

SÍNTESE DE FUNÇÕES DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS: SISTEMÁTICA, APOIO À IDENTIFICAÇÃO DE FUNÇÕES E FERRAMENTA COMPUTACIONAL

André Ogliari

Nelson Back

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos - NEDIP, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: ogliari@emc.ufsc.br.

Resumo

Após a formulação da tarefa de projeto, que resulta nas especificações de projeto, iniciam-se atividades para configurar as alternativas conceituais para o produto. Os procedimentos prescritos para esse propósito são considerados, em grande parte, sob o método de síntese de funções (Pahl & Beitz, 1996). Ocorre, entretanto, seja pela natureza abstrata das informações durante a concepção, seja pela insuficiência de informações, entre outros fatores, que a síntese de funções tem sido pouco abordada, seja no desenvolvimento do produto, em si próprio, seja no desenvolvimento de ferramentas de apoio ao projeto. No desenvolvimento do produto, por exemplo, cabe à equipe de projeto, através da experiência, pesquisa exaustiva, tentativa e erro, encontrar e arranjar as funções mais adequadas, o que, nem sempre leva a resultados satisfatórios. Sob tais considerações apresenta-se nesse trabalho uma sistemática para a síntese funcional de produtos voltada ao domínio de componentes de plástico injetados sob a qual introduz-se o conceito de “ícones de projeto” como um elemento de transição entre as especificações de projeto e as funções do produto. Os “ícones de projeto” constituem-se, em essência, de parcelas de conhecimentos sobre os elementos do domínio de aplicação, tais como objetos, processos, agentes, fenômenos, entre outros, sejam na forma de fatos, episódios, procedimentos e regras os quais, quando sistematizados, auxiliam no reconhecimento das funções de dado produto. Sob este conceito propôs-se uma base inicial de “ícones de projeto” e implementou-se um protótipo de ferramenta computacional de apoio à identificação de funções do produto, cujos resultados serão mostrados com aplicações voltadas à concepção de componentes de plástico injetados.

Palavras-chave: Concepção de produtos, Síntese funcional, Produtos de plástico injetados

1. INTRODUÇÃO

Após a formulação da tarefa de projeto, que resulta nas especificações de projeto, iniciam-se atividades para configurar as concepções alternativas para o produto. Essas alternativas são desenvolvidas com base na estrutura de funções a qual é estabelecida por processos de abstração, decomposição, entre outros, desde a função global até as funções elementares do produto. Noutra forma, a síntese de funções constitui-se de orientações gerais para estabelecer e arranjar as funções do produto numa estrutura que define sua lógica de funcionamento, através do fluxo de grandezas como energia, material e sinal. Essas atividades são prescritas para o início do projeto conceitual e a importância de seus resultados reside, principalmente, em facilitar a pesquisa sistemática de soluções alternativas, aumentando-se as

chances de inovação ou melhoramento do produto.

Apesar da importância da síntese de funções tem-se observado que essa atividade tem sido relegada. Em geral, parte-se das especificações de projeto diretamente para a proposição de soluções concretas para o produto. Esforços na exploração e generalização do problema, em suas fases iniciais de resolução, têm sido evitados. Dentre os fatores, destaca-se: i) a natureza abstrata das informações manipuladas durante a concepção de produtos; ii) a insuficiência de informações nessa fase do desenvolvimento e iii) a falta de mecanismos de apoio ao reconhecimento de funções a partir das necessidades e requisitos de projeto.

Sob esse último fator apresenta-se uma proposta de “elementos de transição” entre as especificações de projeto e as funções do produto. Tais elementos, conforme serão definidos mais adiante, foram denominados de “ícones de projeto”. Constituem-se, em essência, de parcelas de conhecimentos sobre objetos, processos, agentes, fenômenos, entre outras entidades do domínio de aplicação, sejam na forma de fatos, episódios, procedimentos ou regras, as quais, quando sistematizadas, promovem meios de auxílio ao reconhecimento das funções do produto.

