

**O Conceito de *Projecto Orientado à Fabricação*
Aplicado ao *Projecto Assistido por Computador***

Eng^o Gilberto Dias da Cunha

Universidade Federal do Rio Grande do Sul -Brasil

**Lisboa - Portugal
1995**



UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

REITORIA

Imp. do selo.... - \$ -
Em^o. da cert.... 1.900\$00
Urgência..... - \$ -

Total 1.900\$00

Conferido, *Assiswandes*

-----**FERNANDA MARTINEZ CABANELAS ANTÃO**, Directora dos Serviços Administrativos da Reitoria da Universidade Nova de Lisboa.-----

-----**Certifico**, em cumprimento do despacho exarado em requerimento que fica arquivado nesta Secretaria, que dos livros competentes consta que **Gilberto Dias da Cunha**.-----

natural de Porto Alegre - Brasil.-----

Filho de Zeferino Monteiro da Cunha e de Iêda da Cunha, concluiu nesta Universidade, no dia trinta de Maio de mil novecentos e noventa e seis, as provas para obtenção do grau de doutor em Engenharia Mecânica, especialidade de Tecnologia Industrial, tendo sido Aprovado com Muito Bom com Distinção e Louvor, por unanimidade.-----

-----A presente certidão vai por mim assinada e firmada com o selo branco em uso nesta Universidade.-----

-----Reitoria da Universidade Nova de Lisboa, 07 de Maio de 1996.-----

Fernanda Martinez Cabanelas Antão

* pago em numerário
D.L. 7/90, de 3 de Jan.

O Conceito de *Projecto Orientado à Fabricação* Aplicado ao *Projecto Assistido por Computador*

Eng.º Gilberto Dias da Cunha

Universidade Federal do Rio Grande do Sul -Brasil

**Dissertação apresentada para obtenção do
Grau de Doutor em Engenharia Mecânica,
na especialidade de *Tecnologia Industrial,*
pela *Faculdade de Ciências e Tecnologia da*
Universidade Nova de Lisboa, orientado pelo
Prof. Doutor Jorge Joaquim Pamies Teixeira.**

**Lisboa - Portugal
1995**

**ESCOLA DE ENGENHARIA
BIBLIOTECA**

O Conceito de *Projecto Orientado à Fabricação* Aplicado ao *Projecto Assistido por Computador*

Eng^o Gilberto Dias da Cunha

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Brasil

**Dissertação apresentada para obtenção do
Grau de Doutor em Engenharia Mecânica,
na especialidade de *Tecnologia Industrial*,
pela *Universidade Nova de Lisboa*,
Faculdade de Ciências e Tecnologia.**

**Lisboa - Portugal
1995**

Este trabalho contou com o apoio financeiro do *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil* (CNPq), através da concessão de *bolsa de estudos* ao seu autor.

Desejo aqui expressar meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que, de uma maneira ou outra, contribuíram para a realização deste trabalho - em especial, à minha esposa, à minha família e aos meus colegas de trabalho.

Sumário

Este trabalho introduz um *modelo de representação da informação* concebido para permitir a *avaliação de produto* baseado nas abordagens providas pelo *Projecto Orientado à Fabricação*. Esse modelo concentra-se no domínio das peças mecânicas e é suposto que venha a operar conjuntamente com um sistema de *desenho assistido por computador*. Tanto a adequação do *modelo de representação da informação*, quanto a aplicação de tópicos específicos em *Projecto Orientado à Fabricação* são discutidas.

Um esquema de representação da informação sobre o produto e a fabricação baseado na *Tecnologia de Características* foi desenvolvido. O modelo geométrico da peça é baseado na abordagem da utilização de *bases de formas características* e no método de *síntese de volumes elementares*.

Um *protótipo de modelo de representação da informação* foi implementado baseado no *paradigma de programação orientada a objectos*. A adequação do *modelo de representação da informação* é examinada considerando-se a necessidade de viabilizar a análise das peças mecânicas baseada no *Projecto Orientado à Fabricação*.

Os tópicos relacionados com o *Projecto Orientado à Fabricação* - nomeadamente a *Tecnologia de Grupo*, a *selecção de processos* de fabricação das peças e a aplicação de *recomendações para a fabricação* - foram implementadas, utilizando-se técnicas de *engenharia de conhecimento*. Os procedimentos relacionados com a *selecção de processos* foram incluídos para auxiliar os projectistas a obterem uma definição aproximada do processo de fabricação da peça precedendo a actividade de *planeamento do processo*. Espera-se que este *modelo de representação da informação* também seja capaz de prover uma base razoável para o estabelecimento da análise relacionada com o *planeamento de processos*.

Observe-se que este trabalho insere-se no esforço de implementação da *Engenharia Concorrente* através da tentativa de aproximar as áreas de *projecto e fabricação*. Este objectivo é alcançado pela utilização de uma ferramenta computacional adequada para assistência aos projectistas na tarefa de avaliação do projecto da peça (face aos requisitos de fabricação).

Abstract

This work introduces an *information model* conceived to enable *product evaluation* based on the *design for manufacture* approach. It concentrates on the *mechanical parts* domain and it is supposed to operate coupled with a *computer-aided drafting* system. Both the *information model* adequacy and the application of specific *design for manufacture* topics are discussed.

A product and manufacturing information representation scheme based on the *Features Technology* was developed. The geometric part model is based on the *design by features* approach and the *synthesis of volumetric elements* method.

It was implemented an *information model prototype* based on the *object-oriented programming paradigm*. The *information model* adequacy is examined considering the need for enabling *mechanical part analysis* based on the *design for manufacture*.

The *design for manufacture* related topics - namely concerning *Group Technology*, part manufacturing *process selection* and *manufacturing rules* application - were implemented using *knowledge engineering* techniques. The *process selection* procedure was included to help designers obtaining a coarse definition on *part manufacturing process* preceding the *process planning* activity. This *information model* is also expected to provide a regular basis for the *process planning* reasoning.

It must be noticed this work is embedded in the *concurrent engineering* implementation effort by attempting to bridge the gap between *design* and *manufacture*. This objective is achieved by using an adequate software tool which assist designers in the part design evaluation task (in face of the manufacturing requirements).

Sommaire

Ce travail présente un *modèle d'information*, conçu de manière à permettre l'évaluation des produits, basé sur l'approche de la *Conception pour la fabrication*. Le modèle proposé concerne la représentation des pièces mécaniques, et il doit être utilisé en parallèle avec un système de *Conception assisté par ordinateur*. L'adequation du *modèle d'information*, ainsi que l'application de certains sujets spécifiques de la *Conception pour la fabrication* sont abordées.

Un schéma de *modèle d'information* des produits et de la fabrication, basé sur la *Technologie a base de caractéristiques* a été développé. Le modèle géométrique des pièces est basé sur l'approche des *Bases de caractéristiques de forme* et sur la méthode de *Synthèse d'éléments volumétriques*.

Un prototype du *modèle d'information* a été mis en oeuvre, basé sur le paradigme de la *Programmation orientée par objet*. L'adequation du *modèle d'information* est vérifiée en fonction du développement de l'analyse des pièces mécaniques, basé sur la *Conception pour la fabrication*.

Les sujets liés à la *Conception pour la fabrication* - notamment la *Technologie de groupe*, le *Choix des procédés de fabrication* des pièces et l'application des consignes de fabrication - ont été mis en oeuvre, à partir des techniques de la *Modélisation de la connaissance*. Les procédés liés à la sélection des procédés ont été utilisés, afin d'aider les projecteurs à obtenir une définition approché du procédé de fabrication de la pièce, avant de l'activité de *Planification du processus*. Le *modèle d'information* est sencé d'être capable de générer une base suffisante pour établir une analyse liée a la *Planification des processus*.

Il est important de remarquer que ce travail fait partie d'un effort de mis en oeuvre de *L'Ingenierie concourante*, ainsi que de son approximation des domaines du projet et de la fabrication.

Cet objectif est attendu par le biais d'utilisation d'un outil d'informatique adequat à l'aide des projecteurs dans la tâche de l'évaluation du projet des pièces (par rapport aux besoins de fabrication).

Notações, abreviaturas, traduções e termos técnicos utilizados

Abreviaturas:

ANSI -	<i>American National Standards Institute</i>
CAM - I	<i>Computer-Aided Manufacturing-International Inc.</i>
DIN -	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
ISO -	<i>International Standards Organization</i>
SI -	<i>Sistema Internacional</i>
STEP -	<i>Standard for Exchange of Product Data (denominação adoptada pela ISO)</i>
VF -	<i>Vista Frontal (referente a desenhos)</i>
VLE -	<i>Vista Lateral Esquerda</i>
VS -	<i>Vista Superior</i>

Traduções e Termos Técnicos:

<i>Bases de Dados Orientadas por Objectos</i>	- tradução de <i>Object-Oriented Databases (OODB)</i>
<i>(Formas) Características</i>	- tradução para <i>(Form) Features</i>
<i>Geometria Construtiva de Sólidos</i>	- tradução para <i>Constructive Solid Geometry (CSG)</i>
<i>Directrizes para Projecto Orientado à Fabricação</i>	- tradução para <i>Design for Manufacture Guidelines</i>
<i>Fabricação Assistida por Computador</i>	- tradução para <i>Computer-Aided Manufacturing (CAM)</i>
<i>Fabricação Integrada por Computador</i>	- tradução para <i>Computer-Integrated Manufacturing (CIM)</i>
<i>Forma Geral (de uma peça)</i>	- tradução para <i>(Part) Overall Shape</i>
<i>Modelo de Arame</i>	- tradução para <i>Wire-Frame Model</i>
<i>Modelo de Representação da Informação</i>	- tradução para <i>Information Model</i>
<i>Quadros</i>	- tradução do termo <i>Frames</i>
<i>Peça de trabalho</i>	- tradução para o termo <i>Workpiece</i>
<i>Planeamento de Processos Assistido por Computador</i>	- tradução para <i>Computer-Aided Process Planning (CAPP)</i>
<i>Programação Orientada por Objectos</i>	- tradução de <i>Object-Oriented Programming (OOP)</i>
<i>Projecto Assistido por Computador</i>	- tradução de <i>Computer-Aided Design (CAD)</i>
<i>Projecto Orientado à Fabricação</i>	- tradução para <i>Design for Manufacture (DFM)</i>
<i>Projecto Orientado à Montagem</i>	- tradução para <i>Design for Assembly (DFA)</i>
<i>Projecto Paramétrico</i>	- tradução para <i>Parametric Design (PD)</i>
<i>Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação</i>	- tradução para <i>Design for Manufacture Rules</i>
<i>Representação de Fronteiras</i>	- tradução para <i>Boundary-Representation (B-Rep)</i>
<i>Seleção de Processos (tecnológicos de fabricação)</i>	- tradução para <i>Process Selection</i>
<i>Tecnologia das Características</i>	- tradução de <i>Features Technology</i>
<i>Toleranciamento Assistido por Computador</i>	- tradução para <i>Computer-Aided Tolerancing (CAT)</i>

Notações:

C_f - Medida da crença na ocorrência de um evento

C_d - Medida da descrença na ocorrência de um evento

C_f' - Medida do complementar de C_d em relação a 1 (um)

FC (e) - Factor de Confiança atribuído à ocorrência de um evento (ou a uma *regra lógica*)

T - *Índice de Torneabilidade* (de uma peça a ser presumivelmente obtida por maquinação)

Símbolos:

U - operador de *união lógica* entre dois conjuntos ou elementos volumétricos

\cap - operador de *intersecção lógica* entre dois conjuntos ou elementos volumétricos

Índice de Assuntos

1. *Capítulo 1*
2. 1. Introdução ao Trabalho de Investigação
5. *Capítulo 2*
5. 2. *Análise do Estado da Arte em Projecto Orientado à Fabricação Aplicado ao Projecto Assistido por Computador*
6. 2.1. Considerações sobre o estado da arte no *Projecto Assistido por Computador*
9. 2.2. Introdução à *Tecnologia das Características*
16. 2.3. Abordagens relativas à *Tecnologia das Características*
25. 2.4. A elaboração de modelos de representação da informação baseados na *Tecnologia das Características*
28. 2.5. A utilização de metodologias de padronização aplicadas à *Tecnologia das Características*
30. 2.6. O *Projecto Orientado à Fabricação Assistido por Computador*
33. 2.7. Análise do estado da arte face aos objectivos propostos pela investigação
36. 2.7.1. Tópicos a abordar na investigação
40. *Capítulo 3*
41. 3. Descrição do *Modelo de Representação da Informação*
41. 3.1. Introdução à descrição do modelo de representação da informação
43. 3.2. A utilização das *formas características* no modelo de representação da geometria de peças mecânicas
48. 3.3. A representação da informação sobre *especificação do produto*
49. 3.3.1. A representação da informação relativa a *aspectos gerais da peça mecânica*
50. 3.3.2. A representação da informação sobre os elementos geométricos das peças
50. 3.3.2.1. A representação da informação sobre *formas características*
50. 3.3.2.1.1. A informação sobre *formas características* e o *modelo de entidades*
65. 3.3.2.1.2. A representação da informação sobre *formas características* através de *bases de factos*
69. 3.3.2.2. A representação da informação de outros elementos relativos à *informação geométrica sobre peças mecânicas* através do *modelo de entidades*
69. 3.3.2.2.1. A representação da informação sobre a *conexão* entre as *formas características*
72. 3.3.2.2.2. A representação da informação sobre as *dimensões explícitas*
75. 3.3.2.2.3. A representação da informação sobre as *tolerâncias geométricas*
76. 3.4. A representação da informação sobre materiais, processos e máquinas de construção
76. 3.4.1. A representação da informação sobre materiais de construção através do *modelo de entidades*
77. 3.4.2. A representação da informação sobre processos de fabricação através do *modelo de entidades*
78. 3.4.3. A representação da informação sobre máquinas de construção através do *modelo de entidades*

79.	<i>Capítulo 4</i>
80.	4. Implementação do Protótipo de Sistema Computacional
80.	4.1. A realização de experimentação através da implementação de um protótipo computacional
82.	4.1.1. A implementação do <i>modelo de entidades</i> através de uma <i>base de dados orientada por objectos</i>
83.	4.1.2. Tratamento da <i>ambiguidade</i> na representação de <i>formas características</i>
84.	4.2. A utilização da <i>Tecnologia de Grupo</i> no âmbito desta investigação
86.	4.2.1. A recuperação de projectos por <i>similaridade</i> através de <i>sistemas de classificação e codificação</i>
88.	4.2.2. Aplicação do modelo de representação da informação à recuperação de projectos por <i>similaridade</i>
89.	4.2.2.1. Apresentação e utilização de um <i>sistema de classificação</i> de peças exclusivamente baseado em análise geométrica
93.	4.2.2.2. Procedimentos para recuperação directa da informação armazenada na <i>base de dados</i> e formação de grupos
96.	4.3. A <i>selecção</i> e o <i>planeamento</i> de processos de fabricação
96.	4.3.1. A <i>selecção de processos</i> baseada na análise da informação sobre a peça
98.	4.3.2. Introdução ao <i>sistema de classificação de peças</i> orientado à análise em <i>Seleção de Processos</i>
102.	4.3.3. Os procedimentos para a <i>Seleção de Processos</i> elaborados nesta investigação
102.	4.3.3.1. Utilização do <i>sistema de classificação de peças</i> na <i>Seleção de Processos</i>
103.	4.3.3.1.1. Procedimento para a estimativa do <i>índice de torneabilidade</i> da peça
110.	4.3.3.2. A <i>Seleção de Processos</i> baseada na <i>Tecnologia de Características</i> e em regras de conhecimento
111.	4.3.3.2.1. A elaboração de regras para auxílio à <i>Seleção de Processos</i>
115.	4.4. As <i>Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação</i>
116.	4.4.1. A aplicação das <i>Recomendações de Projecto</i> no âmbito desta investigação
118.	4.4.2. Tópicos a abordar através das <i>Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação</i>
119.	<i>Capítulo 5</i>
120.	5. Exemplos de Utilização do <i>Modelo de Representação da Informação</i> e dos Procedimentos em <i>Projecto Orientado à Fabricação</i>
120.	5.1. A apresentação da experimentação efectuada
120.	5.2. Exemplos de implementação da representação de peças
120.	5.2.1. A representação de <i>peças discretas</i>
121.	5.2.1.1. Exemplo de representação de <i>peça discreta não-axissimétrica</i> com <i>linhas de referência</i> das <i>formas características não-alinhadas</i>
126.	5.2.1.2. Exemplo de representação de <i>peça discreta não-axissimétrica</i> com <i>linhas de referência</i> das <i>formas características alinhadas</i>
128.	5.2.1.3. Exemplo de representação de <i>peça discreta axissimétrica</i>
133.	5.2.1.4. Exemplo de representação de <i>peça discreta</i> com utilização de <i>forma explícita</i>

135. 5.2.2. A representação de *peças discretas agrupadas*
137. 5.3. A aplicação dos procedimentos elaborados com base na utilização da *Tecnologia de Grupo*
139. 5.3.1. Apresentação de um caso de utilização das funções de recuperação da informação
141. 5.4. Exemplos de aplicação dos procedimentos para *Seleção de Processos*
141. 5.4.1. Exemplo de aplicação das regras para *Seleção de Processos* no caso de uma peça de baixo *índice de torneabilidade*
142. 5.4.2. Exemplo de aplicação das regras para *Seleção de Processos* no caso de uma peça de *índice de torneabilidade intermediário*
144. 5.4.3. Exemplo de aplicação das regras para *Seleção de Processos* no caso de uma peça de elevado *índice de torneabilidade*
146. 5.4.4. Outros exemplos de aplicação das regras para *Seleção de Processos* de maquinaria
147. 5.5. Exemplos de aplicação dos procedimentos sobre as *Recomendações de Projecto*
147. 5.5.1. Análise sobre a existência de *formas características*
150. 5.5.2. Análises relativas à *posição* e ao *dimensionamento* de *formas características*
152. 5.5.3. Análises relativas à especificação de *tolerâncias dimensionais*
154. 5.5.3.1. Análise das *tolerâncias dimensionais* em *cadeias de dimensões*
155. 5.5.4. Análises relativas às especificações de *acabamento superficial*
156. 5.5.5. Análises relativas às *características* relacionadas com atributos físicos das peças
157. 5.5.6. Análises relativas à *selecção de materiais* de construção
158. 5.5.7. Análises relativas à utilização de recursos existentes na fábrica
162. 5.5.8. Análises relativas à especificação de *tolerâncias geométricas*
163. 5.5.9. Possibilidades de aplicação do modelo à *análise de montagens* de peças
164. 5.5.10. Outras possibilidades de aplicações do modelo de representação da informação
166. *Capítulo 6*
167. 6. Discussão sobre a Utilização do *Modelo de Representação da Informação* e Apresentação das Conclusões Gerais sobre a Investigação
167. 6.1. Discussão de resultados
167. 6.1.1. Análise sobre a representação de peças mecânicas através do *modelo*
168. 6.1.1.1. Análise sobre as características gerais do modelador de peças mecânicas
172. 6.1.1.1.1. Análise sobre a utilização das *formas características* no modelo
174. 6.1.2. Análise sobre a utilização dos procedimentos de apoio ao *Projecto Orientado à Fabricação*
175. 6.1.2.1. Análise sobre os procedimentos relacionados com a *Tecnologia de Grupo*
176. 6.1.2.2. Análise sobre os procedimentos relacionados com a *selecção de processos* de fabricação
178. 6.1.2.3. Análise sobre os procedimentos relacionados com as *recomendações de projecto*
179. 6.1.3. Análise sobre a implementação do protótipo computacional
180. 6.2. Conclusões sobre a investigação
180. 6.2.1. A consecução dos objectivos principais da investigação
181. 6.2.2. Contribuições específicas do trabalho
183. 6.2.3. Tópicos a considerar para a continuidade da investigação nos temas abordados neste trabalho

185. *Apêndice A*
186. A. Considerações sobre a Aplicação das Técnicas de *Inteligência Artificial*
no Contexto da Investigação
186. A.1. A utilização de técnicas de *Inteligência Artificial* na implementação do protótipo computacional
187. A.2. Introdução ao ambiente para implementação do protótipo computacional
189. A.3. Mecanismos de inferência no ambiente de implementação utilizado
190. A.4. Recursos especiais de auxílio ao desenvolvimento dos sistemas periciais
191. *Apêndice B*
192. B. Constituição Geométrica das *Formas Características*
192. B.1. A constituição geométrica das *formas características* de definição implícita
192. B.2. A constituição geométrica das *formas características* da classe *forma discreta*
193. B.2.1. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *paralelepípedo rectangular*
193. B.2.2. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *prisma triangular*
194. B.2.3. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *cilindro circular recto*
194. B.2.4. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *semi-cilindro circular recto*
195. B.2.5. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe
tronco de cone circular recto
196. B.2.6. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *secção de toro*
196. B.2.7. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *secção de semi-toro*
197. B.2.8. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe
secção de toróide rectangular
197. B.2.9. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *prisma hexagonal regular*
198. B.3. A constituição geométrica das *formas características* da classe *elemento de forma*
198. B.3.1. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *furo cilíndrico*
199. B.3.2. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe
furo trepanado de secção circular
199. B.3.3. Geometrias das *formas características* de definição implícita da classe *rebaixamento de furo*
200. B.3.4. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *furo sextavado*
201. B.3.5. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *entalhe revolutivo*
201. B.3.6. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *entalhe em forma de Tê*
202. B.3.7. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe
entalhe em forma de rabo de andorinha
203. B.3.8. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *entalhe sextavado*
203. B.3.9. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *entalhe semi-cilíndrico*
204. B.3.10. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *saliência em forma de Tê*
204. B.3.11. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe
saliência do tipo chaveta de extremidades curvadas
205. B.3.12. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *estria*

