G., 1991, The mechanical design process. McGraw-Hill Book Co., Singapore.
- Yoshikawa, H., 1989, Design Philosophy: The State of the Art, Annals of the CIRP, vol. 38/2, pp. 579-586.

CONCEPTUAL DESIGN PRODUCTS AIDED FOR COMPUTER: SYSTEMATIC, GUIDELINES AND COMPUTACIONAL TOOLS

Abstract: *The conceptual design practice of products doesn't happen in the industry with the same intensity that is recommended in the literature and taught in the academic means. The reason for that is the lack of computational tools that contemplate the procedures prescribed in the design methodologies. This lack is, partly, due to the nature of the information manipulated during the conception and the difficulty to capture and to systematize the experience and the designer's creativity. In this context, is presented a systematic for the conception of products, through which tools are implemented to aid in the effective practice of the conceptual design, from the needs to the establishment of the best concept for the product. The systematic is based on structured questionnaire, Quality Function Deployment, synthesis of functions, morphological and conception valoration methods. The computational tools has been developed under the following guidelines: to implement computational ambients, database and knowledge base to aid in the functions of "short memory", "long memory" and designer's inference processes, respectively. Under the systematic and the established guidelines, at the end, are presented the main functionalities of the implemented tools.*

Key Words: Conceptual design, design methods, computational tools