Esses elementos e a síntese de funções foram explorados sob o domínio de produtos de plástico injetados, procurando-se, em parte, ampliar a problemática existente. Trata-se de produtos onde o fluxo de grandezas como energia, material e sinal não é diretamente evidente, dificultando o estabelecimento de funções e seu arranjo em dada estrutura. A sistemática proposta foi implementada computacionalmente, resultando em um programa protótipo para auxiliar a síntese funcional de produtos, cujos principais recursos serão apresentados, sob o projeto de um gabinete de plástico injetado.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A síntese de funções do produto tem sido abordada sob vários enfoques. Desde aqueles mais abrangentes, como os da escola alemã de projeto de engenharia (Roth (1982), Koller (1985), Pahl & Beitz (1996), entre outros), até aqueles dedicados a determinados domínios de aplicação (Schulte & Weber (1993), Sebastian (1993), Wood (1996), entre outros), os autores procuram desenvolver subsídios ao raciocínio funcional nas etapas iniciais do desenvolvimento do produto. Pretende-se, com isso, facilitar a generalização do problema de projeto, promover meios para explorá-lo de maneira abrangente e suportar a concepção abstrata do produto. Em síntese, são propostas para suportar a definição do que o produto deve fazer, antes de partir para soluções concretas, entendendo-se, dessa maneira, que as oportunidades de inovação ou melhoramento do produto serão ampliadas, já que, várias alternativas de solução podem ser pesquisadas ou desenvolvidas para as diferentes funções estabelecidas.

Na proposta de Koller (1985), por exemplo, na fase de síntese de funções, prescrevem-se procedimentos para encontrar a função total do produto, a estrutura de funções parciais e a estrutura de operações básicas. A função total resulta da análise da tarefa de projeto, indicando o objetivo do sistema técnico e as principais grandezas envolvidas no processo de transformação. A estrutura de funções parciais, por sua vez, consiste no desdobramento da função total, dividindo o objetivo do sistema técnico em objetivos mais simples. Essas funções, se resolvidas em sua proposição inicial, não necessitam de desdobramento adicional, caso contrário, devem ser desdobradas ao nível de funções elementares. As funções parciais e elementares, quando resolvidas, constituem-se de processos físicos elementares do sistema técnico, indicando a natureza das grandezas processadas. A generalização dessas grandezas leva à estrutura de operações básicas, a partir da qual podem ser obtidos arranjos alternativos das funções do sistema técnico. Para auxiliar nesse processo Koller (1985) propôs um conjunto de doze operações básicas, e suas inversas, como, por exemplo, transformar

(retrotransformar), ampliar (reduzir), transmitir (isolar), etc.

Essa abordagem representa, em linhas gerais, os princípios da escola alemã de projeto de engenharia, cuja generalização das fases iniciais do desenvolvimento do produto, e que envolvem a síntese de funções, pode ser estabelecida conforme a Figura 1.

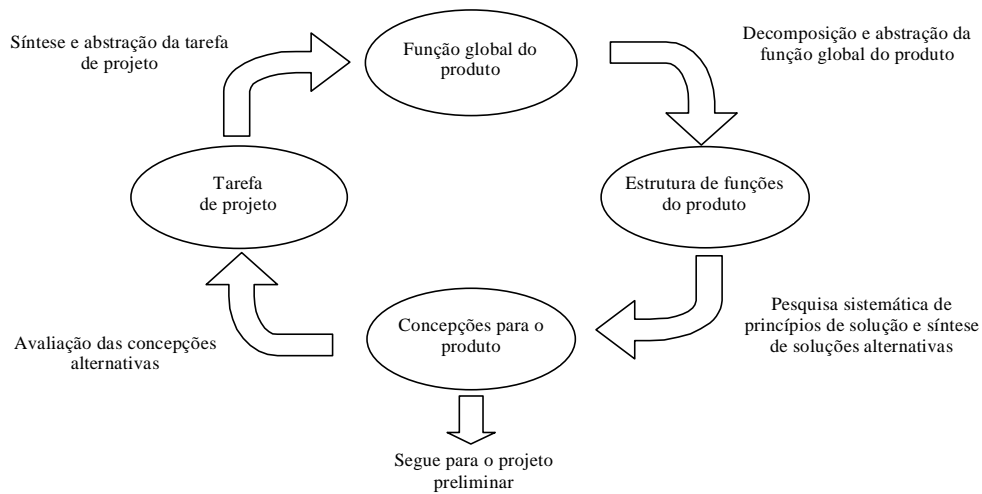


Figura 1. Generalização das abordagens de projeto conceitual do produto, segundo a escola alemã de projeto de engenharia (Ogliari, 1999)