205. B.3.13. Geometrias das formas características de definição implícita das classes entalhe em forma de chaveta e entalhe em forma de semi-chaveta
206. B.3.13.1. Geometria da forma característica de definição implícita da classe chaveta de extremidades planas aplicada à superfície plana
207. B.3.13.2. Geometrias das formas características de definição implícita das classes chaveta de extremidades curvas aplicada à superfície plana e semi-chaveta de extremidades curvas aplicada à superfície plana
208. B.3.13.3. Geometrias das formas características de definição implícita das classes chaveta de fundo curvo aplicada à superfície plana e semi-chaveta de fundo curvo aplicada à superfície plana
209. B.3.14. Geometrias das formas características de definição implícita da classe entalhe helicoidal
210. B.3.15. Geometrias das formas características de definição implícita da classe perfil de rosca
212. Apêndice C
213. C. A Estrutura e a Organização da Informação na Base de Objectos
213. C.1. Considerações sobre a constituição da base de objectos
213. C.2. A constituição da base de objectos
234. Apêndice D
235. D. A Implementação da Base de Dados Orientada por Objectos
235. D.1. Considerações sobre a implementação da base de dados
235. D.2. A estrutura dos objectos da base de dados
235. D.2.1. Objectos relativos à informação sobre especificação de produto
236. D.2.1.1. Objectos relativos à informação não-geométrica sobre peças mecânicas
237. D.2.1.2. Objectos relativos à descrição da geometria das peças
237. D.2.1.2.1. Objectos relativos à informação sobre formas características
246. D.2.1.2.2. Objectos relativos à informação sobre elementos de união entre formas características.
246. D.2.1.2.3. Objectos relativos à informação sobre dimensões explícitas
247. D.2.1.2.4. Objectos relativos à informação sobre tolerâncias geométricas
249. D.2.2. Objectos relativos à informação sobre material de construção
250. D.2.3. Objectos relativos à informação sobre processos tecnológicos de construção
251. D.2.4. Objectos relativos à informação sobre máquinas de construção
252. D.3. A utilização de listas auxiliares para manipulação da estrutura de informação implementada
252. D.3.1. Listas relativas às peças discretas
253. D.3.2. Listas relativas a montagens de peças discretas
254. Apêndice E
255. E. Listagens das Bases de Regras e Bases de Factos Utilizadas no Protótipo de Sistema Computacional Elaborado para a Investigação
255. E.1. A representação de conhecimento no protótipo computacional

- 256. E.2. A utilização de *bases de factos* na representação do conhecimento
- 256. E.2.1. A utilização de *bases de factos* na representação da informação geométrica sobre peças
- 256. E.2.1.1. Implementação do predicado denominado "aresta"
- 257. E.2.1.2. Implementação do predicado denominado "dimensão-transversal-e-ligada-à"
- 257. E.2.2. A utilização de *bases de factos* na representação da informação relativa aos materiais de construção
- 257. E.2.2.1. Implementação do predicado denominado "par-galvânico"
- 258. E.2.2.2. Implementação do predicado denominado "materiais-dissimilares"
- 258. E.2.2.3. Implementação do predicado denominado "material-do-tipo"
- 258. E.2.2.4. Implementação do predicado denominado "existe-em-forma-de"
- 258. E.2.2.5. Implementação do predicado denominado "material-usual-em"
- 259. E.2.2.6. Implementação do predicado denominado "material-inadequado-para"
- 259. E.3. A utilização de *bases de regras* na representação do conhecimento
- 259. E.3.1. A utilização de *bases de regras* para a análise da informação geométrica
- 260. E.3.1.1. Implementação do predicado denominado "verificar-existência-de-cilindro-furo"
- 262. E.3.2. A utilização de *bases de regras* na análise em *Tecnologia de Grupo*
- 262. E.3.2.1. Implementação do predicado denominado "achar-filhos-de-objecto-1"
- 262. E.3.2.2. Implementação do predicado denominado "achar-filhos-de-objecto-2"
- 262. E.3.2.3. Implementação do predicado denominado "achar-filhos-de-objecto-3"
- 263. E.3.2.4. Implementação do predicado denominado "objecto-com-campo"
- 263. E.3.2.5. Implementação do predicado denominado "objecto-com-campo-com-valor-1"
- 263. E.3.2.6. Implementação do predicado denominado "objecto-com-campo-com-valor-2"
- 264. E.3.2.7. Implementação do predicado denominado "objecto-com-campo-com-valor-3"
- 264. E.3.2.8. Implementação do predicado denominado "objecto-com-campo-com-valor-4"
- 265. E.3.2.9. Implementação do predicado denominado "Operações-Lógicas-entre-2-grupos"
- 265. E.3.2.10. Implementação do predicado denominado "peças-com-fcs"
- 266. E.3.2.11. Implementação do predicado denominado "fcs-na-peça"
- 266. E.3.3. A utilização de *bases de regras* na análise em *selecção de processos* de fabricação
- 267. E.3.3.1. Implementação dos predicados "dproc1" a "dproc12"
- 267. E.3.3.2. Implementação do predicado denominado "Coef-Favorável"
- 267. E.3.3.3. Implementação do predicado denominado "Coef-Desfavorável"
- 268. E.3.3.4. Implementação do predicado denominado "torneabilidade"
- 268. E.3.3.5. Implementação do predicado denominado "classe-objecto"
- 268. E.3.3.6. Implementação do predicado denominado "existe-dimensão-adequada-para-aplainamento"
- 269. E.3.3.7. Implementação do predicado denominado "maquinável-por"
- 269. E.3.3.7.1. Implementação da regra identificada como "T-1"

269. E.3.3.7.2. Implementação da regra identificada como "T-2"
269. E.3.3.7.3. Implementação da regra identificada como "T-3"
269. E.3.3.7.4. Implementação da regra identificada como "T-4"
270. E.3.3.7.5. Implementação da regra identificada como "T-5"
270. E.3.3.7.6. Implementação da regra identificada como "T-6"
270. E.3.3.7.7. Implementação da regra identificada como "T-7"
270. E.3.3.7.8. Implementação da regra identificada como "T-8"
270. E.3.3.7.9. Implementação da regra identificada como "F-1"
270. E.3.3.7.10. Implementação da regra identificada como "F-2"
270. E.3.3.7.11. Implementação da regra identificada como "F-3"
270. E.3.3.7.12. Implementação da regra identificada como "F-4"
271. E.3.3.7.13. Implementação da regra identificada como "F-5"
271. E.3.3.7.14. Implementação da regra identificada como "F-6"
271. E.3.3.7.15. Implementação da regra identificada como "F-7"
271. E.3.3.7.16. Implementação da regra identificada como "F-8"
271. E.3.3.7.17. Implementação da regra identificada como "F-9"
271. E.3.3.7.18. Implementação da regra identificada como "P-1"
271. E.3.3.7.19. Implementação da regra identificada como "P-2"
272. E.3.3.7.20. Implementação da regra identificada como "P-3"
272. E.3.3.7.21. Implementação da regra identificada como "R-1"
272. E.3.3.7.22. Implementação da regra identificada como "R-2"
272. E.3.3.7.23. Implementação da regra identificada como "A-1"
272. E.3.3.7.24. Implementação da regra identificada como "A-2"
272. E.3.3.7.25. Implementação da regra identificada como "D-1"
272. E.3.3.7.26. Implementação da regra identificada como "D-2"
273. E.3.3.8. Implementação do predicado denominado "sugerir-operação-básica"
274. E.3.4. A utilização de *bases de regras* na análise das *Recomendações para Projecto Orientado à Fabricação*
274. E.3.4.1. Implementação do predicado denominado "analisa-tols-em-dims-implícitas"
275. E.3.4.2. Implementação do predicado denominado "analisa-tols-em-dims-explicitas"

276. E.3.4.3. Implementação do predicado denominado "analisa-rugosidade-superficial"
277. E.3.4.4. Implementação do predicado denominado "cadeia-completa-de-dimensões"
280. E.3.4.5. Implementação do predicado denominado "cadeia-equivalente-à-dimensão-explicita"
281. E.3.4.6. Implementação do predicado denominado "sugerir-operações-TT"
282. E.3.4.7. Implementação do predicado denominado "sugerir-tipo-mat-constr-processos"
283. E.3.4.8. Implementação do predicado denominado "tipo-versus-forma-comercial"
284. E.3.4.9. Implementação do predicado denominado "peso-da-forma-comercial"
285. E.3.4.10. Implementação do predicado denominado "dims-máquinas"
289. E.3.4.11. Implementação do predicado denominado "projecto-orientado-à-fabricação-1"
289. E.3.4.12. Implementação do predicado denominado "projecto-orientado-à-fabricação-2"
290. E.3.4.13. Implementação do predicado denominado "projecto-orientado-à-fabricação-3"
292. E.3.4.14. Implementação do predicado denominado "projecto-orientado-à-fabricação-4"
292. E.3.4.15. Implementação do predicado denominado "projecto-orientado-à-fabricação-5"
294. E.3.4.16. Implementação do predicado denominado "projecto-orientado-à-fabricação-6"
295. E.3.4.17. Implementação do predicado denominado "projecto-orientado-à-montagem-1"
296. E.3.4.18. Implementação do predicado denominado "projecto-orientado-à-montagem-2"
298. *Apêndice F*
299. F. Exemplos de Implementação da Representação de Peças
299. F.1. A representação de peças discretas
299. F.1.1. A representação da peça discreta 5.1
309. F.1.2. A representação da peça discreta 5.2
312. F.1.3. A representação da peça discreta 5.3
321. F.1.4. A representação da peça discreta 5.1-b
322. F.1.5. A representação da peça discreta 5.3-b
324. F.2. A representação da peça composta 5.4
325. Bibliografia
326. 1. Referências Bibliográficas
334. 2. Bibliografia Complementar

Índice de Figuras

7. Figura 2.1 - Estrutura em árvore de representação da construção geométrica de uma peça pelo método *CSG*.
8. Figura 2.2 - Estrutura de representação da construção geométrica de um objecto pelo método *B-Rep*
13. Figura 2.3 - Existência de forma constituída por conjunto aberto de faces
13. Figura 2.4 - Objecto formado por conjunto aberto de faces
17. Figura 2.5 - Um objecto e sua *envolvente convexa*
18. Figura 2.6 - Decomposição de um objecto em células através do seccionamento em planos
19. Figura 2.7 - Análise de grafos aplicadas aos modeladores de sólidos
20. Figura 2.8 - Classificação baseada na análise dos limites entre superfícies (arestas)
21. Figura 2.9 - Arquitectura de *reconhecedor de formas* baseado no *reconhecimento sintáctico de padrões*
21. Figura 2.10 - Extensão de arestas para obtenção do volume de uma *forma característica*
22. Figura 2.11 - Regra para o *reconhecimento de entalhes fechados (depressões)*
23. Figura 2.12 - Decomposição em volumes elementares correspondentes a operações de maquinação
24. Figura 2.13 - Peças geradas por um *paralelepípedo* e dois *entalhes* e por quatro *paralelepípedos*
25. Figura 2.14 - Degradação do significado de *formas características* da classe *furo cilíndrico*
26. Figura 2.15 - Fluxo de informação entre bases de dados referentes aos modeladores de peças
38. Figura 2.16 - Fluxo de informações entre áreas relacionadas com o *projecto* e a *fabricação*
46. Figura 3.1 - Esquema da *Transformação Homogénea* de coordenadas de sistemas no espaço
48. Figura 3.2 - *Modos de arranjo* no posicionamento relativo de *formas características*
52. Figura 3.3 - Possibilidades de *estados de união* entre um *tronco de cone* e um *cilindro* ligados
- 55-57. Figura 3.4 - As configurações geométricas de *chanfros* e *concordâncias* no modelo
58. Figura 3.5 - Possibilidades de utilização dos diversos tipos de *chanfros*
60. Figura 3.6 - Possibilidades (previstas) de arranjos das *formas agregadas*
62. Figura 3.7 - Obtenção de *formas compostas* pelo processo de *justaposição*
63. Figura 3.8 - Obtenção de *formas compostas* pelo processo geométrico de *interpenetração*
64. Figura 3.9 - Alguns processos de geração de *formas explícitas*
65. Figura 3.10 - *Relações* entre os elementos geométricos de uma peça:
captura da intenção do projectista
68. Figura 3.11 - Configuração geométrica (parcial) da *forma característica* da classe *paralelepípedo rectangular*
70. Figura 3.12 - Organização e classificação dos processos tecnológicos na *base de objectos*
71. Figura 3.13 - Modos de representação de *uniões* entre *formas características*
72. Figura 3.14 - Casos de utilização da entidade *dimensão explícita*
73. Figura 3.15 - Arestas e vértices: elementos geométricos referenciáveis na definição de *dimensões explícitas*
74. Figura 3.16 - Especificação por *dimensões explícitas* das dimensões não definidas implicitamente nas *formas características*

81. Figura 4.1 - Arquitectura possível para o sistema computacional de aplicação do
Projecto Orientado à Fabricação ao Projecto Assistido por Computador
82. Figura 4.2 - Os ramos principais da *árvore de objectos*
87. Figura 4.3 - Variações do diâmetro das *formas* de tipo volume-positivo em peças axissimétricas
90. Figura 4.4 - Casos de classificação de peças pelo sistema baseado em *análise da geometria*
91. Figura 4.5 - Ocorrência de *formas* denominadas *terminais* em peças discretas
91. Figura 4.6 - Peças distinguidas pelo número de *formas* terminais
93. Figura 4.7 - Peças de mesma classificação que diferem pela natureza da classe de uma
forma característica constituinte.
97. Figura 4.8 - *Forma característica* tipicamente obtida por brochamento
97. Figura 4.9 - Peça obtida por torneamento
98. Figura 4.10 - Furos cilíndricos obtidos por operações de fabricação diversas
98. Figura 4.11 - Furo executável no torno, em peça axissimétrica
101. Figura 4.12 - Peças para análise pelo sistema de classificação orientado à *selecção de processos*
109. Figura 4.13 - Peças a classificar quanto ao *índice de torneabilidade*
122. Figura 5.1 - Especificação geométrica da peça 5.1
123. Figura 5.2 - Dimensionamento das *formas características* constituintes da peça 5.1
124. Figura 5.3 - Posições relativas das *formas características* na peça 5.1
124. Figura 5.4 - Posições relativas das *entidades* referentes à representação dos *elementos de união* na
peça 5.1.
125. Figura 5.5 - Especificação de *tolerâncias geométricas* para a peça 5.1
126. Figura 5.6 - Configuração geométrica da peça 5.2
127. Figura 5.7 - Posições relativas de *entidades* representativas das *formas* e dos *elementos de união* da
peça 5.2
128. Figura 5.8 - Configuração geométrica da peça 5.3
129. Figura 5.9 - Dimensionamento das *formas características* da peça 5.3
130. Figura 5.10 - Posições relativas das *formas características* na peça 5.3
130. Figura 5.11 - Representação do esquema de *encadeamento múltiplo* de *formas* para a peça 5.3
131. Figura 5.12 - Posições relativas das *entidades* representativas dos *elementos de união* da peça 5.3
132. Figura 5.13 - Especificação de *tolerâncias geométricas* para a peça 5.3
133. Figura 5.14 - Configuração geométrica da peça 5.3-b
134. Figura 5.15 - Representação da *forma explícita* fc.5.3.5.b
136. Figura 5.16 - Representação esquemática da *peça composta* 5.4
148. Figura 5.17 - Escolha de *entalhes em forma de chaveta* em peças a serem obtidas por fresamento
149. Figura 5.18 - Ligação da superfície S_3 da *forma* fc.5.3.3 à superfície S_1 da fc.5.3.8 por *concordância*
149. Figura 5.19 - Ligação de superfícies entre as *formas características* fc.5.3.3 e fc.5.3.7
através de *concordâncias*
150. Figura 5.20 - Vista superior da peça 8.1
151. Figura 5.21 - Adequação do posicionamento de furos em peças a serem submetidas a
tratamento térmico

154. Figura 5.22 - Configuração geométrica da peça 8.2
165. Figura 5.23 - Vista de corte da peça composta P_C - constituída pelas peças discretas P_1 e P_2
193. Figura B.1 - Geometria da forma característica da classe paralelepípedo rectangular
193. Figura B.2 - Geometria da forma característica da classe prisma triangular
194. Figura B.3 - Geometria da forma característica da classe cilindro circular recto
195. Figura B.4 - Geometria da forma característica da classe semi-cilindro circular recto
195. Figura B.5 - Geometria da forma característica da classe tronco de cone circular recto
196. Figura B.6 - Geometria da forma característica da classe secção de toro
196. Figura B.7 - Geometria da forma característica da classe secção de semi-toro
197. Figura B.8 - Geometria da forma característica da classe secção de toróide rectangular
197. Figura B.9 - Geometria da forma característica (implícita) da classe prisma hexagonal regular
198. Figura B.10 - Geometria da forma característica da classe furo cilíndrico
199. Figura B.11 - Geometria da forma característica da classe furo trepanado de secção circular
200. Figura B.12 - Geometrias das formas características da classe rebaixamento de furo
200. Figura B.13 - Geometria da forma característica de definição implícita da classe furo sextavado
201. Figura B.14 - Geometria da forma característica da classe entalhe revolutivo
202. Figura B.15 - Geometria da forma característica da classe entalhe em forma de Tê
202. Figura B.16 - Geometria da forma característica da classe entalhe em forma de rabo de andorinha
203. Figura B.17 - Geometria da forma característica da classe entalhe sextavado
203. Figura B.18 - Geometria da forma característica da classe entalhe semi-cilíndrico
204. Figura B.19 - Geometria da forma característica da classe saliência em forma de Tê
204. Figura B.20 - Forma característica da classe saliência do tipo chaveta de extremidades curvadas
205. Figura B.21 - Geometria da forma característica da classe estria
206. Figura B.22 - Forma característica da classe chaveta de extremidades planas aplicada à superfície plana
207. Figura B.23 - Formas possíveis da superfície de topo das formas características das classes entalhe em forma de chaveta e entalhe em forma de semi-chaveta
208. Figura B.24 - Formas características das classes semi-chaveta de extremidades curvas aplicada à superfície plana e chaveta de extremidades curvas aplicada à superfície plana
209. Figura B.25 - Formas características das classes semi-chaveta de fundo curvo aplicada à superfície plana e chaveta de fundo curvo aplicada à superfície plana
209. Figura B.26 - Forma básica geral das formas características da classe entalhe helicoidal
210. Figura B.27 - Formas dos perfis dos entalhes das formas características da classe entalhe helicoidal
211. Figura B.28 - Geometrias básicas das formas características da classe perfil de rosca (parafuso e porca)
214. Figura C.1 - Esquema básico do ramo da árvore de objectos correspondente à informação sobre especificação de produto
219. Figura C.2 - Esquema básico do ramo da árvore de objectos correspondente à informação sobre material de construção
224. Figura C.3 - Esquema básico do ramo da árvore de objectos correspondente à informação sobre processos tecnológicos de fabricação
230. Figura C.4 - Esquema básico do ramo da árvore de objectos correspondente à informação sobre máquinas

Índice de Quadros

92. Quadro 4.1 - Códigos classificativos das peças apresentadas às figuras 4.4, 4.5 e 4.6
101. Quadro 4.2 - Classificação (parcial) das peças apresentadas à figura 4.12
108. Quadro 4.3 - Classificação das peças apresentadas às figuras 4.12 à 4.13 (quanto à *selecção de processos*) - considerando-se diversas situações alternativas
153. Quadro 5.1 - Tolerâncias dimensionais inadequadamente especificadas para dimensões implicitamente definidas em *formas características* das peças 5.1 e 5.3
153. Quadro 5.2 - Tolerâncias dimensionais inadequadamente especificadas para *dimensões explícitas* das peças 5.1 e 5.3
160. Quadro 5.3 - Especificações de máquinas representadas na *base de dados*
160. Quadro 5.4 - Confrontação entre as *tolerâncias geométricas* especificadas para as peças 5.1 e 5.3 e a capacidade dos *processos tecnológicos* (em produzi-las)

Prefácio

A automatização da produção industrial é um fenómeno irreversível observado em todas as áreas da indústria, tendo sido decisivamente influenciado pelo desenvolvimento dos computadores digitais. Tanto a área de *projecto* como a de *fabricação* foram significativamente afectadas no correr deste processo ^{1, 2}. Algumas das contribuições mais notáveis observadas foram o surgimento dos dispositivos de controlo numérico, robôs, controladores programáveis e sistemas computadorizados de auxílio a actividades como o projecto de componentes, o planeamento de processos de fabricação, a gestão da produção, o controlo da fabricação, etc.

Esta modificação na concepção e organização dos meios produtivos foi tão intensa que já é considerada uma nova revolução industrial. Alguns autores chegam inclusivamente a enfatizarem a necessidade de haver uma reestruturação das ciências relativas à *engenharia de produção*, devido às muitas mudanças verificadas nos meios de produção. Efectivamente, uma série de questões merecem ser alvo de investigação mais apurada, em particular, o problema da integração das actividades do *projecto* e da *fabricação* no ambiente industrial. Este trabalho visa a contribuir para a investigação sobre este tema, focando a atenção na área do *projecto de peças mecânicas*.

Não sendo o autor desta dissertação de nacionalidade portuguesa, deve-se considerar que, apesar do esforço despendido no sentido de adaptar a redacção à ortografia e às normas gramaticais correntes em Portugal, é possível que venham a ser encontradas discrepâncias na grafia das palavras ou mesmo na terminologia utilizada. Note-se também que se procurou evitar, tanto quanto possível, recorrer à terminologia utilizada em *Língua Inglesa*, a fim de se dar ao texto uma leitura mais fluente e uniforme em Língua Portuguesa.

Capítulo 1

1. Apresentação do Trabalho de Investigação.

Não obstante as consideráveis vantagens obtidas pela automatização da produção industrial, continuam a existir, na grande maioria dos ambientes industriais, certos obstáculos à obtenção da fabricação de peças mecânicas de melhor qualidade e de menor custo final. Uma das razões que contribuem para tanto é o facto de que certos quesitos pertinentes aos processos de fabricação das peças não são considerados ainda na fase de desenvolvimento do projecto.

Efectivamente, na prática, existe uma considerável dissociação entre as actividades de *projecto* e de *fabricação*, originada pela grande especialização das mesmas. Historicamente, pode dizer-se que esta realidade passou a ser mais sensível a partir dos grandes avanços tecnológicos observados no período posterior à *Segunda Grande Guerra*, que conduziu ao aprofundamento dessa especialização ³.

Infelizmente, esse problema afecta significativamente a produtividade das indústrias, especialmente a das grandes corporações, em que a produção encontra-se mais sectorizada. Isso se deve a que os projectistas frequentemente concebem projectos que não levam em consideração os requisitos dos processos e as condições de fabricação, elaborando produtos cuja construção é menos optimizada ou eventualmente impraticável.