De acordo com a Figura 1, as fases iniciais de concepção consistem de atividades de síntese e abstração da tarefa de projeto, resultando na função global do produto. Essas atividades têm o propósito de identificar os problemas essenciais de projeto, desconsiderando-se detalhes ou características que possam conduzir a soluções pré concebidas para o produto. Seguindo, realizam-se processos de decomposição e abstração da função global com o propósito de dividir o problema em partes de menor complexidade preservando a natureza abstrata do problema. Procura-se, também, nessa etapa, obter soluções alternativas, variando-se a estrutura de funções. Na pesquisa sistemática de princípios de solução cada função genérica do produto é resolvida individualmente, resultando num campo de soluções que viabiliza a síntese de concepções alternativas. Essas concepções são confrontadas, ao final, com as especificações da tarefa de projeto, resultando naquela que será levada adiante nas demais fases do projeto (preliminar e detalhado).

Embora simples, em sua essência, essa abordagem de concepção apresenta certas dificuldades, principalmente quando se trata do projeto de produtos onde o fluxo de grandezas, como energia, material e sinal, não são diretamente evidentes, tais como no projeto de componentes de plástico injetados. Nesse caso, os produtos são componentes individuais, ou parte de sistemas maiores, cujas funções são consideradas, em geral, pelas entidades geométricas que compõe o componente (nervuras, ressaltos, furos, etc.). Adicionalmente, o nível de abstração considerado nas abordagens alemãs conflita, em parte, com o modo natural como os projetistas de produtos de plástico injetados percebem ou entendem determinadas soluções de projeto (na forma de entidades geométricas concretas). Dessa maneira, entende-se que a aplicação das abordagens clássicas para a síntese de funções de produtos de plástico injetados não é direta. São necessários estudos adicionais para definir e caracterizar as funções de produtos daquele domínio, além de meios para melhor suportar a identificação de cada função, a partir das necessidades e requisitos de projeto.

Nessa direção, na proposta de Schulte & Weber (1993), as funções do produto são consideradas sob determinadas formas, ou elementos geométricos, e sob as diferentes fases do ciclo de vida do produto. Assim, por exemplo, um dado elemento cilíndrico num assento de mancal tem a função de projeto (básica) de “suportar forças axiais e movimentos

relacionados”, bem como a função de montagem de “bloquear o movimento durante a operação de montagem do mancal de rolamento”. Verifica-se, nessa proposta, que as funções do produto são estabelecidas, em parte, pela justificativa da existência de determinado elemento de forma ou entidade geométrica do produto, sob diferentes aspectos, incluindo-se, aí, as fases do ciclo de vida. Essa maneira de raciocinar e identificar as funções do produto parece se encontrar mais próxima daquela normalmente empregada pelos projetistas. Entretanto, essa abordagem se aplica à análise das funções de produtos existentes. Questões relacionadas com a identificação das funções do produto a partir das especificações de projeto e com o arranjo destas numa estrutura, que oriente a síntese de soluções, não têm sido investigadas pelos autores

Diante das considerações anteriores e do fato de não se encontrarem mecanismos efetivos de auxílio à identificação de funções do produto a partir das especificações de projeto propõe-se que essa atividade seja baseada num “conceito de transição” associado às declarações de necessidades e requisitos de projeto. Esse conceito deve considerar os conhecimentos fatuais, episódicos, procedurais, entre outros, que o projetista tem, ou poderá obter, sobre o domínio de aplicação. Deve-se evitar, porém, que esse “conceito de transição” inclua soluções concretas para o produto, ou detalhes de projeto, os quais, poderão reduzir as possibilidades de inovação e, muito provavelmente, condicionarão a síntese de funções. Essa proposta é mostrada genericamente na Figura 2.

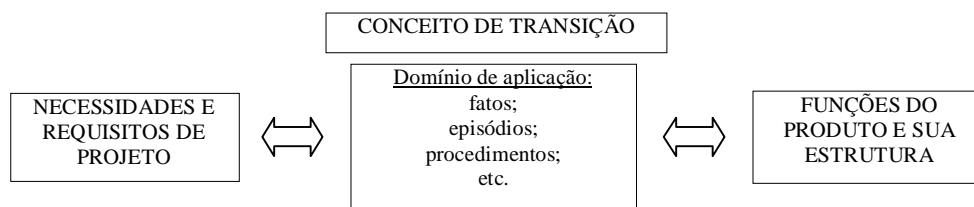


Figura 2. Generalização de elementos de apoio à identificação de funções de produtos (Ogliari, 1999)

Sob a proposição anterior, define-se o “conceito de transição” como sendo “ícones de projeto”, cuja origem, natureza e principais características serão descritas a seguir, conforme modelos de percepção de entidades propostos por Sowa (1984).

3. ÍCONES DE PROJETO

Quando o projetista está diante de uma declaração de necessidade ou de requisito de projeto, sua interpretação ou percepção daquela declaração se dará através de uma vasta rede de relacionamentos com outras entidades conceituais provenientes de seu conhecimento, conforme o modelo proposto por Sowa (1984). Essa rede de relacionamentos é denominada de rede semântica. Assim, por exemplo, a declaração de necessidade do tipo “(...) evitar deslocamentos da placa de circuito integrado (...)” será percebida, ou configurada, na mente do projetista, conforme o modelo da Figura 3.

De acordo com a Figura 3, a declaração de necessidade citada será configurada na forma de um grafo conceitual constituído de conceitos (retângulos) e de relações (círculos) percebidos através de conhecimentos prévios do projetista (percepções armazenadas na memória do projetista ao longo do tempo). Além dessas percepções, existem outros elementos de conhecimento, tais como procedimentos, episódios, tipos de definições, regras, entre outros, os quais poderão ser empregados para inferir demais percepções ou resolver dado problema. Assim, por exemplo, diante do problema de “(...) identificar as funções do produto

(...)” (declaração que também será reconhecida conforme o exemplo da Figura 3), o projetista tentará recuperar em sua memória aqueles elementos de conhecimento que têm relações entre os conceitos das declarações de necessidades e da tarefa atribuída. Nessa tentativa, por exemplo, o projetista poderá recuperar um episódio experimentado, tal como “(...) o parafuso segurou a placa na posição desejada (...)” (será um episódio reconhecido conforme o modelo da Figura 3), e inferir, a partir daí, a função SEGURAR A PLACA DE CI ou, utilizando seus conhecimentos de sinônimos de verbos, FIXAR A PLACA DE CI.