Deste modo, torna-se necessário que a integração em larga escala das actividades relacionadas com o *projecto* e a *fabricação* sejam efectivamente alcançadas no ambiente industrial ⁴. Por outro lado, evidentemente os avanços experimentados com o advento da *automatização industrial* não podem ser postos de lado, devendo-se procurar que a sua implantação nos ambientes industriais seja concretizada da maneira mais adequada possível. Isto sugere a procura de alternativas que resolvam os problemas relativos à integração das actividades produtivas sob a perspectiva da utilização dos recursos viabilizados pela *automatização industrial*.

Frequentemente, o *Planeamento de Processos* é apontado em literatura especializada ^{5, 6} como o elemento capaz de assegurar a integração entre o *projecto* e a *fabricação*. Esse consiste, basicamente, em transformar as informações presentes num projecto em instruções de fabricação. Contudo, nos sistemas automatizados de geração de planos de fabricação, normalmente englobados sob a denominação *Planeamento de Processos Assistido por Computador*, o plano é construído sem que necessariamente tenha havido uma avaliação sobre a adequação do mesmo às condições de fabricação.

Assim, apenas a realização da fase de *planeamento da fabricação* não é suficiente para garantir a plena integração entre as áreas do *projecto* e da *fabricação*. Adicionalmente, existe uma situação conjuntural a obliterar o êxito na execução do *planeamento de processos* resultante da escassez de pessoal qualificado ou com experiência em áreas vitais na indústria moderna, como na *Engenharia de Processos* ⁶.

Deste modo, constata-se que, para além da existência da etapa intermediária da geração dos

planos de processos, algumas outras abordagens são necessárias para a supressão de lacunas existentes entre o *projecto* e a *fabricação*. Essas podem estar centradas quer na questão da gestão dos recursos produtivos disponíveis, quer na elaboração de metodologias apropriadas para o *projecto* e a *fabricação*.

Do ponto de vista da gestão dos recursos produtivos, essa integração de actividades pode ser contemplada pela aplicação de uma filosofia de produção conhecida como *Engenharia Concorrente* (também denominada *Engenharia Simultânea*)⁷. Esta consiste na substituição do procedimento tradicional de faseamento da produção, caracterizado pela distribuição sequencial das actividades de *desenvolvimento conceptual do produto*, *desenvolvimento de projecto*, *validação do projecto* e *desenvolvimento da produção*, por uma distribuição em que as duas primeiras etapas e as duas últimas ocorrem respectivamente em simultâneo, com a participação conjunta dos diversos sectores da empresa directamente envolvidos.

Do ponto de vista da análise das metodologias e recursos tecnologicamente disponíveis, a integração dos meios de produção é estudada pelo *Projecto Orientado à Fabricação*, que tem por princípio conduzir para a fase do *desenvolvimento de projecto* as considerações técnicas inerentes à fabricação do produto. A aplicação dessa metodologia procura garantir a concepção de produtos tecnicamente mais adequados sob o ponto de vista do processo de fabricação. Assim, procura-se que os componentes mecânicos sejam mais fácil e fiavelmente fabricáveis, e que, ao mesmo tempo, a montagem do produto final seja substancialmente simplificada e otimizada. A adopção deste procedimento pode levar a ganhos substanciais em tempo e custos de fabricação do produto.

Várias ferramentas e métodos de análise podem ser relacionados com o *Projecto Orientado à Fabricação*, conforme proposto por Stoll⁸ e referido por Mourão⁹: a *Teoria Axiomática de Projecto*, desenvolvida por Suh; o *Método de Sistematização do Projecto*; o *Método de Projecto de Taguchi*; o *Projecto Orientado à Montagem*, desenvolvido por Boothroyd e Dewhurst^{10, 11}; a utilização da análise através da *Tecnologia de Grupo*^{12, 13}; o *Método da Análise de Valor*, o *Método da Análise dos Modos de Falha e Análise de Defeitos*, as *Directrizes para Projecto Orientado à Fabricação*; e as *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*. Estas últimas são baseadas em regras derivadas da prática e experiência relativas à fabricação. Uma referência importante neste domínio é introduzida por Bralla¹².

Com relação às metodologias para projecto, observe-se que ferramentas como a *teoria axiomática de projecto* e a *sistematização de projecto* aplicam-se mais directamente ao

desenvolvimento de projectos concebidos sem base em experiência anterior, enquanto que os demais tópicos estão mais proximamente relacionados com a elaboração de projectos em que o conhecimento sobre a *forma* ou as *funções* da peça encontra-se mais bem estabelecido.

Neste trabalho, analisaremos a questão da aplicação de metodologias de projecto que permitam a integração entre o *projecto* e a *fabricação*, inserido no contexto da *automatização industrial* e do *Projecto Orientado à Fabricação*. É importante notar que a perspectiva de aplicação dessas metodologias está baseada na actividade de projecto como ponto de partida. Nesse enfoque, a integração entre o *projecto* e a *fabricação* fundamenta-se na hipótese de ser possível serem criados *sistemas computacionais* de auxílio ao projectista que incorporem alguma nível de *orientação* sobre a fabricação do produto. Assim, espera-se que considerações relativas a esse tema sejam observadas ainda a partir da fase do *desenvolvimento de projecto*, viabilizando a melhor qualidade final do produto em termos da sua fabricação.

Observe-se também que a complexidade da gestão da informação no ambiente industrial impõe que a comunicação entre os diversos sectores da fábrica seja apoiada também pela utilização de plataformas adequadas para o armazenamento e a manipulação dessa. Para além do estabelecimento do contacto entre o pessoal de fábrica, essa é uma pré-condição para a implantação bem sucedida da *Engenharia Concorrente* na indústria.

Assim, este trabalho analisará a hipótese de se proceder à elaboração de um modelo que sirva como plataforma para a construção de sistemas de *Projecto Orientado para a Fabricação Assistido por Computador*. A escolha do tema resulta da constatação de que a aplicação dessa metodologia aos sistemas computadorizados pode ser viabilizada pelos mais recentes resultados obtidos pela investigação no domínio do *Projecto Assistido por Computador*, conforme será analisado no Capítulo 2. Nesses termos, uma considerável parte do trabalho será dedicada à questão da representação descritiva da peça mecânica relacionada com a utilização da informação por sistemas computacionais.

Observe-se que esta investigação insere-se também no âmbito da elaboração de sistemas para o *Projecto Assistido por Computador*, e que os sistemas actualmente disponíveis no mercado não contemplam adequadamente a possibilidade de execução da análise proposta pelo *Projecto Orientado à Fabricação*. Assim, procurar-se-á contribuir no sentido do preenchimento dessa lacuna, enfatizando a elaboração e validação de um modelo que permita armazenar a informação sobre o projecto de peças mecânicas de modo a viabilizar a sua posterior manipulação para análise do projecto.

Capítulo 2

2. Análise do Estado da Arte em Projecto Orientado à Fabricação Aplicado ao Projecto Assistido por Computador.

2.1. Considerações sobre o estado da arte no Projecto Assistido por Computador.

Em termos do *projecto mecânico*, a descrição mais completa existente de uma peça é fornecida pelo seu desenho, que provê não apenas a informação de carácter geométrico necessária, mas também outros tipos de informação sob forma gráfica ou textual. Todavia, uma considerável parcela de esforço é despendida posteriormente na interpretação do desenho, o que significa que nem toda a informação nele presente é suficientemente explícita. Portanto, alguma informação deve ser adicionada por quem analisa o desenho para chegar à sua compreensão ¹⁴.

O *Projecto Assistido por Computador* tem-se concentrado essencialmente na actividade do *desenho*, constatando-se a existência de uma grande preocupação em melhorar a qualidade dos produtos comerciais relativamente aos aspectos de edição e manipulação gráfica. Tanto o refinamento dos aspectos gráficos dos desenhos, como o desenvolvimento de interfaces mais adequadas têm sido objecto de sucessivos aperfeiçoamentos. Assim, os modelos e a metodologia de representação da geometria e topologia das peças têm sido desenvolvidos consoante essas metas.

Entretanto, o desenvolvimento de produtos caracterizados como "inteligentes" é uma preocupação verificada em quase todos os ramos da *informática*. Esta tendência verifica-se também na área do *Projecto Assistido por Computador*, percebendo-se que estes produtos devem passar a incorporar algumas novas capacidades, como a avaliação automática das operações efectuadas ao longo do processo de criação e desenvolvimento do projecto.

Assim, alguns investigadores perceberam que seria possível desenvolver uma linha de investigação no sentido de adicionar ao desenvolvimento desses sistemas computacionais a análise do projecto relativamente à fabricação. Neste contexto, uma questão chave é a da verificação e validação dos modelos de representação da peça utilizados a fim de permitir a análise da geometria e da topologia das peças ¹⁵.

As formas de representação mais utilizadas actualmente contemplam, fundamentalmente, a questão da visualização gráfica dos objectos desenhados. A forma mais simples de representação é o denominado *Modelo de Arame*, que essencialmente manipula linhas e pontos. Existem também modeladores mais sofisticados, que operam com superfícies ou volumes, utilizados para a elaboração de produtos comerciais disponíveis para microcomputadores ¹⁶. Entre esses produtos, o mais conhecido é, provavelmente, o *AutoCAD*, da empresa *AutoDesk*.

Os modeladores baseados no método da *Geometria Construtiva de Sólidos* (CSG) operam através de sucessivas operações lógicas efectuadas sobre um conjunto pré-existente de formas volumétricas padronizadas. Estas formas, as transformações geométricas e as operações lógicas efectuadas sobre as formas são representadas numa estrutura de árvore binária (ver exemplo simplificado desse esquema de representação à figura 2.1, extraído de literatura¹⁶). Neste tipo de modeladores, usualmente é possível criar volumes pela revolução de um perfil em torno de um eixo ou

pela projecção de um perfil segundo uma trajectória definida.

Os modeladores baseados no método da *Representação de Fronteiras* (B-Rep) operam com superfícies delimitadas (faces), sendo capazes de caracterizar qual lado de uma dada face aponta para o interior ou exterior do sólido criado, através da *ordenação* por vectorização das arestas (e vértices), que determinam a existência dos assim denominados (em Língua Inglesa) "*loops*" - aqui traduzidos pelo termo "ciclos". A topologia de um objecto construído através desse método também é armazenada numa estrutura de árvore, em que os nós são os vértices, as arestas e as faces (ver ilustração à figura 2.2, adaptada de literatura ¹⁶).

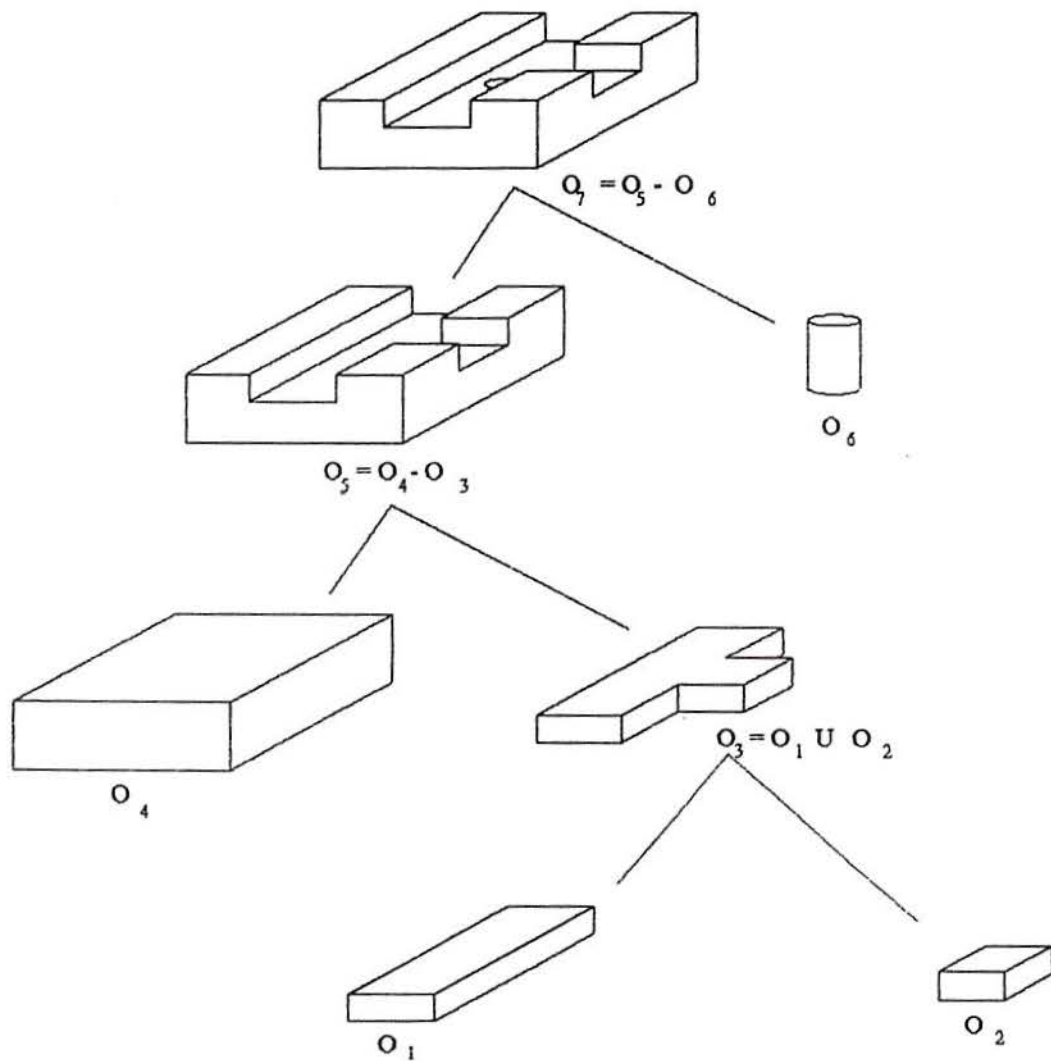


Figura 2.1 - Estrutura em árvore de representação da construção geométrica de uma peça pelo método CSG.

Inicialmente, acreditava-se que a manipulação exclusivamente da informação geométrica dos modeladores de sólidos seria suficiente para prover uma base satisfatória para a integração das actividades de *projecto* e *fabricação*. Paralelamente ocorreria o desenvolvimento de ferramentas que integrassem as actividades do desenho, aplicações baseadas no método dos elementos finitos, geração de planos de processos, geração de programas para máquinas-ferramenta com *controlo numérico* e

sistemas de inspeção de produção ¹⁷. Do mesmo modo, esperavam-se ganhos substanciais de produtividade através da utilização de sistemas que permitissem efectuar a actividade de desenvolvimento do projecto recorrendo a operações de alto nível na modelação de objectos.

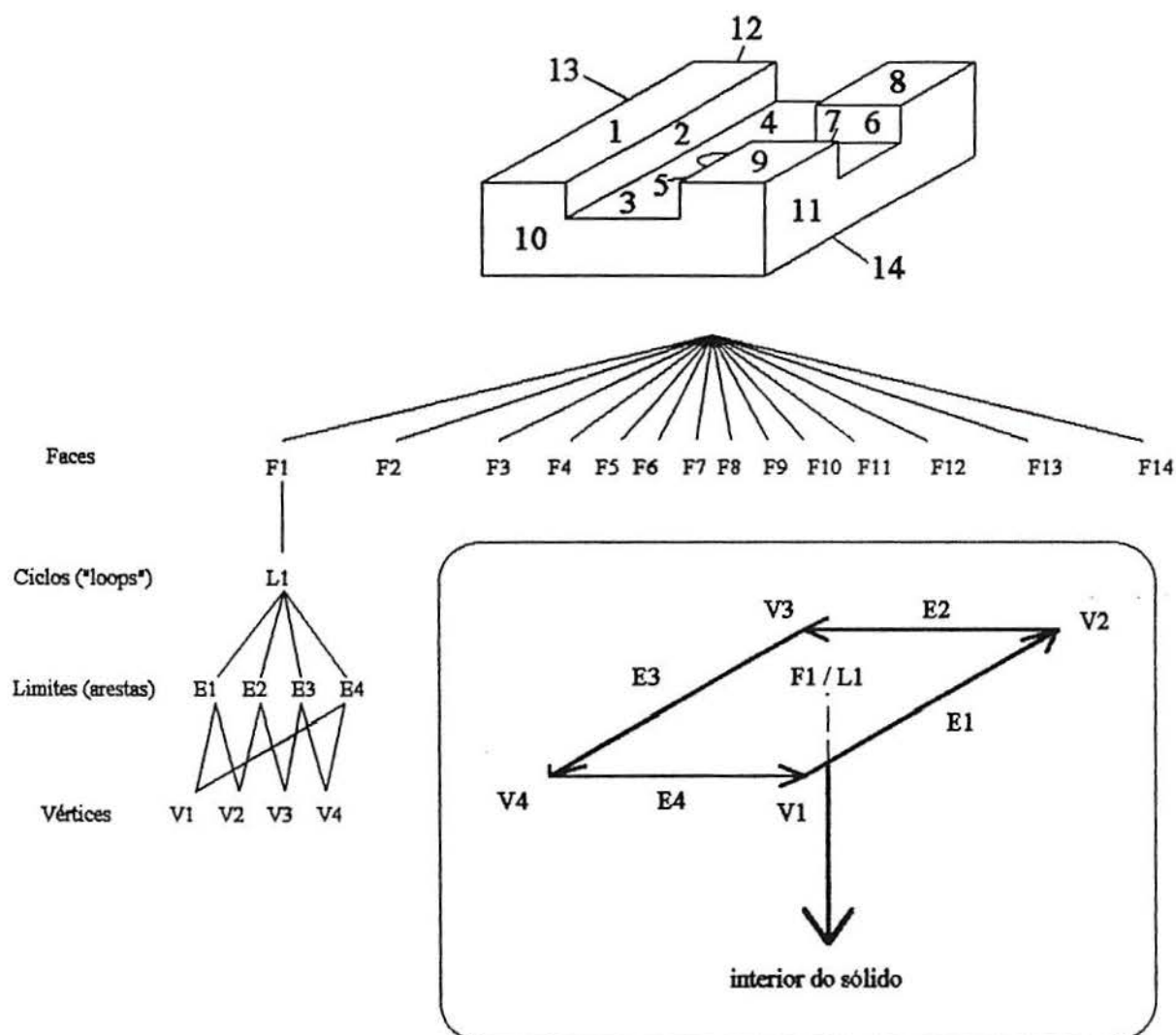


Figura 2.2 - Estrutura de representação da construção geométrica de um objecto pelo método B-Rep.

Contudo, no que diz respeito a certas tarefas ligadas ao *projecto*, como a avaliação do mesmo face às condições de fabricação ou à geração de *planos de processos*, a representação de peças mecânicas unicamente baseada na descrição geométrica não foi bem sucedida, o que é devido basicamente a dois factores distintos. Em primeiro lugar, a representação de diversos elementos fundamentais à descrição do projecto não é adequadamente contemplada nos modeladores geométricos, considerando a necessidade de sua posterior recuperação e utilização por sistemas computacionais (como exemplo, temos as tolerâncias geométricas e a especificação de materiais). O segundo factor diz respeito à representação da forma da peça exclusivamente através da manipulação das primitivas geométricas que não explicita a existência de formas de mais *alta ordem* em termos de abstracção quanto à compreensão do projecto.

A título de ilustração, considere-se a seguinte situação: utilizando-se um modelador de sólidos, efectuar-se a criação de um furo numa peça, pela subtracção de um cilindro de um paralelepípedo. A representação dessa operação de construção geométrica isoladamente não explicitará a existência de um *furo de secção cilíndrica* na peça. Assim, para se reconhecer o significado deste *cilindro* em termos de *projecto mecânico*, é necessário efectuar algum tipo de análise, que revelará a existência de um *furo* na peça. É com base neste reconhecimento que se poderá prever a necessidade de ser realizada uma operação de furação na peça. Assim, o furo irá corresponder a uma *abstracção de alta ordem* em termos da compreensão da geometria da peça.

Recentemente alguns sistemas computacionais passaram a apresentar algumas facilidades no sentido da criação de bibliotecas de formas conforme as necessidades do utilizador. Alguns já incorporam a noção de utilização dessas abstracções de alta ordem na compreensão da geometria da peça, como os sistemas de *Projecto Assistido por Computador* desenvolvidos pelas empresas *Computervision* (sistema *CADDS-5*) e *Parametric Technology Corporation* (sistema *Pro/ENGINEER*). Também o *Precision Engineering/Solidesigner* (da *Hewlett-Packard*) apresenta alguns avanços neste sentido. Contudo, a maioria dos sistemas existentes no mercado apresenta um baixo nível de abstracção na compreensão da geometria e topologia da peça ¹⁸.

Os modelos de representação da informação geométrica utilizados pelos sistemas de *Projecto Assistido por Computador* apresentam ainda outro inconveniente. O armazenamento de especificações de engenharia como cotas e tolerâncias dimensionais unicamente em modo textual e dissociado da geometria dificulta a sua posterior recuperação automática para utilização por sistemas computacionais de análise da geometria e topologia da peça ¹⁷. Também a informação não-geométrica é armazenada deste modo (especificações de materiais e relativas aos processos tecnológicos de construção, por exemplo), apresentando as mesmas dificuldades quanto à recuperação da informação.

Assim, torna-se necessário desenvolver procedimentos para reconhecimento e extracção da informação relativa ao *projecto* e à *fabricação* a partir dos sistemas de *Projecto Assistido por Computador* de modo automático, com o objectivo de disponibilizá-la aos sistemas computacionais de apoio àquelas actividades.

2.2. Introdução à Tecnologia das Características.

A análise dos modelos de representação da informação geométrica utilizados pelos sistemas de *Projecto Assistido por Computador* deu origem a uma nova maneira de conceber e descrever as peças mecânicas, introduzindo-se o conceito de "form features", assim denominadas, em literatura em *língua inglesa*, as formas geométricas significativas em termos do *projecto* - sejam elas superfícies ou elementos volumétricos. Formas de geometria peculiares ao *projecto mecânico*, como entalhes ou furos, são exemplos desses volumes, bem como aqueles definidos pela *Geometria Espacial*, como cilindros, cones e paralelepípedos.