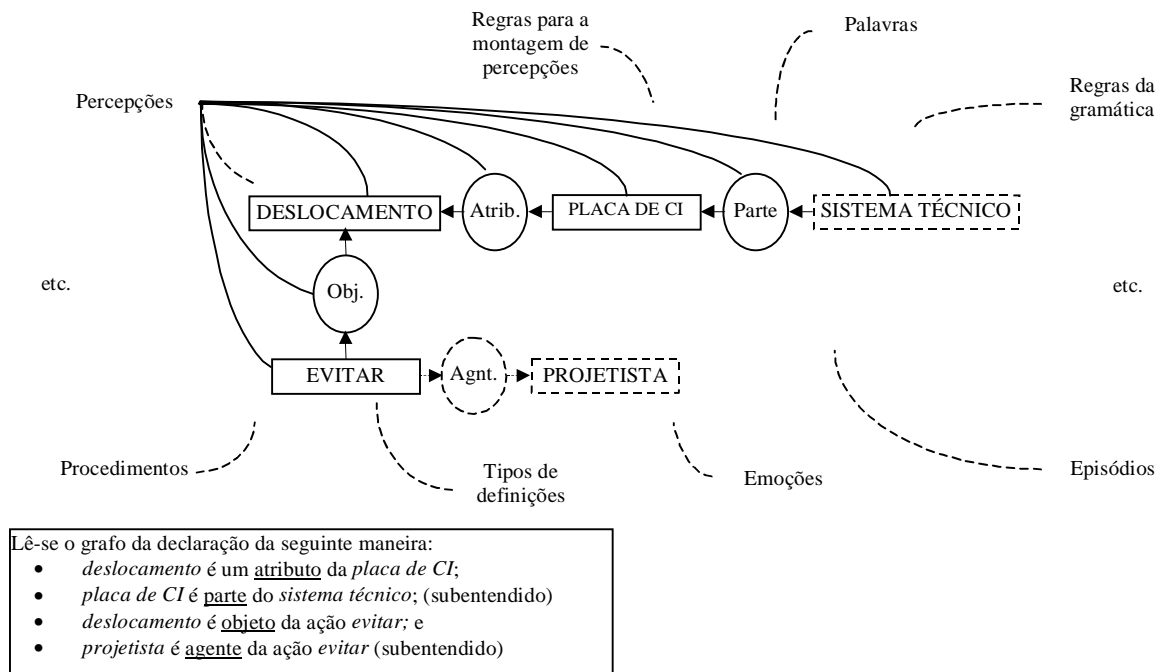


Figura 3. Exemplo de modelo de percepção de uma declaração de necessidade de projeto (Ogliari, 1999)

Além dos conhecimentos recuperados na memória para realizar as inferências ou resolver determinados problemas, o projetista pode fazer uso de fatos ou observações concretas sobre o ambiente de desenvolvimento do produto. No caso, por exemplo, ele poderia estar observando como as pessoas normalmente utilizam determinado produto, reconhecendo ou inferindo funções a partir dos ícones sensoriais sendo capturados e percebidos.

Diante do modelo de percepção descrito, define-se um “ícone de projeto” como sendo parcelas de conhecimentos sobre as entidades do domínio de aplicação (objetos, processos, agentes, fenômenos, etc.) estabelecidas na forma de fatos, episódios, procedimentos, regras, etc., que ativam ou disparam o reconhecimento de relações entre as necessidades e requisitos de projeto com as funções do produto. Sob essa definição, o reconhecimento de funções do produto pode ser auxiliado através de uma base de “ícones de projeto” do domínio de aplicação. Sob essa base, num primeiro momento, o projetista pesquisará os “ícones de projeto” que se relacionam com as declarações de necessidades e/ou de requisitos de projeto. Num segundo momento, sob os ícones resultantes, ele pesquisará, numa base de funções, aquelas mais apropriadas para o produto em questão. Dessa maneira, ao final, as funções estabelecidas representarão ou "traduzirão" as necessidades e requisitos especificados.

Uma característica importante de um “ícone de projeto” consiste na generalidade de sua formulação, ou seja, ele deverá ser desprovido de soluções concretas conhecidas, ou detalhes de projeto, para promover uma identificação genérica das funções do produto.

A utilização e a implementação prática dessa proposta pressupõe a sistematização de uma base de “ícones de projeto” relacionada ao domínio de aplicação, o que não se constitui numa

tarefa simples e imediata, pois a quantidade e a variedade de fatos, procedimentos, episódios, regras, etc., sobre dado domínio, é bastante extensa. Propõe-se, num primeiro momento, que essa base seja desenvolvida considerando-se as fases do ciclo de vida do produto, como critérios de categorização dos “ícones de projeto”, em conjunto com os principais elementos que se relacionam com o produto. Assim, por exemplo, no caso de gabinetes moldados por injeção e para a fase de utilização do produto, pode-se ter os “ícones de projeto” conforme mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Exemplo parcial de uma base de “ícones de projeto” (Ogliari, 1999)

Tipos de conhecimentos	Elementos do domínio	Ícones de projeto	Funções associadas (relativo ao gabinete)
episódios	usuário do produto	"o usuário descuidou-se na utilização da calculadora e esta caiu no chão"; etc.	Proteger os elementos do sistema técnico; Regular os mecanismos do sistema técnico; etc.
procedimentos	ambiente do produto	"antes de deixar o local de trabalho verifique se os computadores estão devidamente desligados"; etc.	Informar as operações do sistema técnico; etc.
regras	componentes do produto	"as placas de circuito integrado da calculadora não podem encostar nas paredes do gabinete"; etc.	Suportar placas de CI; Espaçar placas de CI; etc.
fatos	componentes do produto	"o sistema técnico sendo projetado tem uma placa de CI sensível ao calor"; etc.	Ventilar a placa de CI etc.