Estendendo-se esse conceito a toda a informação relevante à descrição da peça, ainda que essa informação não seja geométrica, pode-se falar numa *descrição de peças* através de "features", onde o termo designará, genericamente, toda informação de interesse às áreas de *projecto e fabricação*. Assim, por exemplo, a informação sobre o material a ser utilizado na construção da peça, sobre condições de produção e outras serão consideradas *características* da peça. Neste trabalho, utilizar-se-á a tradução do termo em Inglês "*feature*", encontrado em literatura sobre o tema, pelo termo em Português "*característica*". Portanto, as *características* serão entendidas tanto sob o ponto de vista da morfologia da peça (então denominadas *formas características*), como em termos de todos os demais elementos úteis à descrição da mesma. Assim, surge o conceito de *projecto de peças mecânicas* baseado na assim doravante denominada *Tecnologia das Características*.

O conceito de *característica* foi afectado directamente pela evolução dos trabalhos de investigação realizados na área. Definições diversas podem ser encontradas em literatura, seguindo-se alguns exemplos:

a) definição adoptada pelo *Programa CAM-I* (de instituições de investigação norte-americanas) ¹⁷ :

"As *características* baseiam-se na premissa de que os detalhes do desenho podem ser representados por formas de alta ordem (de abstracção), que representam colecções de entidades numa forma inteligente, coincidentes com o modo de raciocínio dos engenheiros";

b) Dixon ¹⁹ :

"*Características* são quaisquer formas ou entes geométricos cuja presença ou dimensões num domínio são fundamentais para a avaliação da *fabricação*, para o planeamento de processos ou para a automatização de análises funcionais";

c) Henderson ^{4 apud 20} :

"*Características* podem ser definidas como elementos típicos ou especificações de uma peça, incluindo tipo de material, funcionalidade e outros fragmentos de informação descritiva";

d) Hummel ^{8 apud 20} :

"*Características* são porções de uma peça que possuem algum grau de significado para a sua fabricação";

e) Luby ²¹ :

"*Características* são formas ou entidades cuja presença ou dimensões são requeridas por, pelo menos, alguma função no domínio da *Fabricação Integrada por Computador*, e cuja disponibilidade como uma primitiva permite a criação do *projecto*".

f) Shah ²² :

"*Formas características* são formas genéricas às quais os engenheiros associam certas propriedades ou atributos e conhecimento útil para o raciocínio sobre o produto (peça mecânica). Em termos mais explícitos, uma *forma característica* é um elemento físico constituinte de uma peça reconhecível como uma forma genérica, possui algum significado em termos de engenharia, e tem associada certas propriedades presumivelmente".

De um modo geral, a definição de *característica* aparece relacionada com os componentes morfológicos da peça ou com as especificações gerais de *projecto* ou de *fabricação* ¹⁵. Observa-se também que todas essas definições são, em alguma medida, dependentes do domínio das aplicações

desenvolvidas. Isto tem levado alguns pesquisadores a solicitarem a adoção de uma definição unificada para o termo ²³, mas constata-se ainda uma tendência a vincular a definição de *característica* ao contexto da análise a ser efectuada. Assim, o estudo sobre o *projecto baseado em características* exige atenção ao contexto de utilização deste termo, o que dificulta a discussão geral sobre o desenvolvimento da *Tecnologia das Características*.

Por outro lado, alguns autores impõem restrições àquilo que pensam não poder ser considerado uma *característica*. Shah, por exemplo, distingue claramente entre *característica* e *atributo*, por exemplo: uma *forma característica*, segundo ele, é um elemento constituinte da peça, enquanto que um atributo é um qualificador de uma *característica* ²².

A selecção e a classificação das *características* a serem manipuladas por sistemas computacionais são dependentes do domínio e dos objectivos das aplicações a serem desenvolvidas. Patel e McLeod ¹⁴ sugerem três caminhos como consulta básica para a selecção de *características*: a consulta a dicionários de engenharia, a análise estatística de componentes mecânicos e a classificação de peças efectuada pela *Tecnologia de Grupo*. Na verdade, pode-se dizer que os primeiros trabalhos relativos à análise do projecto de peças mecânicas manipulando *características* surgiram com os estudos para a criação dos sistemas de classificação de peças propostos pela *Tecnologia de Grupo*. Esses sistemas de classificação identificam e representam (usualmente através de códigos alfanuméricos) as *formas características* encontradas nas peças. Entre os sistemas de classificação mais conhecidos estão o *Opitz*, o *Miclass* e o *DClass* ^{13,24}.

As *características* têm sido classificadas de muitas maneiras diferentes. Shah classifica-as da seguinte maneira ²⁵:

- a) *formas características* - elementos relacionados com a geometria nominal de uma peça;
- b) *características de precisão* - desvios aceitáveis da forma ou dimensões nominais;
- c) *características tecnológicas* - parâmetros associados a requisitos funcionais da peça;
- d) *características de materiais* - composição de materiais, tratamentos de materiais, etc.;
- e) *características relativas a montagens* - orientação relativa das peças, interacções entre superfícies, relações cinemáticas, etc.

Dentre as classificações ligadas à morfologia da peça, destaca-se a efectuada por Pratt e Wilson ^{11 apud 25} pela sua importância histórica, pois foi a base das investigações realizadas no âmbito do *Programa CAM-I*, e que influenciou os trabalhos de um grande número de investigadores. Essa classificação pode ser encontrada em literatura com considerável nível de pormenorização ¹⁷; neste trabalho, a classificação básica utilizada é a seguinte:

- a) *passagens* - volumes subtraídos que intersectam um volume pré-existente inteiramente de face à face;
- b) *depressões* - volumes subtraídos que intersectam um volume pré-existente unicamente a partir de uma face;
- c) *protuberâncias* - volumes adicionados que intersectam um volume pré-existente a partir de uma face;
- d) *transições* - regiões envolvidas na concordância de regiões de intersecção;
- e) *formas características de área* - elementos bi-dimensionais definidos em faces de um volume pré-definido;

f) *deformações* - operações de mudança de forma associadas aos processos de enformação mecânica.

Por outro lado, as *formas características* também têm sido classificadas com base em sua funcionalidade para o *projecto*, como Cunningham e Dixon¹⁵ o fazem: *formas primitivas*, *modificações locais das formas primitivas* (como chanfros ou concordâncias), *intersecções* (resultantes da interação entre as primitivas e as modificações locais), *macroformas* (combinações de formas primitivas), e *atributos de forma* aplicáveis à toda a peça. Kim²⁶ propõe uma taxionomia específica para *formas características* encontradas em peças axissimétricas também baseada na funcionalidade.

Pratt^{27,28} introduziu ainda um novo enfoque na classificação das *formas características* ao subdividi-las em *implícitas* e *explícitas*. As primeiras possuem forma geométrica bem definida e ficam perfeitamente representadas pelos seus parâmetros associados (por exemplo, um *cilindro circular recto* fica perfeitamente definido pelo seu *raio* e o seu *comprimento*). As *formas explícitas* têm de ser nominalmente representadas em todos os seus elementos constituintes para que suas geometrias estejam perfeitamente estabelecidas.

Relativamente às definições de *características* associadas a entes geométricos, observa-se a existência de duas alternativas básicas. A primeira baseia-se na associação de volumes ao conceito de *forma característica*. A segunda considera *formas características* tanto elementos volumétricos, como de superfície²⁹.

A esse respeito, Chang¹⁶ afirma ser necessário identificar apenas algumas *formas características* especificamente, que seriam essencialmente os *volumes* significativos em termos das operações de fabricação. O restante da representação da peça poderia ser considerado um conjunto livre de faces. Deve levar-se em conta, no entanto, que a investigação conduzida por ele está relacionada com a utilização de *características* no *Planeamento de Processos Assistido por Computador* e no *Controlo Numérico*^{30,31}.

Pratt²⁷ analisou esse tema em maior profundidade, comparando o conceito de *características* tomadas como colecções livres de faces de um dado objecto com o conceito de *característica* tida como um sólido fechado. Esses conceitos estão ligados à análise da representação de peças através de modeladores de superfícies ou de sólidos. Concluiu ser preferível a utilização dos volumes para a definição das *formas características*, uma vez que as operações realizadas sobre os modelos geométricos da peça tornam-se mais complicadas se essas forem objectos compostos por colecções abertas de faces.

A título de exemplo, serão apresentados alguns casos relativos às dificuldades de análise da geometria de peças formadas por conjuntos livres de faces. Num primeiro exemplo, a intersecção entre dois entalhes torna difícil o reconhecimento da existência das *formas* individuais por procedimentos algorítmicos (ver figura 2.3-a). Assim, caso se pretendesse alterar a configuração da peça, pela retirada de um dos entalhes, o outro ficaria com uma forma inconsistente (conforme ilustrado à figura 2.3-b). Num segundo exemplo, a representação de *formas características* em que ocorrem superfícies simultaneamente coplanares e adjacentes torna difícil o reconhecimento da individualidade a essas e dos volumes correspondentes às mesmas. Como exemplo dessa situação, tem-se o caso ilustrado à figura 2.4, em que será reconhecida uma única face (figura 2.4-a) onde, na verdade, existem duas - se considerarmos a abstracção realizada para a concepção da peça como um conjunto de *formas*

características correspondentes a volumes constituídos por faces perfeitamente reconhecíveis e identificáveis. Nesse caso, a interpretação mais adequada vem a ser a ilustrada pela figura 2.4-b, em que há a distinção entre as diferentes superfícies pertencentes aos dois volumes a serem considerados.

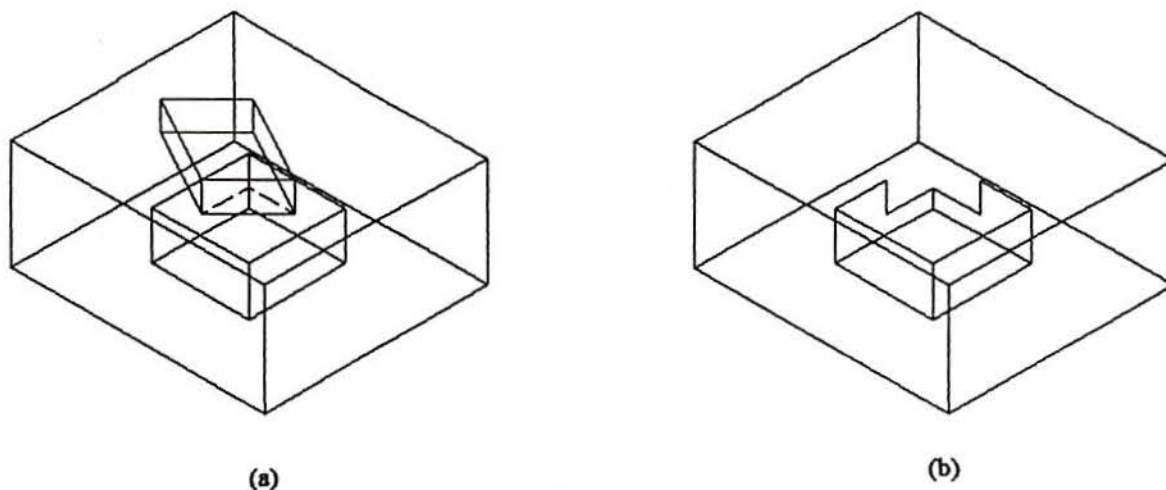


Figura 2.3 - Existência de forma constituída por conjunto aberto de faces.

Requicha ²⁹ pondera que a situação mais adequada é aquela em que as *formas características* são definidas em termos de volumes aos quais estão devidamente associadas e reconhecidas uma a uma das faces constituintes. Isto é devido a que a identificação de superfícies é também fundamental para a definição do projecto e das operações de fabricação, já que essas são tomadas como referência para o dimensionamento geral da peça, para especificações de tolerâncias de fabricação, etc..

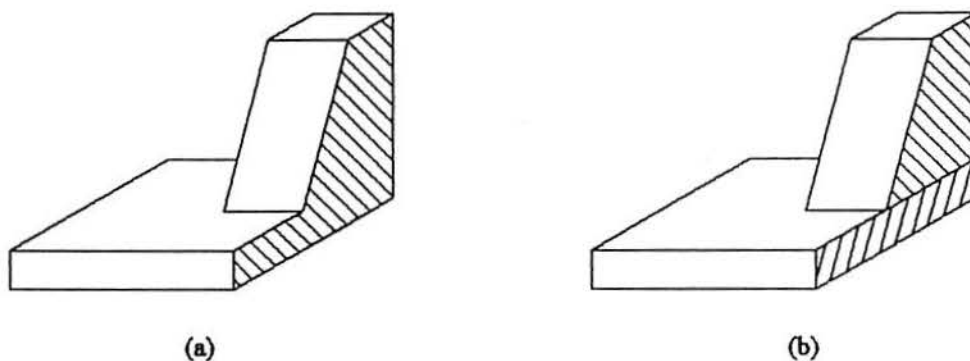


Figura 2.4 - Objecto formado por conjunto aberto de faces.

Há também definições e classificações de *formas características* associadas estritamente aos processos de fabricação ³², que podem estar superpostas às definições baseadas em geometria ou às definições baseadas em reconhecimento do significado da *forma* para o *projecto*. Assim, uma mesma

forma pode ser vista de maneiras diferentes conforme a definição utilizada. Por exemplo, um furo passante de forma cilíndrica pode ser visto de diferentes maneiras:

- a) como um cilindro subtraído de um sólido, se a definição de *forma característica* estiver baseada em geometria;
- b) como um elemento funcional de uma peça ou de uma montagem de peças (furo), se a definição estiver baseada no significado para o *projecto*;
- c) como um volume (cilíndrico) a ser removido por uma operação de maquinação (furação, por exemplo), se a definição estiver associada a processos de fabricação.

Utilizando-se a definição associada aos processos de fabricação, os modeladores de *formas características* devem operar com *bases de formas* definidas em função dos tipos de processos que se espera utilizar na construção das peças. Frequentemente, os sistemas que utilizam esses modeladores aplicam-se às áreas de geração de planos de processos, à geração automática de caminhos de corte para máquinas com *controlo numérico* ou à análise de fabricação em domínios específicos de processos.

Assim, desejando-se criar uma peça que venha a ser maquinada, pode-se construir o seu modelo com *formas características* relacionadas com os processos de maquinação, como furos, saliências, entalhes, roscas, etc.. A escolha das operações de fabricação estarão então estreitamente vinculadas à escolha das *formas características*. Exemplos de sistemas dessa classe são o *Cimplex*³³, *XCut*³⁴, *DEFEATOR*²⁰, *MEX*³⁵ e *Machinist*³⁶. Analogamente, no domínio dos processos de fundição e de moldação, há o sistema *Casper*²¹.

Krause³⁷ e Hayes³⁶ demonstram que as *características* podem ser vistas como um elemento de ligação entre o *projecto* e o *Planeamento de Processos*. O *Machinist* é especificamente desenvolvido para o estudo da interacção geométrica entre *formas características*, no contexto da definição e sequenciamento das operações de maquinação de peças de *forma geral* prismática. Observe-se que foi aqui adoptada a expressão *forma geral* para tradução do termo em Inglês "*overall shape*".

Dixon e Cunningham¹⁵ estudaram uma série de diferentes possibilidades de aplicação da *Tecnologia das Características* à análise de processos tecnológicos, analisando as *características* a serem consideradas consoante os tipos de processo e de análise em questão. Os casos estudados foram os seguintes: *análise de custos* para processos de extrusão, fundição, moldação por injeção e estamparia; *análise de fabricação* para extrusão, forjamento, fundição, estamparia e moldação por injeção; *construção de moldes* para processos de extrusão e de moldação por injeção; *análises de montagens* para diferentes tipos de montagens manual e automática. Concluíram que, mesmo dentro de uma mesma classe de processos, *características* consideradas significativas para uma dada análise podem não o ser para outras. Por exemplo, considerando-se o processo de *moldação por injeção*, o factor *acabamento superficial* foi considerado relevante para a *análise de custos* de fabricação, mas não para a *avaliação de fabricação* da peça.

As definições e classificações de *características* também são afectadas pelo nível de abstracção e complexidade existente na análise a ser efectuada, pois as *características* têm origem nos processos de raciocínio utilizados nas diversas actividades ligadas ao *projecto* ou à *fabricação*¹⁹. Diferentes análises efectuadas sobre um mesmo produto levam, frequentemente, a concepções diversas sobre o significado de uma mesma *forma*. Por exemplo, considerando-se as *formas* a serem maquinadas

num molde para injeção, observa-se que algumas serão vistas como volumes a serem removidos sob o ponto de vista da maquinação, e simultaneamente essas *formas* serão vistas como cavidades sob o ponto de vista da moldação por injeção.

Assim, a selecção e a definição de *características* são dependentes do contexto em que é desenvolvida a aplicação em que aparecem. Este facto torna difícil a procura de modelos unificados de representação de *características* de utilização em aplicações diversas. Este assunto foi analisado por Dixon²³, que concluiu ser desejável que os modelos baseados em *características* permitam a consideração de múltiplos pontos de vista e níveis de abstracção relativamente à concepção das mesmas.

Shah^{38,39} propõe a utilização da classificação e codificação das *características* da peça como meio de transferência da informação do modelador de *características* para as diversas aplicações computacionais. Esse código é baseado numa classificação taxionómica das *formas características*, e deveria ser suficientemente flexível para ser modificado conforme as exigências de uma dada aplicação. Isso deveria permitir que o modelo geométrico da peça pudesse ser visto especificamente sob o ponto de vista de uma dada aplicação. A solução, porém, parece recair no lugar comum dos códigos utilizados em *Tecnologia de Grupo*, e o único exemplo de utilização apresentado diz respeito, exactamente, a uma aplicação destinada à codificação de peças através do código de Opitz.

Um outro conceito que contribuiu, significativamente, para o desenvolvimento do *projecto* baseado em *características* foi o de *Projecto Paramétrico*⁴⁰. Aplicado estritamente à actividade do desenho, esse induz à elaboração do mesmo através da utilização de formas parametrizáveis organizadas num conjunto pré-estabelecido (correspondendo às *formas características* classificadas como *implicitas* por Pratt). Num sentido menos restrito, pode-se dizer que a atribuição de um qualificador a uma *característica* pré-definida constitui aplicação do conceito geral de *Projecto Paramétrico*.

Sejam quais forem, porém, os critérios e o tipo de classificação, ou as definições de *características* utilizadas, a utilização de sistemas baseados nessas está ligada à tentativa de se apreender a intenção do projectista ao elaborar o *projecto*, que corresponde a um nível mais elevado de abstracção do que o encontrado na documentação usual, baseada em informação gráfica ou textual presente no desenho^{40,23,14,41}. Assim, nos modelos de aplicações baseados em *características*, verifica-se a existência de uma permanente preocupação em permitir que os projectistas trabalhem com entidades com que estão familiarizados em termos de *projecto*^{21,18}. Esta é verdadeiramente uma das grandes motivações para a investigação e o desenvolvimento dos modelos de sistemas de *Projecto Assistido por Computador* baseados em *características*. Entretanto, deve-se ter em consideração que, a despeito de décadas de estudos, a actividade e os processos relacionados com o *projecto* são ainda formalmente pouco compreendidos⁴², carecendo de um maior entendimento, especialmente em termos de sistematização, organização e estruturação do conhecimento - o que, em certa medida, afecta o desenvolvimento da investigação relacionada com a *Tecnologia das Características*.

2.3. Abordagens relativas à *Tecnologia das Características*.

Uma questão fundamental no estudo dos sistemas baseados em *características* diz respeito ao modo como essas são manipuladas por aqueles. Após os primeiros estudos na área de reconhecimento de *características*, que tiveram origem na análise efectuada em *Tecnologia de Grupo*, surgiram os primeiros trabalhos ligados a tentativas de análise dos sistemas de *Projecto Assistido por Computador* para identificação das *formas características*. Na análise da literatura sobre o tema, podem ser encontradas as seguintes abordagens:

- a) *definição interactiva das formas características* - neste método, o utilizador agrupa entes geométricos presentes no desenho executado num sistema de *Projecto Assistido por Computador* (baseado em modelação convencional) e os identifica como pertencentes a uma dada classe;
- b) *reconhecimento automático de formas características* - neste método, procedimentos computacionais são executados directamente sobre a representação do desenho armazenada pelo sistema de *Projecto Assistido por Computador*, procurando identificar *formas características* nele contidas;
- c) *projecto fundamentado em bases de formas características* - nesta abordagem, o projectista selecciona formas paramétricas de geometria pré-definida armazenadas numa biblioteca de *formas*, obtendo o produto final pela instanciação, parametrização e combinação dessas.

A abordagem das *definições interactivas* é inconveniente porque a definição do que pode ser considerado uma *forma* de um determinado tipo ou classe é dependente da interpretação do utilizador, e, por mais que essa avaliação possa ser orientada, estará sempre sujeita à imperfeição. Efectivamente, esta abordagem parece ter sido abandonada como hipótese de investigação.

A abordagem do *reconhecimento automático* teve seu desenvolvimento mais concentrado na década de 1980, tendo a grande desvantagem de não se ter conseguido desenvolver um procedimento suficientemente genérico que, aplicado a algum tipo de modelo de representação de peças (modeladores de arame, de superfície ou de sólidos), tivesse sido capaz de efectuar o reconhecimento de um universo suficientemente amplo de classes de *formas características*.

A abordagem da *operação sobre bases de formas características* apresenta o inconveniente de estar normalmente limitada a um número fixo de *formas* a serem manipuladas. Ainda que, para determinadas aplicações, esse número possa ser suficiente, sempre serão impostas limitações à criatividade do projectista. Contudo, alguns investigadores afirmam que essa restrição deve ser considerada positiva, argumentando que a liberdade absoluta na escolha da forma do produto contrapõe-se às necessidades de diminuição dos custos de produção obtidas pela padronização da forma das peças⁴³. Esta discussão é um tema de importância dentro dos estudados em *Tecnologia de Grupo*^{13,24}.

É certo que não existe um consenso sobre qual a melhor maneira de se manipularem as *formas características*, e há quem proponha, conceptualmente, uma solução híbrida entre as duas últimas abordagens citadas, numa tentativa de combinar o ganho da liberdade de criar formas com o facto de se dispor permanentemente de uma avaliação precisa da representação geométrica e topológica da peça obtida pelo utilização das *formas características* instanciadas²⁸.

Conforme Shah ²⁵, os procedimentos de reconhecimento automático de *formas características* devem ser divididos em duas classes: aqueles que, como saída do processo, exibem *formas características* de geometria nominal significativa (como furos, entalhes, saliências, etc.), e aqueles que têm como saída do processo os volumes a serem retirados de uma base de material tomada como ponto de partida para a obtenção da peça. Esta distinção é fundamental porque, neste último caso, os volumes a serem retirados não possuem necessariamente significado em termos de *formas características*, entendidas como formas geométricas canonicamente definidas.

Um método utilizado no reconhecimento automático de *formas características* foi desenvolvido por Woo (conforme descrito por Requicha ⁴⁴), em que, dada a forma de uma peça (figura 2.5-a), procura-se a sua *mínima envolvente convexa* (ver figura 2.5-b). O volume total a ser removido deste invólucro é então decomposto em volumes menores removíveis por fresamento, baseado num procedimento recursivo.

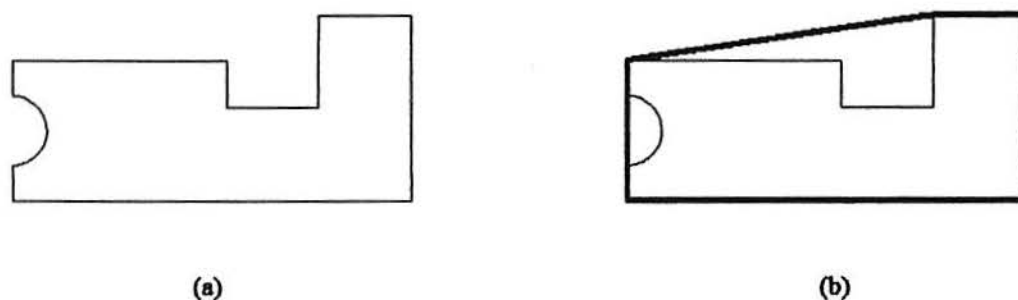


Figura 2.5 - Um objecto e sua *mínima envolvente convexa*.

Existe um método baseado numa técnica de secçãoamento da peça, que se aplica às peças a serem fresadas. Esse método considera diversas secções transversais da peça, perpendiculares à direcção do movimento da ferramenta de corte. Assim podem ser definidas as áreas de onde se deve retirar material em cada um dos planos. A consideração destes em conjunto permite definir os volumes de material a serem extraídos da peça. Trabalhos relevantes neste tema são os de Bobrow ⁴⁴ e de Grayer e Parkinson ^{1, 19 apud 25}.

Um outro método foi desenvolvido por Armstrong ^{24,25 apud 25}, baseado na decomposição da peça em células, definidas pelo posicionamento de grupos de planos (figura 2.6). Esse método utiliza um algoritmo que identifica células passíveis de serem acedidas pela ferramenta de corte, definindo um caminho de corte adequado.

Nenhum desses métodos está voltado para a descrição da peça a um nível superior de abstracção do ponto de vista da descrição geométrica e topológica, porque as considerações fundamentais não são para com as *formas características* constituintes da peça, mas para com os volumes a serem subtraídos por processos tecnológicos.

Existem métodos de reconhecimento automático de *formas características* cuja saída é a descrição da peça através de *formas características* de geometria nominal pré-estabelecida. Basicamente, esses processos consistem na comparação entre porções da representação geométrica de

uma peça e a representação de *formas* pré-definidas genericamente, procurando-se identificar a presença destas na peça. Nesses processos, certas etapas costumam estar presentes: pesquisa da *base de dados* do modelador geométrico em busca de padrões topológicos e geométricos reconhecíveis; extracção dos padrões reconhecidos da *base de dados* (remoção da porção de informação associada à *característica* identificada); determinação dos parâmetros e atributos associados às *características*; combinação de *formas características* mais elementares para se obterem outras de mais alto nível.

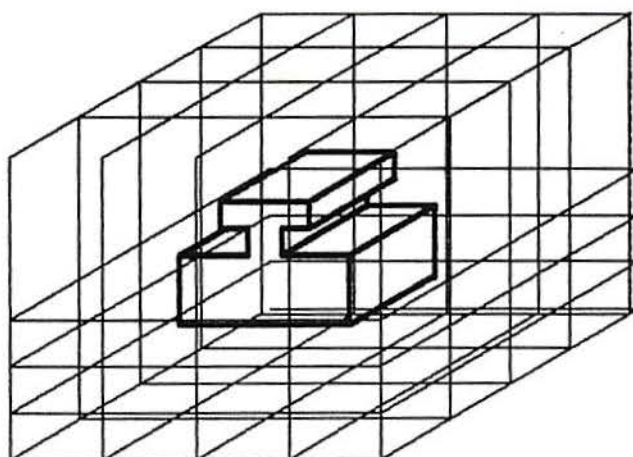
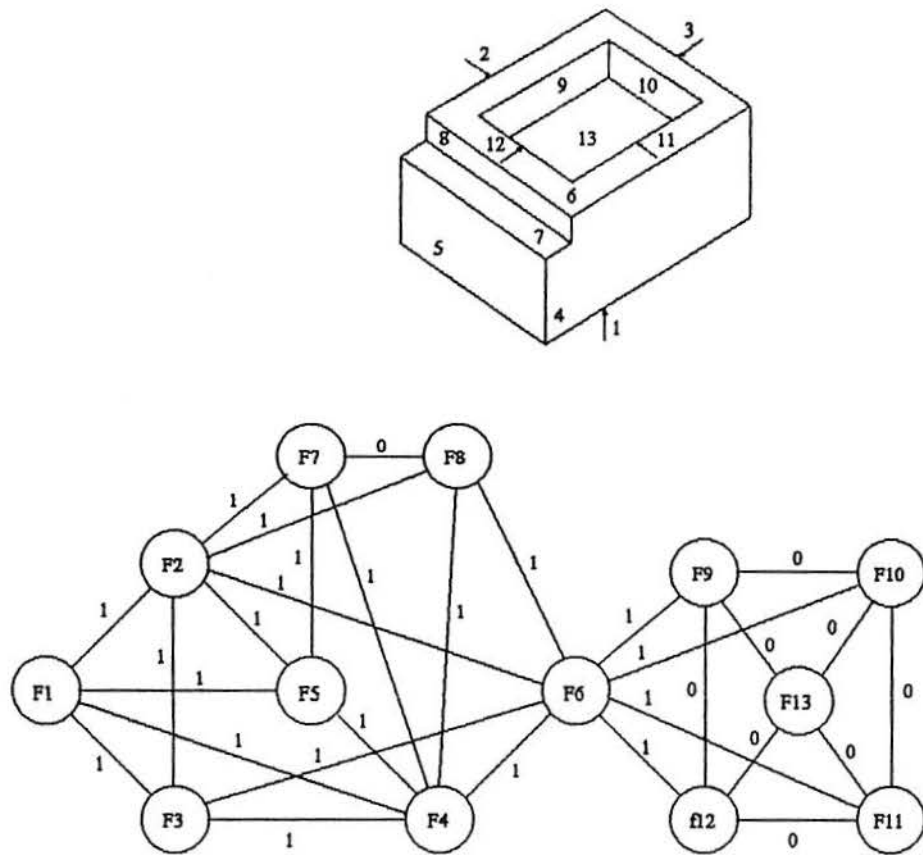


Figura 2.6 - Decomposição de um objecto em células através do seccionamento em planos.

Uma das técnicas utilizadas nesses processos é a *análise de grafos* aplicada aos modeladores de superfícies. Esta técnica baseia-se num exame da estrutura de árvore em que estão presentes os elementos geométricos constituintes do modelo da peça, procurando identificar sequências desses possivelmente relacionadas com a existência de algum tipo de *formas características*. Uma das abordagens baseada na *análise de grafos* baseia-se na utilização de *gramáticas de grafos*^{16,45} - ver ilustração à figura 2.7.

Os trabalhos de Joshi e Chang⁴⁶ constituem alguns exemplos de aplicação da análise da estrutura da peça através da identificação e decomposição em seus elementos geométricos constituintes através da *análise de grafos*. Outros exemplos são apresentados por Floriani⁴⁷ e Kyprianou^{30 apud 25}. Este último classifica as arestas encontradas num objecto como *convexas*, *côncavas*, *suavemente convexas* e *suavemente côncavas* (ver figura 2.8), e, manipulando essa classificação, analisa a existência de depressões e protuberâncias na peça. Chang¹⁶ refere que a utilização desta técnica somente demonstrou ser eficiente para *formas características* obtidas pela projecção de perfis ao longo de rectas (também conhecidas como $2 \frac{1}{2} D$), e que, como essa técnica não utiliza completamente toda a informação geométrica disponível, uma classificação mais específica da *forma característica* deve ser efectuada numa fase posterior (por exemplo, para distinguir entre um entalhe de secção transversal rectangular e outro em forma de "rabo de andorinha").



(a) Modelo geométrico de uma peça e o seu grafo correspondente.

Forma	Grafo	Ilustração
Degrau		
Entalhe aberto		
Degrau cego		
Entalhe cego		
Cavidade		
Furo		

(b) Grafos para classes de formas características.

Figura 2.7 - Análise de grafos aplicadas aos modeladores de superfícies.

Uma outra técnica utilizada é a do *reconhecimento sintático de padrões*. Nessa técnica, os padrões geométricos são classificados, tipicamente, como linhas rectas ou curvas de diferentes tipos. Considerando o facto de que esses padrões simples formam padrões compostos quando combinados, constroem-se linguagens capazes de descreverem as sequências de padrões algebricamente representados através de cadeias de símbolos, manipulando-as com operadores. As *formas* são reconhecidas por um processo de análise das sequências encontradas face à descrição formal esperada para uma dada *característica* (figura 2.9). Chang¹⁶ afirma que esta técnica tem o inconveniente de que o reconhecimento da *forma* somente pode ser aplicado a *formas* bi-dimensionais, isto é, apenas o perfil da *forma característica* é efectivamente identificado, tornando difícil a distinção em certos casos (por exemplo, entre um entalhe e um furo que possuam secções transversais de mesma forma).

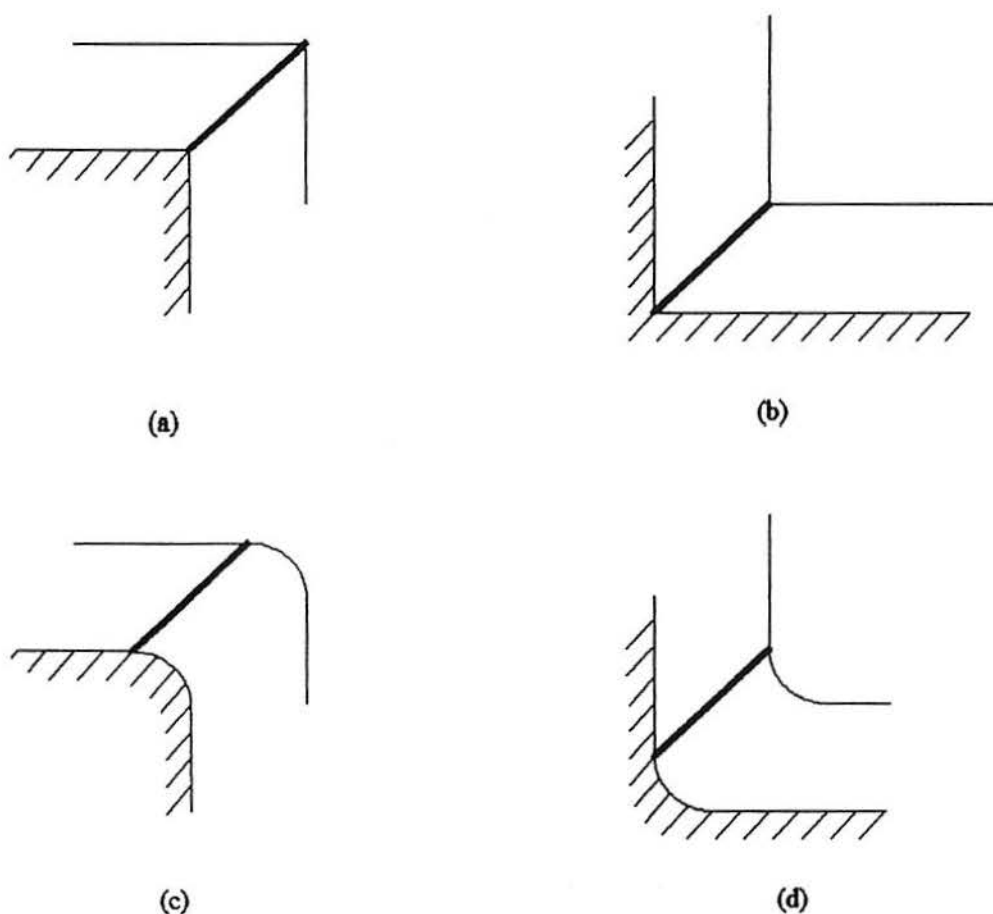


Figura 2.8 - Classificação baseada na análise dos limites entre superfícies (arestas).

Um trabalho que pode ser enquadrado nessa classe foi desenvolvido por Wang e Chang⁴⁸, voltado para a identificação de *formas características* em peças axissimétricas representadas por *modelos de arame*. Os trabalhos de Jared^{49,50} e Henderson^{4apud25} são exemplos de utilização combinada da técnica do *reconhecimento sintático de padrões* com a *análise de grafos*. Henderson utiliza também um *sistema pericial* para a determinação das *formas características*.

Há também uma técnica baseada na descoberta da existência de depressões numa peça, que é feita pela adição do volume correspondente àquele presumivelmente suprimido. Essa técnica,

entretanto, apresenta o inconveniente de somente ser aplicada à recomposição de *formas* convexas subtraídas de sólidos (figura 2.10). Um exemplo de aplicação desta técnica é o trabalho introduzido por Kumar, Anand e Kirk⁵¹, também apoiada por *sistemas periciais*.

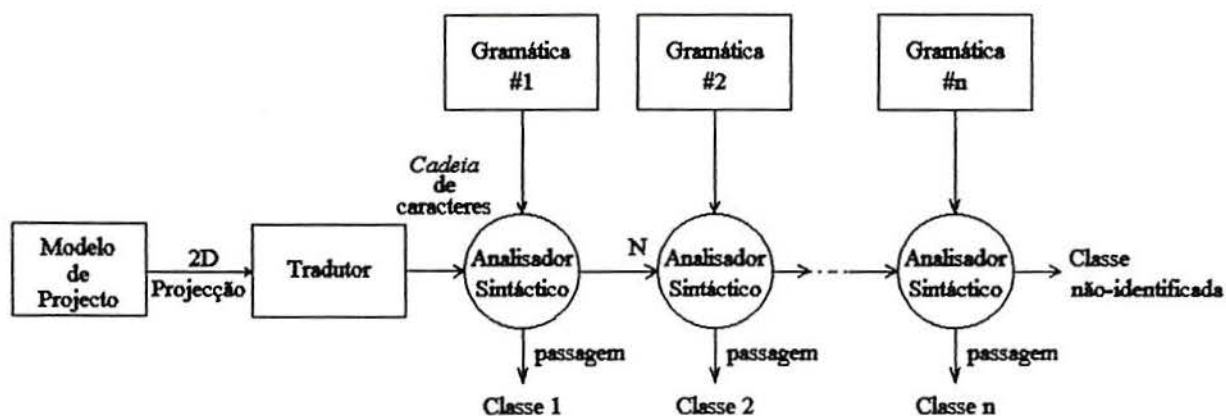


Figura 2.9 - Arquitectura de reconhecedor de formas baseado no reconhecimento sintático de padrões.

Existe, ainda, uma técnica específica de reconhecimento para os modeladores baseados no método da *Geometria Construtiva de Sólidos*. Neste caso, faz-se a busca directamente à estrutura em árvore. Esta técnica, porém, tem um grande inconveniente, que é o de lidar com a não-unicidade da representação de *formas* existente nas árvores construídas por esse método. Trabalhos relativos a essa técnica não indicaram soluções para a superação do problema^{40, 41 apud 25}.

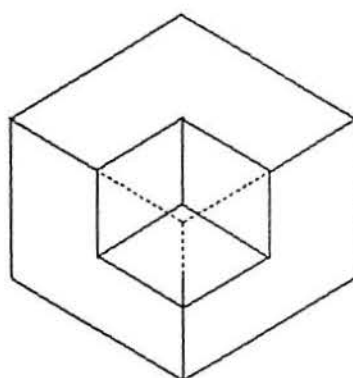


Figura 2.10 - Extensão de arestas para obtenção do volume de uma *forma característica*.

Outra técnica proposta no domínio do reconhecimento de *formas características* está vinculada à utilização de modeladores de superfícies em que a estrutura topológica das *formas* pode ser definida pela utilização de *regras lógicas* para fins de reconhecimento. O exemplo extraído de

literatura¹⁶ (reproduzido à figura 2.11, com tradução) supõe que as faces do sólido estejam organizadas previamente num grafo ao qual são aplicadas tais regras. A utilização de *sistemas periciais* contendo regras para a identificação das *formas* é também aplicada à análise da representação geométrica previamente convertida para uma representação por predicados.

Um dos problemas das técnicas baseadas no uso de *regras lógicas* reside em requerer uma grande capacidade computacional para implementação. Ela é bem sucedida na identificação de *formas* de geometria mais simples encontradas isoladamente. Exemplos de trabalhos representativos são os descritos por Sakurai⁵², Henderson⁵³ (descrição conceptual do sistema *FRAPP*), e Zhang⁵⁴ (*EXCAP P*). O primeiro trabalho ocupa-se apenas da *identificação de formas características*, ao passo que os dois últimos estão voltados para a *aplicação das formas ao planeamento de processos*.

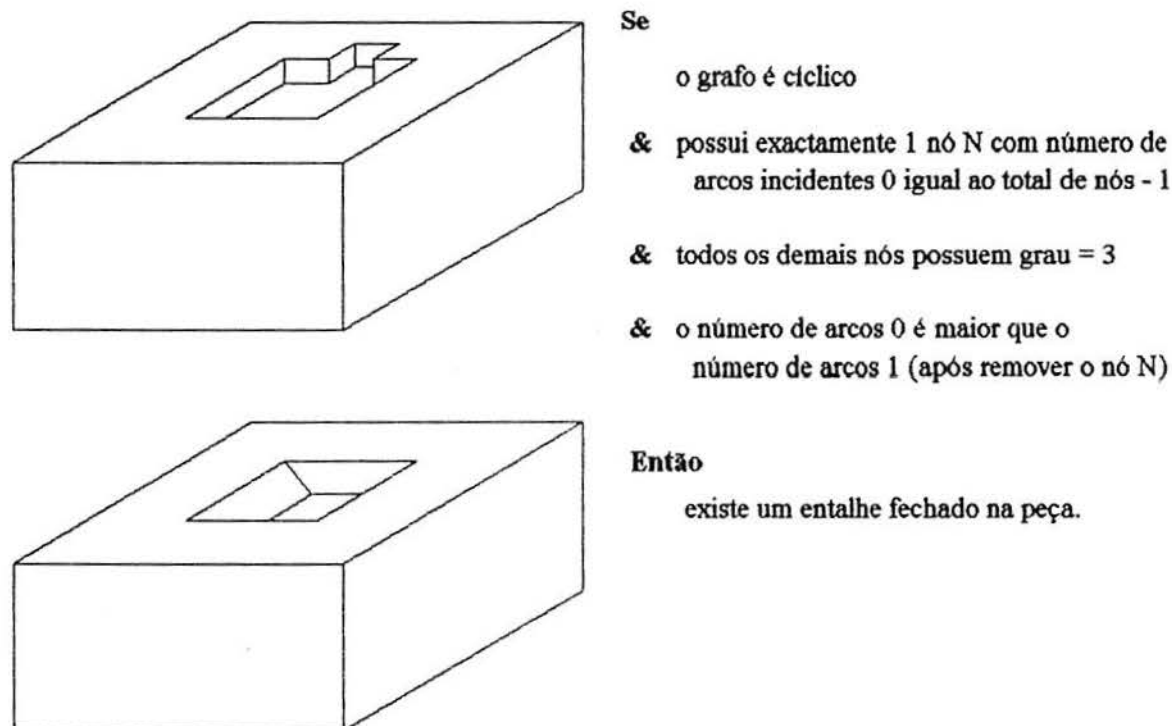


Figura 2.11 - Regra para o reconhecimento de entalhes fechados (*depressões*).

Existe ainda uma técnica baseada na decomposição do volume total a ser retirado de um bloco inicial de material em volumes menores associados a operações de maquinação (figura 2.12). A aplicação dessa técnica determina que as *formas características* presentes no modelo da peça sejam efectivamente identificadas, sendo assim considerada uma técnica de reconhecimento de *formas*. Neste caso, os volumes elementares encontrados correspondem a volumes efectivamente maquináveis, ao contrário das técnicas que não identificam as *formas características* presentes no produto final. Um trabalho representativo nesta área foi desenvolvido para o Programa *CAM-I*^{22apud25} pela *General Dynamics*, sendo os volumes decompostos denominados *volumes-delta*, que são volumes que podem ser acedidos pela ferramenta de corte (o método foi desenvolvido para peças a serem fresadas). O grande problema desta técnica é que ela falha para peças que contenham protuberâncias. Nesses casos,

o algoritmo de decomposição gera planos de processos irrealistas.

Todas as técnicas descritas acima restringem-se a tipos específicos de *formas* a reconhecer e apresentam dificuldades em individualizar as *formas* existindo intersecções entre as mesmas, levando ocasionalmente a resultados ambíguos^{16, 55, 14}. Por isso, é geralmente aceite que os resultados obtidos pelo reconhecimento de *formas características* em modeladores geométricos são excessivamente modestos, sendo insuficientes para resolver o problema da manipulação eficiente das *formas características*^{56,57}.