Diante do “conceito de transição” entre as especificações de projeto e as funções de componentes de plástico injetado proposto estabeleceu-se uma sistemática para a síntese de funções, cujas principais características e sua implementação é descrita nos itens que segue.

4. SISTEMÁTICA PARA A SÍNTESE FUNCIONAL DE PRODUTOS

Sob o método de síntese de funções, constitui-se o processo de **estabelecimento das funções do produto**, conforme a Figura 4, cujas entradas principais são as necessidades e os requisitos de projeto, e as saídas são as funções do produto organizadas numa dada estrutura. As funções resultantes desse processo irão orientar a busca, a sistematização e o arranjo de princípios de solução alternativos para o produto, em etapas posteriores.

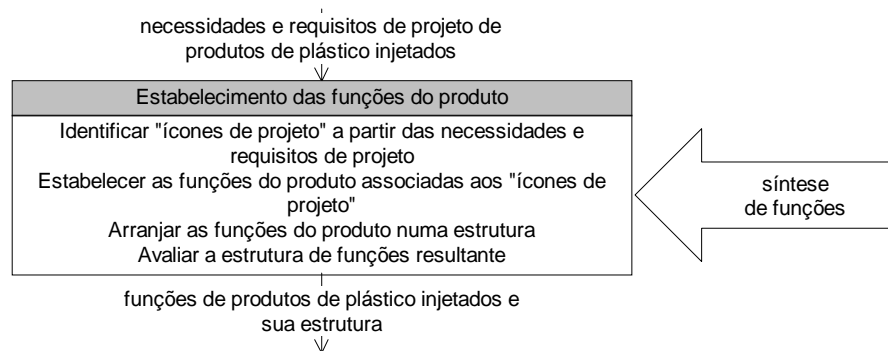


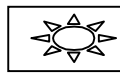
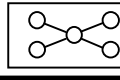
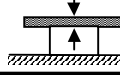
Figura 4. Processo de estabelecimento das funções do produto e sua estrutura sob o método de síntese de funções (Ogliari, 1999)

O desenvolvimento e a implementação da sistemática proposta, implica, em parte, na caracterização de típicas funções do domínio de aplicação, com o propósito de auxiliar na identificação daquelas que melhor representam o problema em questão. Algumas dessas funções foram propostas para gabinetes injetados (Ogliari, 1999) conforme exemplos mostrados na Tabela 2.

Considerando uma base de "ícones de projeto", conforme exemplificada na Tabela 1, o processo de estabelecimento das funções do produto deve iniciar, em primeiro lugar, conforme a Figura 4, pela identificação daqueles “ícones de projeto” que melhor representam

os problemas em questão. Para tal, deve-se promover uma comparação sistemática entre as necessidades e os requisitos de projeto com a base de “ícones de projeto”. A orientação geral, nesse sentido, consiste em percorrer, individualmente, as declarações de necessidades e requisitos de projeto, analisando elementos que possam ser associados aos elementos dos “ícones de projeto”. Quando tal associação, ou relação, for identificada, o correspondente “ícone de projeto” deve ser registrado. Se, na formulação dos “ícones de projeto” forem associadas típicas funções de produtos, conforme exemplos mostrados na Tabela 1, identificando-se os “ícones de projeto”, identificam-se automaticamente as funções do produto. As funções identificadas devem ser verificadas e, se relevantes, estabelecidas como as funções para o problema em questão.

Tabela 2. Típicas funções de gabinetes de plástico injetados (Ogliari, 1999)

Contexto	Funções (sinônimos)	Símbolo proposto	Características
Relativo aos componentes e/ou mecanismos internos do sistema técnico	Enclausurar (confinar)		Trata-se de uma função principal do gabinete; consiste no confinamento dos componentes e/ou mecanismos do sistema técnico sob um dado ambiente, volume ou estrutura.
	Arranjar (dispor, ordenar)		Trata-se de uma função derivada do enclausuramento cujo propósito é estabelecer uma ordem ou disposição entre componentes e/ou mecanismos internos do sistema técnico.
	Suportar (apoiar)		Trata-se de uma função derivada do arranjo dos componentes e/ou mecanismos internos do sistema técnico cujo propósito é garantir o apoio e a rigidez no contato entre os elementos.
--	--	--	--

Após o estabelecimento das funções, prescrevem-se procedimentos para arranjá-las ou organizá-las numa dada estrutura e, em seguida, para a avaliação da adequacidade da estrutura resultante para o problema em questão. A discussão sobre esses procedimentos será objeto de futuros trabalhos.

5. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

Diante da sistemática proposta procedeu-se na proposição de funcionalidades para uma ferramenta computacional de apoio ao processo de estabelecimento das funções do produto, a qual foi denominada de PRODEF (PROgrama de auxílio à DEFinição das Funções do produto). A partir dessas funcionalidades, conforme parcialmente mostradas na Tabela 3, foram desenvolvidos recursos em software, empregando-se a ferramenta de desenvolvimento *Borland C++ Builder*. Alguns desses recursos são mostrados na Figura 5.

Tabela 3. Proposições parciais para a implementação do PRODEF (Ogliari, 1999)

Método de projeto	Procedimentos de projeto	Proposições teóricas	Implem. comput.	Proposições aplicadas (funcionalidades para ferramenta computacional)	Programa de auxílio ao projeto
Síntese de funções	<ul style="list-style-type: none"> identificar "ícones de projeto" a partir das necessidades e requisitos de projeto 	<ul style="list-style-type: none"> sistematização de um conjunto inicial de funções para gabinetes proposição do conceito de "ícones de projeto" base inicial de "ícones de projeto" associados às funções de gabinetes 	⇒	<ul style="list-style-type: none"> base de dados de funções de gabinetes de plástico injetados base de dados de "ícones de projeto" do domínio de produtos de plástico injetados atributo para cadastrar as funções do gabinete, cujos valores são os "ícones de projeto" 	PRODEF
	<ul style="list-style-type: none"> estabelecer as funções do produto associadas aos "ícones de projeto" 	<ul style="list-style-type: none"> identificação automática de parte das funções do produto, através dos "ícones de projeto" identificados 		<ul style="list-style-type: none"> funções para selecionar os "ícones de projeto" a partir das necessidades e requisitos de projeto funções para selecionar e apresentar automaticamente as funções do produto a partir dos "ícones de projeto" selecionados 	
	<ul style="list-style-type: none"> etc. 	<ul style="list-style-type: none"> etc. 		<ul style="list-style-type: none"> etc. 	

Na Figura 5, por exemplo, são apresentados os recursos para selecionar os “ícones de projeto”, previamente armazenados numa base de dados, a partir das necessidades e dos requisitos estabelecidos em processos anteriores. Sob tais recursos o projetista visualiza a lista de necessidades e de requisitos procurando identificar elementos que possam ser associados aos “ícones de projeto” listados. Exemplos de típicas associações entre “ícones de projeto” e necessidades ou requisitos, conforme estudo de caso de projeto de um gabinete de plástico injetado, são mostradas na Tabela 4.