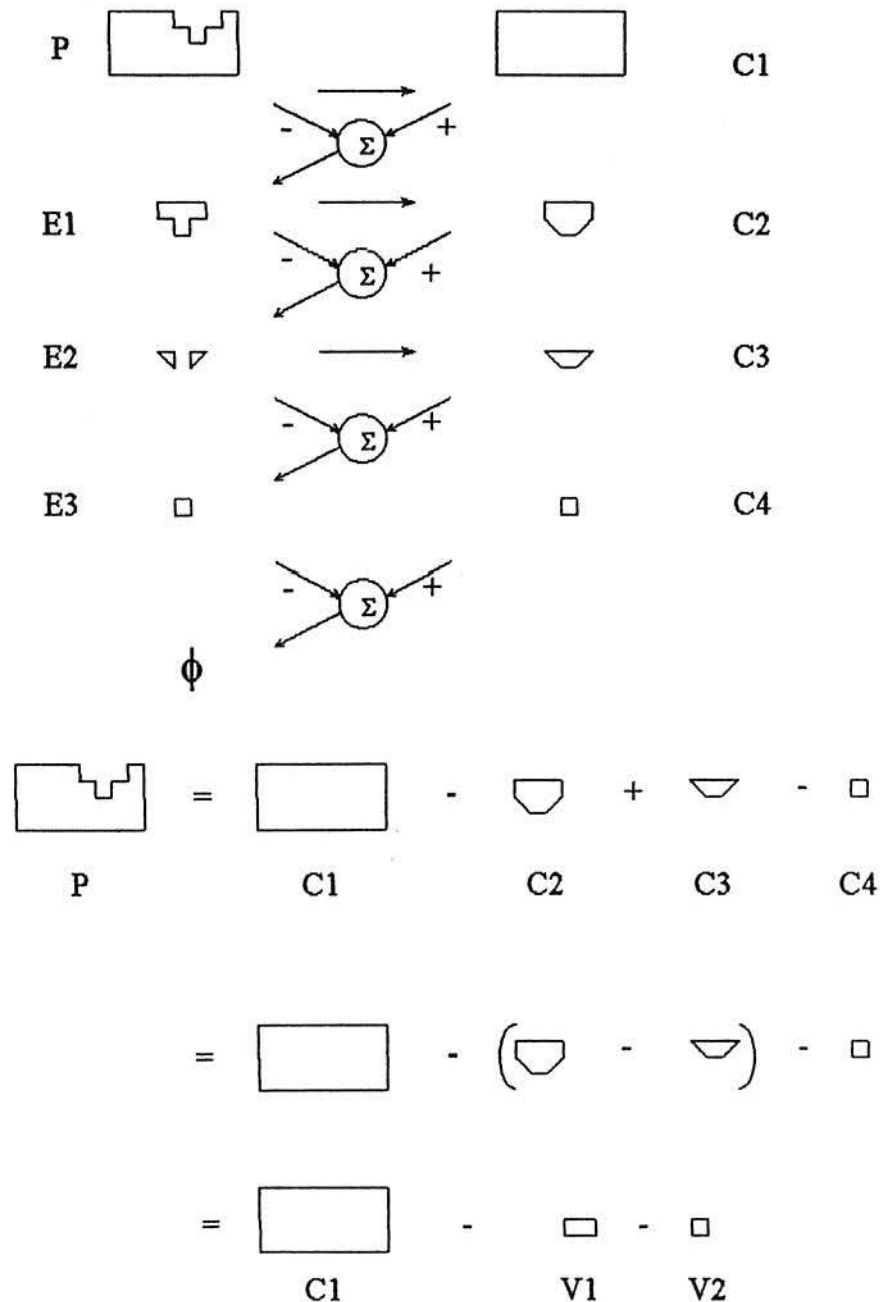


Figura 2.12 - Decomposição em volumes elementares correspondentes a operações de maquinação.

Após terem sido verificados resultados insatisfatórios na aplicação das técnicas de reconhecimento de *formas características*, surgiram os primeiros estudos propondo a utilização de

bases de formas características como ponto de partida para a construção da peça mecânica. Nessa abordagem, as *formas* vão sendo adicionadas ao modelo da peça desde o princípio da elaboração do projecto. As *formas características* estão armazenadas numa biblioteca, na forma de arquétipos que são instanciados e parametrizados para posterior incorporação ao modelo da peça. Presumivelmente, o procedimento de inclusão deve validar o posicionamento e a orientação da *forma* a ser incorporada em relação às presentes no modelo da peça.

Um primeiro método utilizado consiste em fazer que o procedimento de elaboração do projecto seja uma simulação do próprio processo de fabricação da peça. Dada uma porção inicial de material a ser trabalhado, as *formas características* são subtraídas desta base de material. Esse método é conhecido em literatura como *Método da Modelação Destrutiva* ou como *Geometria Destrutiva* (também denominada *Geometria Deformativa*) de Sólidos. Alguns exemplos significativos são encontrados na literatura, como os trabalhos relatados por Cutkosky⁵⁸ e por Jaques⁵⁹, relacionados com sistemas criados para operar com peças a serem fresadas. Um outro trabalho é descrito por Desai⁶⁰, relativo a peças a serem torneadas. Este tipo de aplicação está normalmente vinculado a um tipo específico de processo de fabricação (fresamento, torneamento, etc.) e ao planeamento das operações a serem efectuadas. Não é, contudo, um procedimento necessariamente otimizado de geração de sequência de operações, porque esta é intrinsecamente determinada pelo próprio projectista, ao definir em cada passo as configurações intermediária e final da peça.

Um segundo método consiste na síntese de *formas características* efectuada independentemente da existência de uma base inicial, agrupando volumes elementares no espaço. As *formas* são classificadas conforme correspondam à existência local de material (*formas* de tipo *volume-positivo*) e à inexistência local de material (*formas* de tipo *volume-negativo*). Exemplos de sistemas que operam sobre este conceito são o *Cimplex*³³, o *Casper*²¹, o *EXCAST*⁵⁷, o *Shapes*⁴³, o *ASU*⁶¹ e o sistema proposto por Chung⁶².

A última abordagem é considerada a mais promissora por diversos autores, ainda que uma série de problemas relacionados com o melhor modo de concepção das *bases de formas características* e das restrições a serem impostas à sua utilização ainda tenham de ser resolvidos; especificamente, as seguintes questões são levantadas, conforme analisado por diversos investigadores e encontrado em literatura^{15,19,23,63,22,29}.

- a) a dificuldade de se poder contar com um conjunto suficientemente completo e significativo de *formas características* consoante a área de projecto ou a aplicação a ser realizada;

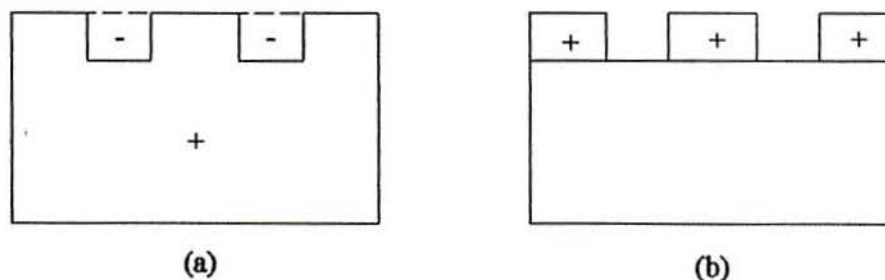


Figura 2.13 - Peças geradas por um paralelepípedo e dois entalhes (a) ou por quatro paralelepípedos (b).

- b) o problema da necessidade de serem criadas e utilizadas *formas* não pré-definidas canonicamente;
- c) o problema de uma mesma peça poder ser gerada por mais de uma combinação possível das *formas* definidas canonicamente (ambiguidade na composição da forma da peça), que pode conduzir posteriormente a análises diferenciadas da mesma (figura 2.13);
- d) o problema de ser necessário coexistirem diferentes possibilidades de parametrização de uma mesma *forma característica*;

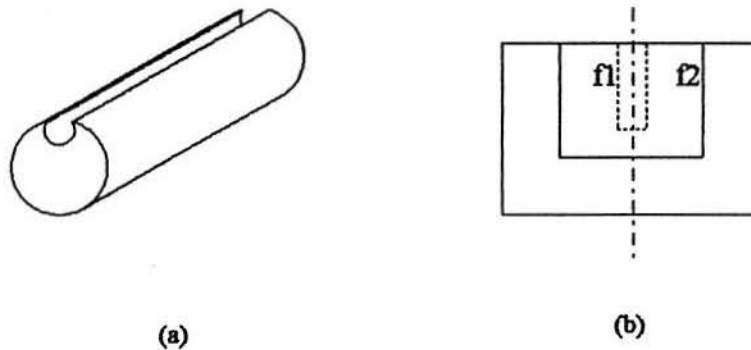


Figura 2.14 - Degradação do significado de *formas características* da classe *furo cilíndrico*.

- e) o problema das *interações geométricas*, em que se perde total ou parcialmente o significado associado às *formas características* envolvidas (figuras 2.14-a e 2.14-b - em que a *forma* f1 desaparece pela introdução da *forma* f2);
- f) o problema da definição de uma maneira adequada de representação da *topologia* da peça, seja através de grafos que representem as adjacências entre as *formas características*^{21,64}, seja através de relações hierárquicas entre essas, em que a existência de umas fica condicionada à existência ou posição relativa de outras.

2.4. A elaboração de modelos de representação da informação baseados na *Tecnologia das Características*.

A questão da representação das *formas características* através de modeladores de *características* é um tema complexo. Frequentemente, tanto na abordagem do reconhecimento de *formas*, como na abordagem baseada na utilização de *bases de formas*, a representação das peças é feita em duplo modo, coexistindo um modelo voltado para a representação em modo gráfico com outro dedicado à representação em modo textual.

No caso da abordagem do *reconhecimento de formas*, faz-se um mapeamento das *formas* identificadas no modelador gráfico para uma *base de dados* que irá conter a informação em modo textual, onde consta a representação da *característica* em sua forma canônica. Porém, nem sempre toda a geometria ou topologia da peça é traduzida em termos de *formas características*, como propõe Chang¹⁶, existindo uma relação unívoca entre os modos de representação (figura 2.15-a).

No caso da utilização de *bases de formas características*, há duas possibilidades de modos de construção da peça. A primeira utiliza uma interface gráfica para a construção da peça, atuando sobre o modelador gráfico, e, após a validação da construção, transfere a informação referente a esta construção para uma *base de dados* (modo textual) - ver figura 2.15-b. A outra hipótese é a de construir a peça a partir de uma interface textual, onde a geometria e a topologia da peça são declarativamente descritas, utilizando funções gráficas para a produção da representação gráfica (figura 2.15-c). O sistema para análise de processos de montagens introduzido por Kroll ⁵⁵ utiliza esse modo de entrada de dados. Mas, seja um ou outro o modo de entrada de dados utilizado, a correspondência entre ambas as representações deve tender a ser biunívoca.

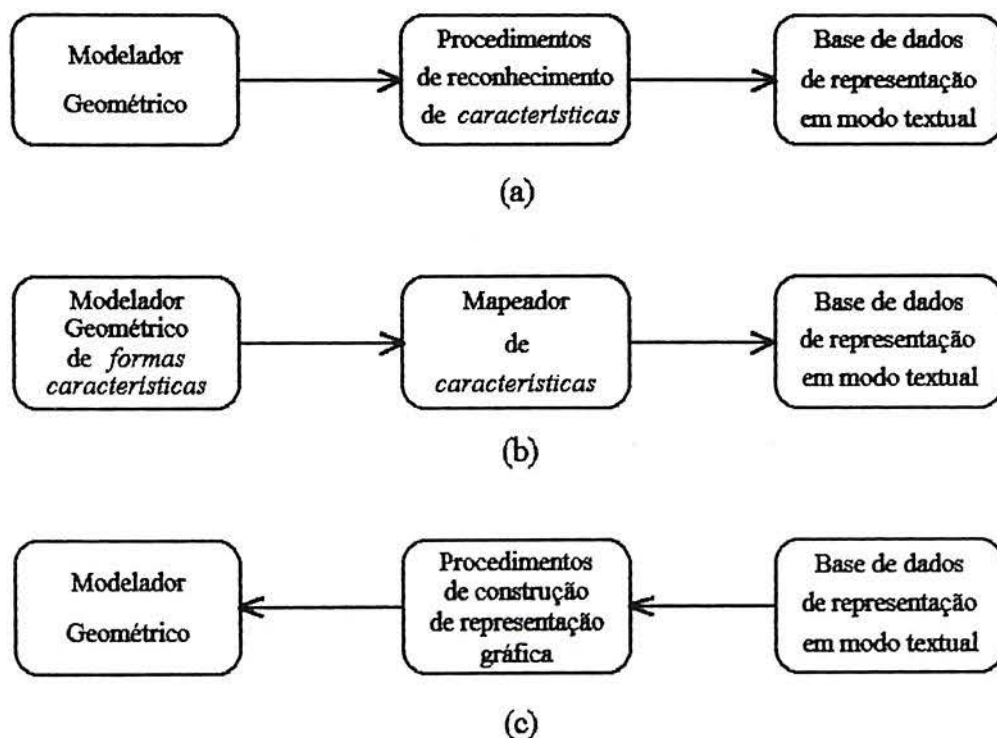


Figura 2.15 - Fluxo de informação entre bases de dados referentes aos modeladores de peças.

A representação gráfica das *formas características* é usualmente obtida através de modeladores de superfícies ou de sólidos. A representação textual é feita através da utilização de *bases de dados*, existindo um reconhecimento consensual sobre as vantagens da utilização de *bases de dados orientadas por objectos* ²⁵. Este tipo de *bases de dados* foi desenvolvido dentro do conceito de *Programação Orientada por Objectos*, cujos conceitos fundamentais e definições de domínios de aplicação são analisados em diversas referências ^{65,66,67,68,69,70}.

Genericamente, os *objectos* são entes individualizados pela mente humana, em algum nível de abstracção, possuindo um significado a ser considerado em certo domínio. Eles constituem uma estrutura superior de representação de dados para os seres humanos, pois a descrição conceptual e abstracta de um determinado ente existe em nossa memória, sendo invocada diante da necessidade de analisar uma nova experiência ou evento. Existem mecanismos apropriados para a representação

computacional desta forma de conhecimento, estudadas pela *Inteligência Artificial*, como os *quadros*⁷¹ (tradução do termo em Inglês "*frame*"), de que são constituídas as *bases de dados orientadas por objectos*. Os *quadros* também são alternativamente denominados *entidades*.

A comparação entre as definições de *quadro* (no âmbito da *Inteligência Artificial*) e de *forma característica* (no contexto do *projecto* de peças mecânicas) permite perceber que ambos correspondem a individualizações concebidas pela capacidade de abstracção da mente humana. Este facto induz-nos a supor a possibilidade de modelar as *características* através de um *modelo de entidades* nos sistemas computacionais de apoio ao *projecto* e à *fabricação*. Efectivamente, tal abordagem irá contribuir para facilitar a manipulação das *características* quanto à uniformidade de procedimentos a aplicar nas operações de criação, remoção ou modificação de *características*. A aplicação de regras de conhecimento também será mais facilmente viabilizada, especialmente se as *características* estiverem convenientemente agrupadas, o que depende de um estudo correcto dos modos de representação e de sistematização a serem aplicados às mesmas.

Exemplos de modeladores de *características* cuja representação textual foi construída sobre *bases de objectos* são o *ASU*^{56,61,64,72} e o *QTC*^{16,30,31}. Trata-se de dois exemplos bem representativos porque, apesar deste ponto em comum, deve-se observar que o *QTC* foi desenvolvido com base na abordagem do *reconhecimento automático de formas características*, enquanto que o *ASU* está baseado na abordagem da utilização das *bases de formas características*. O *MEX*³⁵ é um sistema que utiliza uma abordagem semelhante à utilizada pelo *QTC*. Outros exemplos da utilização de *bases de dados orientadas por objectos* aplicadas à *Tecnologia das Características* podem ser encontrados em diversas referências^{21,37,55,73,74}.

Bond introduz um sistema orientado ao *Planeamento de Processos* em que as *formas características* são armazenadas por *bases de factos* em lugar de *bases de objectos*⁷⁵. A utilização das *bases de factos* traz o inconveniente de que a informação relativa às entidades poderá ser encontrada fisicamente dispersa na base, o que pode ser indesejável para a elaboração e manutenção do sistema computacional. Contudo, ainda que essa manipulação seja menos prática, também é uma alternativa tecnicamente viável como modo de armazenamento da informação.

Adicionalmente, deve-se ter em consideração que também a aplicação dos conceitos da *Programação Orientada por Objectos* e o modo de construção das *bases de dados orientadas por objectos* são temas complexos, admitindo diversos pontos de vista sobre a concepção específica dos *objectos* em cada *base de dados* ou sistema computacional criado. Bailey⁶⁶ menciona este problema e identifica algumas diferentes concepções encontradas. Um ponto a considerar, por exemplo, é o de que o conceito de *objectos* não é utilizado unicamente dentro da *Inteligência Artificial*, o que determina a existência de concepções mais e menos ligadas a este domínio.

Normalmente, quando as *bases de objectos* estão ligadas a aplicações na área de *Inteligência Artificial*, essas são dotadas de mecanismos para herança da informação contida nos *objectos* colocados em níveis superiores na árvore. Também existirão mecanismos de ligação dos *objectos* aos *métodos* (predicados que permitem controlar a consulta e a atribuição de conteúdos aos diversos campos descritores que compõem o *objecto*). Como os *métodos* podem accionar outros predicados, pode-se controlar também a tomada de acções específicas conforme a atribuição efectuada,

dentro de um conceito conhecido como *programação reactiva*.

A utilização de *bases de dados orientadas por objectos* e de técnicas desenvolvidas pela *Inteligência Artificial* em sistemas de apoio às actividades de engenharia está relacionada com a necessidade destes sistemas serem baseados em *conhecimento*^{76,44,73} independentemente do desenvolvimento da *Tecnologia das Características*. Isto é devido a que uma considerável parte dos processos ligados à análise do *projecto* e da *fabricação* são difíceis de formalizar e sistematizar⁵⁵, sendo o conhecimento relativo aos mesmos de natureza *heurística*¹⁵, sobre que os *sistemas periciais* são capazes de operar. Alguns trabalhos encontrados em literatura analisam diversos casos de aplicação da tecnologia dos *sistemas periciais* à *Fabricação Assistida por Computador* e ao *Planeamento de Processos*^{77,78,79,80,81}.

Esses sistemas valem-se dos diversos modos de representação do conhecimento elaborados pela *Inteligência Artificial*, existindo comercialmente muitas ferramentas destinadas ao desenvolvimento de *sistemas periciais*, em que as diversas formas de representação de conhecimento são disponibilizadas integradamente^{82,83}.

Assim, tanto a descrição de peças por *características*, como a elaboração das análises referentes ao *projecto* e à *fabricação*, podem ser apoiadas pelas diferentes formas de representação de conhecimento e informação providas pela *Inteligência Artificial*.

2.5. A utilização de metodologias de padronização aplicadas à *Tecnologia das Características*.

Um último ponto que deve ser analisado relativamente à aplicação da *Tecnologia das Características* aos sistemas de *Projecto Assistido por Computador* é o da utilização de produtos ou metodologias padrões como meio de uniformizar a construção, a operação e a transferência de dados por parte desses sistemas. Um grupo de trabalho de um subcomité do *International Standards Organization (ISO)*, denominado *Technical Committee 184*, ligado aos sistemas de *automatização industrial*, propõe a utilização de um modelo para representação da informação sobre produto num formato neutro, denominado "*Standard for Exchange of Product Data*" (*STEP*), compreendendo também a informação relacionada com as *formas características*.

Ocorre que o desenvolvimento desse *padrão para modelação* iniciou-se numa fase em que os *modeladores de características* compunham apenas um grupo de protótipos recém criados pela comunidade científica - muito antes, portanto, de ocorrer uma fase de maturação no desenvolvimento de produtos comerciais baseados na *Tecnologia das Características*. Isso contribuiu para que muitos dos requisitos funcionais para o desenvolvimento desses modeladores não fossem contemplados adequadamente no *STEP*, conforme estudo realizado por Shah⁸⁴ a respeito das possibilidades de transferência de informações entre o *ASU* (desenvolvido pela equipe desse investigador) e o *STEP*.

O principal problema apontado naquela actividade de experimentação diz respeito a que o *STEP*, naquele estágio de desenvolvimento, apesar de ser capaz de representar internamente a

informação relativa à geometria e topologia, não demonstrava a capacidade de representar uma série de outras informações contidas no *ASU* (e, provavelmente, noutros modeladores baseados na abordagem da utilização de *bases de formas características*). Um outro problema mencionado é o de que o mapeamento de *formas características* de um modelo para o outro pode conduzir à existência de situações de ambiguidade na constituição dos modelos das peças.

Quanto ao primeiro problema, foi relatada a impossibilidade de se fazer a representação de certas relações entre as *formas características* definidas pelo utilizador do *ASU*, essenciais para a representação explícita da intenção do projectista⁷². Essas relações são intrínsecas à definição da geometria da peça, pois as *formas características* de tipo volume-negativo são definidas, hierarquicamente e funcionalmente, como *subcaracterísticas* das *formas* volumétricas de tipo volume-positivo, mantendo relações expressas por formulação algébrica para com as mesmas. Essa formulação é definida pelo projectista através de uma linguagem especificamente desenvolvida para tanto. Esse mecanismo é denominado *herança de parâmetros*.

Assim, por exemplo, se o projectista desejar inscrever coaxialmente um cilindro de tipo volume-negativo noutro cilindro de tipo volume-positivo, de modo a que o primeiro cilindro constitua um furo traspassante no segundo, ele poderá construir uma expressão que determine a obrigatoriedade do comprimento do primeiro cilindro ser igual ao do segundo. Portanto, qualquer modificação no valor do comprimento do cilindro de tipo volume-positivo implica a modificação automática do valor do comprimento do cilindro do tipo volume-negativo. Relações como essa, capazes de permitirem a captura da intenção do projectista, não poderiam ser directamente representadas através do *STEP*, ainda segundo Shah, e seriam perdidas numa eventual tentativa de transferência de informações entre o *ASU* e outro modelador de *características* via utilização do *STEP*.

Há, também, outras estruturas inerentes ao *ASU* que seriam de difícil mapeamento, como o grafo que representa o posicionamento relativo das *formas*, utilizada para representar também o facto de certas *formas* serem consideradas *subcaracterísticas* de outras²⁵, isto é, *características* dependentes da prévia existência de outras.