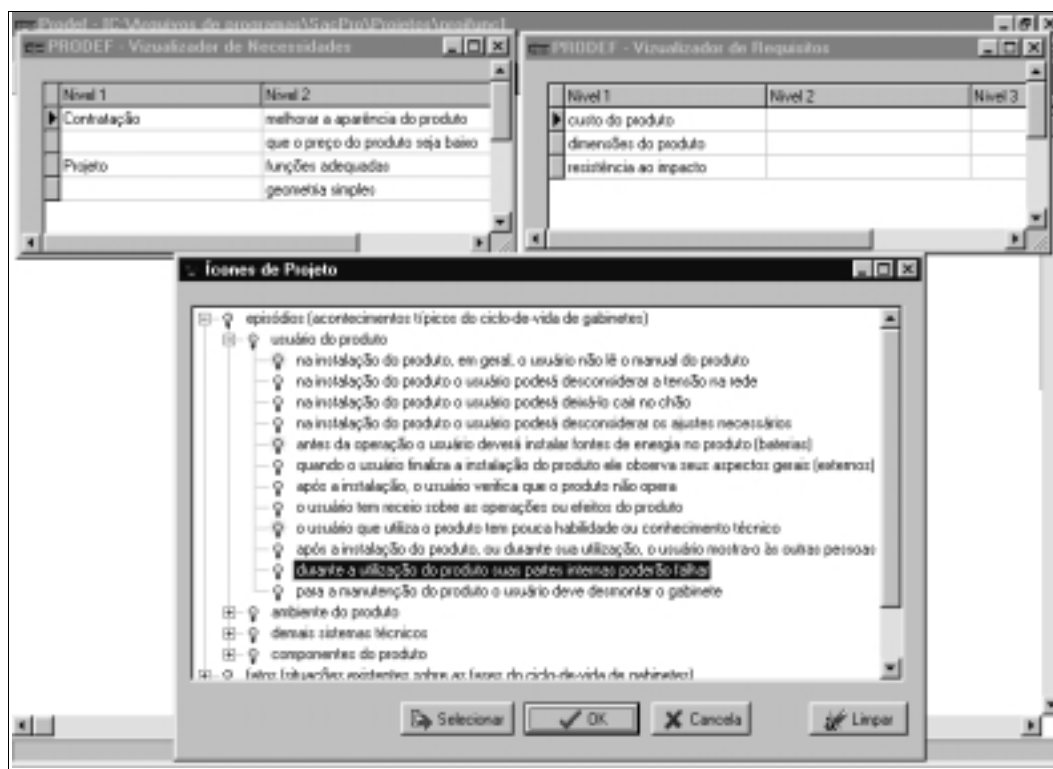


Figura 5. - Recursos para visualização das necessidades e requisitos de projeto e seleção de "ícones de projeto" (Ogliari, 1999)

Tabela 4. Exemplos de associações entre “ícones de projeto” e necessidades e requisitos (Ogliari, 1999)

“Ícones de projeto” selecionados	Necessidades (N) e requisitos (R) associados
1. <i>na instalação do produto o usuário poderá deixá-lo cair no chão.</i>	• resistência ao impacto (R)
2. <i>após a instalação o usuário verifica que o produto não opera.</i>	• melhor informar o usuário sobre os componentes do coletor (N) • percepção visual (R)
3. <i>etc.</i>	• etc.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sob as principais proposições do presente trabalho e diante dos resultados obtidos na utilização do PRODEF num estudo de caso de projeto de um gabinete injetado (Ogliari, 1999), faz-se as seguintes considerações:

- na utilização da ferramenta proposta verifica-se que o projetista terá a oportunidade de explorar efetivamente os aspectos funcionais do produto, a partir das necessidades e dos requisitos de projeto, independente de soluções pré concebidas;

- sobre a identificação de funções, através dos “ícones de projeto”, verifica-se que se trata de um mecanismo com potencial para auxiliar no início do processo de estabelecimento das funções do produto; atividade, normalmente dificultada pelos processos de abstração e generalização, que se fazem necessários;
- a evolução dessa ferramenta dependerá da ampliação da base de dados de “ícones de projeto” e de mecanismos para associar, automaticamente, as declarações de necessidades e de requisitos de projeto, com os “ícones” estabelecidos; algumas idéias nesse sentido passam pelo desenvolvimento de sistema especialista para auxiliar na identificação de funções;

7. REFERÊNCIAS

- Koller, R., 1985, “Konstruktionslehre für den Maschinenbau”, Heidelberg : Springer Verlag, 327 p.
- Ogliari, A., 1999, “Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetados”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, S.C., Brasil, 342 p.
- Pahl, G. and Beitz, W., 1996, “Engineering design: a systematic approach”, 2. ed. Great Britain : Springer-Verlag London Limited, 544 p.
- Roth, K., 1982, “Konstruieren mit Konstruktionskatalogen”, Heidelberg : Springer Verlag, 475 p.
- Schulte, M. and Weber, C., 1993, “The relationship between function and shape”, In: International Conference on Engineering Design - ICED 93. The Hague, The Netherlands, pp. 9-20.
- Sebastian, D.H., 1993, “Function based design for injection molding”, Annual Technical Conference (ANTEC'93)-SPE. pp. 1114-1119.
- Sowa, J.F., 1984, “Conceptual structures: information processing in mind and machine”, New York : Addison-Wesley Publishing Company, 481 p.
- Wood, S. L., 1996, “Design reasoning using plastic injection molding primary features”, *Proceedings: The ASME Design Engineering Technical Conference and Computers in Engineering Conference*. Irvine, California, pp. 1-12.