Deste modo, constata-se que a dificuldade principal na utilização do *STEP* reside em se obter uma perfeita compatibilidade entre as estruturas do modelo a ser mapeado e a provida pelo *STEP*, acima de questões de compatibilidade de formatos de dados, que foi uma das motivações originais para a elaboração do *STEP*. Além do mais, considerou-se que a utilização de modelos que induzissem a uma eventual padronização da estrutura dos modelos poderia ser contraproducente em termos de incentivo à continuidade das investigações⁸⁴, porque o desenvolvimento da *Tecnologia das Características* parece ainda relativamente distante da maturidade.

Não obstante as dificuldades mencionadas, diversos trabalhos referentes à utilização do *STEP* como base para o desenvolvimento de modeladores de sistemas baseados em *características* são encontrados actualmente, como por exemplo o trabalho referido por Liu e Fischer^{85,86}. Deve-se ter em atenção, porém, que o *STEP* é, por princípio, aberto a revisões para aperfeiçoamento de sua estrutura e, portanto, poderá vir a constituir efectivamente uma base fiável para a descrição da informação sobre *produto*, em sua forma mais completa e abrangente.

2.6. O *Projecto Orientado à Fabricação Assistido por Computador*.

A aplicação do *Projecto Orientado à Fabricação* ao *Projecto Assistido por Computador* está intrinsecamente relacionada com o desenvolvimento de estruturas de representação da informação que sejam capazes de armazenar adequadamente a informação relativa ao *projecto* e à *fabricação* de componentes mecânicos. Contudo, o desenvolvimento das *aplicações* em *Projecto Orientado à Fabricação* também constitui em si uma questão complexa, porque uma significativa parte do conhecimento relativa a esse domínio não é de natureza determinística, exigindo a utilização de técnicas especiais de representação do conhecimento.

Assim, um dos campos que se apresenta como dos mais promissores para a aplicação dos *sistemas periciais* é o da *análise do projecto* de peças mecânicas. Shah ⁴² analisou a questão dos níveis de abstracção na representação de conhecimento nesse contexto e concluiu que os sistemas baseados em *características* adaptam-se perfeitamente ao desenvolvimento de aplicações dirigidas ao *Projecto Orientado à Fabricação*, desde que um modelo completo e consistente da descrição do *projecto* seja elaborado.

Essas aplicações supostamente devem conduzir a que o *projectista* leve em consideração o maior número possível de aspectos relacionados com a fabricação do produto desde o princípio do *projecto*. Um trabalho posterior ¹⁸ indicou como a aplicação de algumas das conclusões relativas ao *projecto* de componentes mecânicos baseada nesse princípio poderia vir a ser utilizada na sistematização do *projecto* de algumas classes de produtos (polias, molas helicoidais, engrenagens, etc.).

A análise de fabricação exposta em alguns trabalhos ^{42,48} centra-se quer na adequação sob o ponto de vista da construção mecânica, quer na análise do custo. Essa análise baseia-se em considerações sobre os seguintes pontos: o *custo total* do produto, estimado a partir do material utilizado e de um presumível custo associado aos processos utilizados; a análise do *custo da produção individual* de cada *característica*; a aplicação de regras baseadas na experiência e na prática à análise da *adequação do produto aos processos* de fabricação; a busca contínua de *sequências de operações menos custosas*.

Chao ⁸⁷ analisa as possibilidades de serem desenvolvidos sistemas baseados em conhecimento dedicados à análise em *Projecto Orientado à Fabricação* e propôs uma metodologia baseada na técnica de redução de problemas mais complexos a conjuntos de problemas mais simples. Exemplificando a aplicação da metodologia, é introduzido o sistema *DFM-Auditor*, tendo sido estudada a construção de peças exclusivamente através dos processos de fresamento e furação. Esse sistema utiliza a abordagem do reconhecimento automático de *formas características*, sendo a análise de fabricação dirigida à aplicação de regras empíricas de "*boa prática*" (visando à diminuição dos custos de fabricação). São referidas algumas questões importantes relativas à aplicação de regras do *Projecto Orientado à Fabricação* pelos *projectistas*: o problema das regras não estarem *actualizadas*, não serem *completas*, ou, simplesmente, não estarem *disponíveis*, o problema das regras não virem a ser aplicadas pelos *projectistas* ou de serem mal *interpretadas*.

Existem, ainda, trabalhos dirigidos à análise de fabricação de peças que consideram

domínios ou aspectos específicos de processos tecnológicos. Plummer introduz uma metodologia de projecto para peças torneáveis ⁴³, implementada no sistema *Shapes*. Presume-se que a utilização dessa metodologia seja capaz de eliminar significativamente problemas na fabricação das peças. Essa metodologia supõe que o projectista somente pode contar, desde o princípio do projecto, com os recursos efectivamente oferecidos pelo ambiente industrial em que as peças serão construídas, considerando a disponibilidade de máquinas e ferramentas. O universo de *formas características* a que os projectistas podem recorrer é restrito (utiliza-se *bases fixas de formas características*).

Um outro trabalho, apresentado por You ⁵⁷, introduz o sistema *EXCAST*, que faz a análise do projecto de peças para fundição, restrito a componentes axissimétricos. Também utiliza a abordagem das *bases fixas de formas características*, e é apoiado por técnicas de *Inteligência Artificial*.

A partir de princípios de 1994, a *Hewlett-Packard* passou a oferecer um sistema pericial para análise da fabricação de *chapas* executável sobre a plataforma de um sistema próprio para *Projecto Assistido por Computador* denominado *Precision Engineering / Solidesigner*. Esse sistema pericial é denominado *Sheet Metal Advisor*.

Há, ainda, alguns outros temas relacionados com o projecto de peças mecânicas que também podem ser apoiados por técnicas de *Inteligência Artificial* ou pela *Tecnologia das Características*, como as análises sobre montagem de componentes e sobre tolerâncias de fabricação (dimensionais e geométricas). A análise relativa às tolerâncias está relacionada com a representação das peças através da *Tecnologia das Características* na medida em que as tolerâncias podem ser consideradas *características* da peça. Analogamente, os ajustes de montagens também serão considerados *características* das montagens de componentes mecânicos. Para que a análise relativa às tolerâncias de fabricação e ajustes de montagens possa ser efectuada, é necessário que a informação inerente a essas entidades também esteja disponível de maneira adequada no modelo de informação geométrica da peça para permitir a manipulação pelos procedimentos de análise ^{63,88}.

O problema da recuperação da informação relativa a tolerâncias nos modeladores geométricos diz respeito ao próprio modo de representação dessa informação, uma vez que esta não é normalmente suportada em modeladores de superfície ou de volumes. A utilização do método da *Geometria Variacional* constitui uma tentativa de adaptar esses modeladores à representação da informação sobre tolerâncias dimensionais ⁸⁹, permitindo associar a representação das tolerâncias relativas às dimensões ao modelo geométrico da peça. Esse método também é utilizado para o cálculo das cadeias de tolerâncias existentes na peça ⁴⁰.

Contudo, a utilização do método da *Geometria Variacional* não contempla o problema da representação adequada das tolerâncias geométricas ⁹⁰. Um trabalho significativo no campo da representação de tolerâncias geométricas em modelos baseados na utilização de *bases fixas de formas características* ⁹¹ baseia-se na representação dessas sobre uma *base de dados orientada por objectos*. Outros trabalhos, como os de Ranyak ⁸⁸, Roy ⁹² e Weill ⁹³, também baseiam-se na associação de *bases de dados* convencionais, contendo a informação relativa às tolerâncias geométricas, a modeladores geométricos baseados no método da *Geometria Construtiva de Sólidos*.

Todos esses métodos e trabalhos evidenciam a preocupação relativa à incorporação da informação sobre *tolerâncias* aos modelos geométricos das peças. Porém, a consideração da análise

sobre tolerâncias nos sistemas de *Projecto Assistido por Computador* envolve ainda outras questões. Truslove⁹⁴ concluiu que a análise sobre tolerâncias deve ser realizada, tanto quanto possível, durante cada etapa do projecto da peça. Assim, os efeitos relativos às definições das mesmas podem ser avaliados progressivamente, e não apenas no estágio de definição das operações de fabricação, quando inconsistências originadas pela existência de definições imperfeitas das tolerâncias poderão exigir modificações custosas ou difíceis de executar no projecto.

A análise sobre montagens de componentes é outro tema fundamental na avaliação da qualidade do projecto, devendo o projecto de cada componente levar em consideração a optimização da montagem. Para tanto, é necessário que os modeladores de *características* destinados a servir de suporte à análise do projecto também contemplem a inclusão da informação necessária à análise de montagens.

Sturges⁹⁵ analisou esse tema, descrevendo a concepção e o desenvolvimento de um sistema baseado em *características* (IDAERS) para análise de componentes face à montagem. Esse sistema é capaz de recomendar modificações no projecto de cada componente. É realçada a necessidade da criação de um modelo unificado para a representação das relações existentes entre os componentes, sob os pontos de vista geométrico, topológico e funcional. Uma proposta semelhante é apresentada por Lin⁹⁶, tendo sido descrita a hierarquização da organização de peças discretas, sub-montagens e montagens numa estrutura de árvore, indicando, contudo, estar o trabalho ainda numa fase de desenvolvimento conceptual.

Kroll⁵⁵ apresenta um sistema baseado em *características* implementado sobre uma *base de objectos*, em que as relações funcionais entre os componentes são o ponto básico da análise, que visa à simplificação da montagem através da aplicação de regras baseadas em conhecimento¹⁰. Uma aplicação dessas regras visa diminuir o número de componentes da montagem, e é utilizada a *abordagem do quadro-negro* (em Inglês, "blackboard") como modo de hierarquizar o nível de aplicação das regras de conhecimento, por ser compatível com a complexidade da análise a ser efectuada⁷¹.

Faux analisa o problema da montagem tomando como ponto de partida a análise das dimensões e tolerâncias existentes num projecto⁶³. É abordada a questão da escolha do tipo de *características* a serem consideradas em modeladores dedicados à análise de montagens, concluindo-se ser necessário que esse deva ser capaz de identificar todas as superfícies das peças, a fim de ser possível a aplicação de normas relativas à definição de tolerâncias geométricas na análise (como a ANSI Y14.5).

Rimscha⁹⁷ afirma que, se as peças discretas podem ser vistas como uma colecção de *formas características* e as montagens como conjuntos de peças discretas, talvez seja possível aplicar parte do raciocínio destinado à modelação do agrupamento de *formas características* numa peça discreta à modelação de montagens, obtendo-se uma análise unificada.

Finalmente, observe-se que existem sistemas computacionais de *Projecto Assistido por Computador* que proporcionam um nível consideravelmente mais elementar de auxílio ao projectista, através da apresentação de mensagens com recomendações e directrizes gerais para o projecto. Contudo, esses sistemas não efectuam qualquer espécie de análise sobre algum modelo da peça, estando as mensagens à disposição do utilizador de uma maneira passiva.

2.7. Análise do estado da arte face aos objectivos propostos pela investigação.

A exposição sobre o *estado da arte* efectuada ao longo deste capítulo visou ao levantamento sobre trabalhos, metodologias e técnicas utilizados na construção de aplicações orientadas ao *Projecto Orientado à Fabricação* relacionados com o *Projecto Assistido por Computador*. Verificou-se a existência de alguns trabalhos nesse âmbito, orientados a domínios específicos de processos tecnológicos de fabricação - como os trabalhos descritos por Plummer⁴³ (sobre torneamento) e You⁵⁷ (sobre fundição de peças axissimétricas). Alguns trabalhos^{87,55} chegam a propor metodologias gerais para a construção de aplicações, basicamente propondo a estratificação de problemas muito complexos, reduzindo-os a conjuntos de problemas de tratamento mais simples.

Constatou-se que as abordagens utilizadas dentro do *Projecto Orientado à Fabricação* baseiam-se na aplicação de regras empíricas (ditas de "boa prática") à verificação da qualidade do produto face à utilização de determinados processos de fabricação, como à diminuição dos custos de fabricação⁴². Outros trabalhos descritos em literatura^{87,43,57} também estão compreendidos nesta perspectiva. De uma forma geral, os trabalhos relacionados com o *Projecto Orientado à Fabricação* relacionados com o *Projecto Assistido por Computador* estão restritos à tentativa de aplicação das *Recomendações para Projecto Orientado à Fabricação*.

A análise do *estado da arte* relativa aos sistemas de *Projecto Assistido por Computador*, demonstrou que as possibilidades de aplicação desses sistemas na implementação de metodologias em *Projecto Orientado à Fabricação* estão estreitamente relacionadas com a utilização da *Tecnologia das Características*. Isto é devido a que a informação presente nos modeladores geométricos utilizados pelos sistemas de *Projecto Assistido por Computador* actualmente disponíveis é armazenada de maneira inadequada para o suporte das análises a serem desenvolvidas, porque o nível de abstracção utilizado na descrição da peça é demasiadamente baixo face ao requerido para a análise de projecto.

Um outro problema que se verifica nos sistemas de *Projecto Assistido por Computador* é o de que o modo como a informação é armazenada não permite a sua recuperação de uma maneira simples e directa. Consequentemente a disponibilização da informação contida no projecto para a utilização em procedimentos de análise do mesmo torna-se mais complicada - e eventualmente impossível.

A maior parte dos trabalhos analisados referentes à investigação relacionada com o desenvolvimento de aplicações sobre sistemas de *Projecto Assistido por Computador* diz respeito à aplicação da *Tecnologia das Características* à solução de problemas na área do *Planeamento de Processos*. Isto se deve à estreita relação entre esse domínio e a *Fabricação Assistida por Computador*, sendo o desenvolvimento de ferramentas directamente utilizáveis na automatização da fabricação objecto de preocupação mais imediata no ambiente industrial. Assim, observa-se que o desenvolvimento de sistemas computacionais de utilização no *Projecto Orientado à Fabricação* tem sido objecto de investigação relativamente menos intensificada. Consta-se que a melhoria da qualidade do projecto obtida através da utilização de sistemas computacionais tem sido equivocadamente posta em plano secundário, portanto.

A fim de permitir a criação de um ambiente para a elaboração do projecto que efectivamente permita efectuar a análise ao longo do seu desenvolvimento, é necessário viabilizar a aplicação das diversas metodologias existentes no âmbito do *Projecto Orientado à Fabricação* integradamente. Para tanto, é necessário existir uma estrutura de representação da informação que descreva adequadamente todos os elementos básicos existentes nas actividades do *projecto* e da *fabricação* a serem considerados. Portanto, pelo menos os seguintes elementos devem estar presentes na análise do *projecto*: a *geometria* e a *topologia* da peça mecânica, e os *materiais*, os *processos tecnológicos*, as *máquinas* e as *ferramentas* utilizadas na sua construção.

Desta forma, pretendendo-se construir sistemas computacionais dirigidos ao *Projecto Orientado à Fabricação* que ofereçam a maior gama possível de abordagens relativas a esse, deve-se prover modelos de representação da informação capazes de suportar todos os elementos necessários à análise do *projecto* convenientemente. Contudo, constata-se que os trabalhos existentes centram-se unicamente na questão da representação adequada da *peça mecânica*, possivelmente por ser este o elemento de representação mais complexa, exigindo um tratamento mais apurado.

Neste trabalho, pretende-se estudar a elaboração de um modelo de representação da informação mais completo, que permita abranger todos os elementos a serem utilizados nas análises a serem desenvolvidas em *Projecto Orientado à Fabricação*. Este modelo estará baseado na *Tecnologia das Características* e permitirá a construção de uma base especificamente organizada para o desenvolvimento das diversas aplicações. A inexistência de uma base com tais características determinaria que as aplicações a serem desenvolvidas estivessem restritas a domínios demasiado específicos como ocorre nos trabalhos examinados.

Relativamente à elaboração de modelos geométricos das peças baseados na *Tecnologia das Características*, constata-se que a abordagem do reconhecimento automático de *formas características* apresenta o grave inconveniente de que todas as técnicas utilizadas aplicam-se somente a certas classes de *formas*. Esta abordagem não se mostrou eficaz no desenvolvimento de modelos geométricos para utilização em aplicações complexas como o *Planeamento de Processos*, e o mesmo certamente sucederia com relação ao *Projecto Orientado à Fabricação*.

Assim, a abordagem da utilização das *bases de formas características* parece ser a mais indicada para a representação do modelo geométrico da peça, apesar de os modelos examinados apresentarem alguns inconvenientes, que serão abordados nesta pesquisa.

Um dos problemas diz respeito à representação de peças que possuam *formas características* de tipo *explícito*. Nenhum dos trabalhos examinados propõe mecanismos que efectivamente permitam a incorporação de *formas* dessa classe aos modelos das peças. Do mesmo modo, não se examina a possibilidade de se extrair alguma informação geométrica relativamente às *formas*. Adicionalmente, há que se considerar o problema da representação adequada dessas *formas* na descrição do modelo geométrico da peça. Foi sugerido por Young⁹⁸ que a representação dessas *formas* é inviável em modeladores geométricos baseados na abordagem de utilização das *bases de formas características*.

Da mesma maneira, a representação da topologia das peças nos diversos modelos não traz a descrição da posição relativa das *formas* em modo eficazmente explícito; exigindo a execução da

análise do modelo para se estabelecer as relações entre as *formas*. Esta análise pode vir a ser excessivamente extensa e complexa, o que prejudicaria a utilização do sistema computacional.

Há também o problema das interacções geométricas entre as *formas*, citado na literatura, mas ao qual não se apresentam soluções efectivamente implementadas, à excepção do mecanismo de *herança de parâmetros* introduzido no modelador denominado *ASU*. Esse mecanismo determina, porém, que a incorporação de cada *forma característica* do tipo volume-negativo ao modelo da peça exija a definição de um conjunto de expressões que estabeleça as relações geométricas entre as *formas* (sem isso, o modelo da peça torna-se inconsistente). Este procedimento não parece se coadunar com a perspectiva de fazer que a utilização do sistema computacional aproxime-se ao máximo da actuação normal do projectista. Neste trabalho, procurar-se-á estabelecer um mecanismo capaz de representar as relações entre os parâmetros dimensionais das *formas características* que não apresente o inconveniente acima referido.

Neste trabalho será utilizada a técnica de *síntese de volumes elementares* dentro da abordagem da utilização de *bases de formas características*, porque a técnica da *modelação destrutiva* restringe-se a domínios de utilização específicos, e esta investigação procurará obter um modelo mais geral de representação de peças mecânicas, aplicável ao *Projecto Orientado à Fabricação*. Um problema que surge com a utilização dessa técnica é o de se obter a representação adequada das dimensões e tolerâncias dimensionais *entre* diferentes *formas características* se o projectista desejar representá-las explicitamente. Evidentemente, as dimensões podem ser calculadas a partir do modelo geométrico da peça, considerando as *cadeias de dimensões* existentes entre as *formas características*. Porém, o que se procura é a representação explícita de dimensões significativas para a construção e utilização da peça. Este problema não é mencionado em literatura, e não há menção de que tenha sido tratado nos modeladores cuja descrição foi examinada.

Por outro lado, o problema das intersecções entre os volumes representados pelas *formas características*, que é citado em literatura, também não parece estar ainda convenientemente tratado. A sua importância reside em que a degradação do significado associado a uma *forma* compromete a própria descrição da peça através da *Tecnologia das Características*. Assim, o modelo geométrico da peça a ser concebido deverá procurar minimizar os problemas resultantes das intersecções entre as *formas características* de maneira a procurar preservar, tanto quanto possível, o significado das mesmas, mas sem restringir excessivamente a obtenção de peças de formas resultantes de intersecções *entre formas características*.

O protótipo de sistema computacional a ser implementado com base no modelo de representação da informação a ser introduzido prevê que a descrição dos componentes mecânicos seja realizada por dois modos de representação da informação: o gráfico e o textual. No contexto deste trabalho, a ênfase residirá no estudo e descrição do modo textual, pois é a partir deste que as aplicações relacionadas com o *Projecto Orientado à Fabricação* são desenvolvidas. Este facto deve-se a que a extensão e a complexidade do trabalho, ainda que restrito à representação da informação em modo textual, podem ser consideradas suficientes para concentrarem os esforços e os objectivos desta investigação.

Com relação ao modo gráfico, este trabalho definirá os conceitos e requisitos básicos que

deverão ser seguidos na elaboração do mesmo, não se abordando temas ligados à visualização gráfica das peças, funcionamento de interfaces gráficas ou aspectos de representação interna de dados. A utilização de produtos ou metodologias dirigidos à padronização da construção de *formas características* (como o *STEP*) foi descartada, em função das desvantagens apontadas anteriormente.

2.7.1. Tópicos a abordar na investigação.

No levantamento realizado, constatou-se a inexistência de aplicações que agreguem diferentes abordagens em *Projecto Orientado à Fabricação* num único ambiente computacional. Assim, procedeu-se a uma análise procurando definir quais abordagens seriam de maior utilidade para o desenvolvimento de um sistema para *Projecto Assistido por Computador* destinado a incorporar a análise em *Projecto Orientado à Fabricação*. Este estudo revelou que fundamentalmente os seguintes tópicos deveriam estar presentes: a *Tecnologia de Grupo* e as *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*. Isto porque, entre os diversos temas que poderiam ser abordados, estes dois e o *Projecto Orientado à Montagem* são aqueles que mantêm vínculo mais directo com a perspectiva de aplicação aos sistemas de *Projecto Assistido por Computador*. Esse último tópico, porém, é um assunto demasiadamente complexo para ser inteiramente considerado no contexto deste trabalho.

Observe-se que a escolha desses tópicos para abordagem na investigação permitirá que o sistema computacional cuja concepção estará sendo analisada possa abranger tanto a elaboração de projectos baseados noutros anteriormente realizados, como a criação de projectos inteiramente novos. No primeiro caso, o projectista poderá recorrer aos procedimentos de recuperação de projectos armazenados numa base de dados por similaridade, baseado na aplicação da *Tecnologia de Grupo*. Nessa hipótese, o projectista poderá reavaliar o plano de fabricação definido para a peça recorrendo aos procedimentos de *Seleção de Processos* a serem introduzidos. No segundo caso, a utilização desses procedimentos será efectuada como uma primeira aproximação à obtenção do plano de processos a ser estabelecido para a peça. Em qualquer dos casos, a aplicação das *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação* à análise da peça permitirá a avaliação de suas especificações em relação ao seu processo de fabricação.

De qualquer forma, acredita-se que a estrutura de informação a ser introduzida seja uma base aceitável para se efectuarem estudos ligados ao desenvolvimento de uma aplicação em *Projecto Orientado à Montagem*. Os demais temas relacionados com o *Projecto Orientado à Fabricação* seriam de interesse em investigações ligadas a estudos de natureza económica (*Método da Análise de Valor*), do desenvolvimento conceptual do projecto (*Teoria Axiomática do Projecto*, *métodos de Sistematização do Projecto*, *Método de Taguchi*), ou estão relacionados com as análises que conduzem à elaboração das *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação* (*Método da Análise dos Modos de Falha e Análise de Defeitos e Directrizes para Projecto Orientado à Fabricação*).

O desenvolvimento de uma aplicação relacionada com a *Tecnologia de Grupo* está

relacionado com a descrição e representação da peça a partir das *características* presentes na mesma. A representação através de códigos de natureza pouco flexíveis é um factor limitante da utilização desta tecnologia. Considerando esses aspectos, procurar-se-á desenvolver uma aplicação em *Tecnologia de Grupo* que seja mais flexível e que tire partido dos modelos de representação geométrica da peça e de informação elaborados. Isto determinará que a classificação das *formas características* venha a ser especificamente dirigida à classificação da peça.

Relativamente às *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*, não será tratada de modo especial a adequação do produto à fabricação sob o ponto de vista *económico*. Este enfoque somente se verificará implicitamente ou circunstancialmente, uma vez que a redução dos custos ocorre frequentemente pela criação de um projecto mais optimizado sob o ponto de vista da construção mecânica. Procurar-se-á abordar aspectos significativamente relacionados com essa abordagem, como, por exemplo, a questão da escolha de valores aceitáveis para as tolerâncias e a selecção adequada de materiais.

Não se pode ignorar a importância da geração dos planos de processos na ligação entre o *projecto* e a *fabricação*, mesmo porque a análise efectuada pelas *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação* considera que os processos a serem utilizados na fabricação da peça são conhecidos já à partida. Assim sendo, e tendo em conta que eventualmente os projectistas enfrentam alguma dificuldade na percepção quanto aos processos de fabricação a serem aplicados às peças, considerou-se conveniente incorporar uma aplicação voltada à *Seleccção de Processos* tecnológicos de construção. Esta questão não foi abordada nessa perspectiva em nenhum dos trabalhos examinados.

A *Seleccção de Processos* é um tema abordado nos sistemas computacionais dirigidos à geração automática de planos de processos. Constatou-se que os trabalhos examinados não contemplam a selecção de alternativas diversas de processos para uma dada *forma* analisada. Neste trabalho, este ponto será abordado, sendo que a *Seleccção de Processos* constituirá uma terceira aplicação fundamental do modelo de representação da informação a ser introduzido.

Observe-se que a perspectiva de utilização de um sistema computacional dirigido ao *Projecto Orientado à Fabricação Assistido por Computador* supõe que este seja utilizado pelo projectista (e não pelo engenheiro de processos), ao longo do desenvolvimento do projecto. Por isso, não se pretende elaborar uma aplicação dedicada à geração de planos de processos completos, mas, sim, incluir um instrumento que permita ao projectista obter uma primeira aproximação às possibilidades de utilização de processos tecnológicos na construção da peça, considerando fundamentalmente as *formas características* existentes na mesma. A demonstração dessa aplicação restringir-se-á aos processos de maquinação, valendo-se de que os processos dessa classe produzem as *formas características* passo a passo, tornando mais evidente a existência de uma relação entre os processos utilizados e as *formas* produzidas ⁴².

As relações entre o *projecto*, o *Planeamento de Processos*, o *Projecto Orientado à Fabricação* e a *fabricação*, conforme entendidas no contexto deste trabalho, podem ser esquematizadas através de um diagrama de fluxo de informações (figura 2.16), onde evidencia-se que tanto o *Planeamento de Processos*, como o *Projecto Orientado à Fabricação* devem ser considerados elos entre o *projecto* e a *fabricação*. O *projecto* fornece as informações a serem manipuladas pelo

Planeamento de Processos, cuja primeira etapa é a da *Seleção de Processos* tecnológicos, em conformidade com as *características* encontradas na peça. O *Planeamento de Processos* transforma a informação existente no *projecto* em instruções de fabricação, enquanto que a escolha dos processos a serem utilizados permite que a análise em *Projecto Orientado à Fabricação* possa ser executada. Parte da análise em *Projecto Orientado à Fabricação* é obtida pela utilização do conhecimento estabelecido pelas *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*, que, por seu turno, baseiam-se em informações extraídas da análise da fabricação dos componentes. A aplicação das *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação* constitui uma base para a análise do projecto a ser efectuada pelo engenheiro.

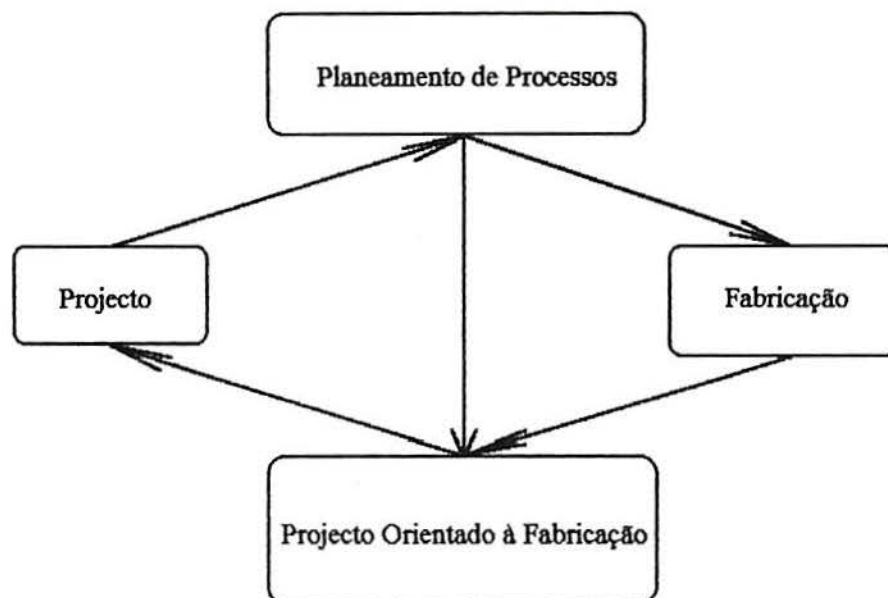


Figura 2.16 - Fluxo de informações entre áreas relacionadas com o *projecto* e a *fabricação*.

Deve-se enfatizar, ainda, que este trabalho está baseado na perspectiva de unicamente vir a prestar auxílio à tomada de decisões por parte do projectista, estando as aplicações a serem desenvolvidas sobre o modelo de representação da informação baseadas nesta filosofia. Portanto, toda e qualquer indicação a ser prestada ao projectista deverá ser apresentada na forma de avisos e recomendações, não se prevendo que a interferência na actividade do projectista possa ocorrer de forma impositiva ou automática por parte de sistemas computacionais. A responsabilidade pelas decisões finais caberá sempre ao projectista, mas as sugestões serão efectuadas de forma activa pelo sistema, sempre que solicitado a realizar a análise da informação armazenada pelo modelo referente ao projecto da peça mecânica.

A implementação a ser efectuada procurará tirar partido das técnicas de representação do conhecimento disponibilizadas pela *Inteligência Artificial*, tanto no desenvolvimento das aplicações relacionadas com a *Tecnologia de Grupo*, a *Seleção de Processos* e as *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*, como na estruturação do modelo de representação da informação a ser utilizado. Essas técnicas são essenciais para o desenvolvimento da análise a ser efectuada no âmbito do

Projecto Orientado à Fabricação Assistido por Computador, devido à natureza heurística de substancial parcela do conhecimento a ser utilizado, e à necessidade de obtenção de níveis superiores de abstracção na concepção da estrutura de informação necessária.

Note-se que o principal objectivo deste trabalho é demonstrar a exequibilidade da construção de um sistema computacional dedicado à aplicação do *Projecto Orientado à Fabricação ao Projecto Assistido por Computador*. Assim, a consecução deste objectivo exigirá a elaboração de um modelo de representação da informação capaz de suportar o conjunto de elementos (peças, materiais, processos tecnológicos e máquinas) a serem utilizados na elaboração das aplicações a serem desenvolvidas sobre o modelo. Este está baseado na *Tecnologia das Características* e será implementado com o concurso das técnicas de representação de conhecimento providas pela *Inteligência Artificial*. Será analisada em pormenores a representação das peças (componentes mecânicos). O experimento a ser realizado consistirá na implementação e demonstração de possibilidades de utilização de um protótipo de sistema computacional que confirme a consistência da abordagem proposta.

A validação do modelo de representação da informação será executada através da implementação de aplicações relacionadas com a *Tecnologia de Grupo*, a *Seleção de Processos* e as *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação* analisando-se os seguintes aspectos:

- a) a adequação do modelo de representação de peças mecânicas com respeito ao armazenamento das informações relativas às especificações de projecto;
- b) a adequação do modelo de representação da informação à elaboração de aplicações relacionadas com o *Projecto Orientado à Fabricação*;
- c) a adequação da aplicação de técnicas de *Inteligência Artificial* à implementação do modelo e à elaboração de procedimentos relacionados com o *Projecto Orientado à Fabricação*.

O primeiro ponto consiste numa aplicação directa do modelo de descrição de peças baseado na utilização das *formas características*, enquanto que os demais são dependentes também da elaboração de estudos específicos nos domínios a que são dirigidas as aplicações, bem como da escolha adequada das formas de representação do conhecimento a serem utilizadas.

Como resultado mais concreto nesta investigação, é esperada a obtenção de um modelo de representação da informação que seja aplicável aos tópicos seleccionados no âmbito do *Projecto Orientado à Fabricação*, em que serão propostas alternativas às limitações apontadas nos trabalhos correlacionados examinados.

A fim de ser possível implementar um protótipo computacional que permitisse verificar a validade da abordagem elaborada, procedeu-se à análise dos modos de representação de conhecimento existentes ⁷¹ e a sua presumível aplicabilidade ao estudo dos problemas levantados. Definidos os requisitos fundamentais a serem exigidos de um ambiente apropriado para a implementação do protótipo, foi escolhida uma ferramenta considerada compatível com as necessidades de realização do experimento, com base na informação constante em literatura ^{82,83} e em alguma experiência previamente acumulada quanto à utilização desse tipo de sistema computacional de apoio à elaboração de *sistemas periciais*.

Capítulo 3

3. Descrição do *Modelo de Representação da Informação*.

3.1. Introdução à descrição do modelo de representação da informação.

A experimentação elaborada para a validação de conceitos (conforme os objectivos estabelecidos no Capítulo 2, tópico 2.7.1) condicionou o desenvolvimento do modelo de representação da informação a ser introduzido neste capítulo. Esse modelo baseia-se na descrição da peça mecânica através da utilização da *Tecnologia das Características*, sendo estruturado com a representação de diversas entidades numa *base de dados orientada por objectos*. Adoptou-se uma definição para o termo *característica* semelhante às utilizadas por Henderson, Luby e Shah, conforme exposição efectuada no Capítulo 2, tópico 2.2. Assim, fundamentalmente, considerar-se-á *característica* qualquer fragmento de informação significativo para a definição ou para a descrição de actividades inerentes ao *projecto* ou à *fabricação* de peças mecânicas.

Assim, em termos de *projecto mecânico*, incluem-se nessa definição tanto as *especificações de engenharia* quanto as *formas tipicamente* reconhecíveis em peças mecânicas. Refira-se também que o modelo está baseado nos princípios introduzidos pelo *Projecto Paramétrico*, isto é, todas as *características* devem ser parametrizáveis. Em termos das *formas características*, isso implica a atribuição de valores aos campos que compõem a sua descrição em termos geométricos, e, para as demais classes de *características*, implica genericamente a atribuição de qualificadores aos campos descritores.

Esse conceito de *característica* estende a definição do termo, normalmente associada unicamente à descrição de peças mecânicas, a todos os entes considerados relevantes para a análise da produção de peças mecânicas, como os processos tecnológicos, máquinas ou materiais de construção. A informação relevante inerente a esses entes é seleccionada de acordo com o contexto das diferentes *aplicações* a serem elaboradas. Essa informação será organizada e representada através de um *modelo de entidades*, que constituirão imagens da informação descritiva dos referidos entes. As entidades corresponderão aos *objectos* na *base de objectos*. Assim, o conteúdo de um *objecto* - ou, eventualmente, apenas parte dele - representará uma *característica*.

Os entes presentes no modelo foram objecto de selecção baseada nos requisitos para as *aplicações* em *Projecto Assistido por Computador*, *Tecnologia de Grupo*, *Seleção de Processos* e *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*. Portanto, a escolha e a descrição das *características* e das entidades a serem representadas nos modelos são basicamente orientadas pelo contexto das *aplicações* a serem desenvolvidas. Esta análise revelou que o modelo deveria contemplar, de alguma maneira, a descrição e a representação dos seguintes entes: *especificações de produto* (incluindo a *geometria das peças*), *materiais*, *processos tecnológicos* e *máquinas* de construção. Observe-se que a geometria das peças mecânicas é uma informação utilizada por todas as *aplicações* e a sua representação é a mais complexa. A utilização de todos os entes citados será mostrada ao longo da exposição relacionada com a utilização do modelo na análise em *Projecto Orientado à Fabricação* (ver capítulos 4 e 5).

Assim, de modo a corresponderem aos entes considerados nas *aplicações* do modelo, foram representados quatro grupos de entidades, denominadas respectivamente *informação sobre especificação de produto*, *informação sobre material de construção*, *informação sobre máquina de construção* e *informação sobre processo tecnológico*. Formalmente, todas estas entidades podem ser consideradas descendentes de uma entidade superior denominada *informação para análise do projecto*, embora isso não venha a afectar a elaboração do modelo de representação da informação e o desenvolvimento de suas *aplicações*.

Deve-se também analisar alguns aspectos relativos à implementação computacional do *modelo de entidades* e as implicações para a sua constituição. Este modelo foi concebido baseado na implementação através da utilização de *bases de conhecimento*, em que as entidades estão presentes numa *base de dados orientada por objectos*. Os *objectos* estão organizados numa *estrutura em árvore*, actuando mecanismos de herança dos conteúdos descritivos baseados nas *relações de descendência*. A estrutura e a composição da árvore de *objectos* podem ser examinadas consultando-se o Apêndice C.

Assim, um *objecto* colocado em posição inferior na árvore de *objectos* herda toda a informação contida em *objectos* de que seja descendente, vindo a possuir todos os campos descritores e os métodos associados a estes, bem como os conteúdos atribuídos aos campos - a menos que redefinidos localmente. A *relação de descendência* implica que um *objecto* constitua uma superclasse em relação aos seus descendentes. Observe-se que uma explanação mais completa sobre esses conceitos é apresentada no Apêndice A.

Uma vantagem relacionada com a utilização do mecanismo de herança de conteúdos nas *base de dados orientadas por objectos* reside em que os campos descritores comuns a *objectos* situados em níveis inferiores da árvore podem ser definidos uma única vez em *objectos* colocados em níveis superiores, evitando a repetição na declaração e armazenamento de conteúdos. Isto induz a que sejam definidos *objectos* intermediários entre a raiz da árvore e seus nós-folhas, conforme se imponha o compartilhamento de informação por grupos de *objectos*.

Ao serem criadas entidades intermediárias na árvore, estará sendo elaborada simultaneamente uma classificação sistemática dos *objectos*. Tenha-se em conta que a *relação de descendência* utilizada pela *base de objectos* determina que um *objecto* descendente seja um caso particular de seus ascendentes. Observe-se que essas noções aproximam-se do que é pretendido pela *Tecnologia de Grupo* como princípio geral (nos casos de classificação hierárquica), tendo sido utilizadas no desenvolvimento da investigação relativa à esse tema (introduzida no Capítulo 4).

Observe-se ainda que a *relação de descendência* (parentesco), que é uma das componentes fundamentais da *base de dados orientada por objectos*, também determina a existência de uma classificação intrínseca dos elementos presentes na árvore de *objectos*, pois cada *objecto* tem de ser um exemplo ou caso particular daquele de que descende.

Por outro lado, pode-se utilizar essa classificação também para a elaboração de regras que atinjam todo o grupo de *objectos* que sejam descendentes de uma entidade a que as regras sejam especificamente dirigidas. Considere-se também que, num conjunto relativamente grande de *objectos* situados ao nível dos nós-folhas, a procura de um *objecto* para fins de manipulação por parte do

utilizador pode ser facilitada se esses estiverem arranjados numa estrutura adequadamente classificada e estratificada. Por essas razões, as entidades a serem descritas no modelo estarão arranjadas de maneira classificada.

3.2. A utilização das *formas características* no modelo de representação da geometria de peças mecânicas.

Uma questão central a ser considerada para a perfeita compreensão do modelo de informação é a da representação da geometria das peças mecânicas através da *Tecnologia das Características*. A abordagem adoptada é a da *síntese de volumes elementares*, e, portanto, as peças mecânicas deverão ser representadas como um conjunto de formas volumétricas elementares espacialmente aglutinadas segundo critérios a serem estabelecidos.

Na concepção do modelo, as peças mecânicas serão subdivididas em *peças discretas* (componentes mecânicos) e *agregados de peças discretas* (montagens de componentes). Serão consideradas *peças discretas* aquelas obtidas a partir de uma única porção inicial de material de construção. Essa classe de peças é descrita unicamente como um conjunto de formas volumétricas associadas. As *montagens de peças discretas* são conjuntos funcionalmente agrupados de *peças discretas*, subdividindo-se em *peças compostas* e *agregados de peças discretas*.

As *peças compostas* são formadas pela união física de *peças discretas* em carácter permanente. Essa união é obtida por processos tecnológicos de natureza essencialmente físico-química, determinando a junção superficial - como, por exemplo, através de soldadura ou colagem. Nestes processos, em princípio, não é presumível a separação das *peças discretas* unidas. Os *agregados de peças discretas* correspondem a montagens de carácter reversível de *peças discretas* (componentes mecânicos). Nessa classe de peças, não ocorre *união física* permanente entre as *peças discretas*.

A subdivisão das peças mecânicas em *peças discretas*, *peças compostas* e *agregados de peças discretas* está intimamente relacionada com os processos de fabricação das mesmas. As *peças discretas* são obtidas por processos de *geração da forma* a partir de blocos iniciais de material (por processos de *maquinação*, *enformação* ou *fundição*). Por seu turno, as *peças compostas* e os *agregados de peças discretas* são obtidos por *processos de montagem*. Doravante, os processos de montagens relacionados com a obtenção dessas peças serão respectivamente denominados processos de *junção permanente* e de *junção não-permanente* (para cada uma das classes).

Essa classificação também está relacionada com o comportamento das peças quanto à sua *unidade e individualidade física*. Observe-se que as *peças discretas* e as *peças compostas* têm a propriedade de serem componentes mecânicos, ao passo que os *agregados de peças discretas* são constituídos por conjuntos dos componentes. Observe-se também que os componentes do *agregado* podem inclusivamente apresentar movimentos relativos entre si (mesmo como requisito funcional).

Essas diferentes considerações, relativas aos *processos de fabricação* e à *unicidade física*,

são fundamentais para a *análise da fabricação* ou da *funcionalidade* das peças mecânicas e foram representadas no modelo por serem necessárias ao desenvolvimento das *aplicações* relacionadas com o *Projecto Orientado à Fabricação*.

Observe-se, porém, que os *agrupamentos de peças discretas* também são constituídos por colecções de *formas características* em última análise, por serem compostos por conjuntos de *peças discretas*, que são agrupamentos das *formas*. Portanto, com as definições adoptadas, obtém-se uma convenção formalmente unificada para a representação de todas as classes de peças mecânicas *baseada na utilização das formas características*. Assim, todas as classes de peças existentes no modelo são constituídas por *formas características*, ao mesmo tempo em que são modeladas e preservadas as suas características físicas relacionadas com a construção e com a funcionalidade.

As *formas características* são essencialmente elementos volumétricos em que cada uma das superfícies componentes está univocamente identificada, sendo possível referenciá-las. As *formas características* estão assim classificadas neste modelo quanto ao *tipo*: *formas* de tipo *volume-positivo* e *volume-negativo*, conforme as definições expostas no Capítulo 2. Algumas das *formas* a representar estarão vinculadas a um ou outro *tipo*, especialmente aquelas de definição associada ao seu significado em termos de *projecto mecânico*. Assim, furos e entalhes serão sempre *formas* de tipo *volume-negativo*, enquanto que saliências e estrias serão de *tipo* *volume-positivo*. Há também *formas* a que se associam o *tipo* no acto da criação, pois esse não está intrinsecamente definido, como é o caso das figuras geométricas (cilindros, cones, paralelepípedos).

A criação de *formas características* pode ser feita de duas maneiras: pela instanciação de uma *forma* já existente numa *base de formas características*, o que é feito através da reprodução do conteúdo da *forma-arquétipo*, seguido da introdução de parâmetros; ou pela construção de uma *forma* não pré-definida na *base*, através de procedimentos específicos para tanto. As definições das configurações geométricas de algumas das *formas* incluídas na *base de formas características* utilizada na elaboração desta investigação podem ser encontradas no Apêndice B.

Também de acordo com o exposto no Capítulo 2, pode-se referir que as *formas características* podem ocorrer na forma *implícita* ou *explícita*. As *formas implícitas* encontram-se pré-definidas na *base de dados* e são criadas simplesmente e unicamente pela parametrização desta definição canónica, gerando-se um novo *objecto* que irá conter esses parâmetros, num processo denominado instanciação. As *formas explícitas* devem ser construídas interactivamente pelo projectista através de interface gráfica, armazenando-se o resultado desta construção após sua validação. Para que uma *forma característica* possa ser considerada uma *forma implícita*, essa deverá possuir uma definição única, diferente de quaisquer outras definições canónicas das *formas características* presentes na *base de formas*. Também é necessário que essa *forma* possa ser gerada unicamente por instanciação, sem a ocorrência de qualquer outro procedimento de construção da forma. Deste modo, uma *forma implícita* possuirá significado próprio e único, para além de uma definição das dimensões e das superfícies relativas igualmente específicas.

As *formas* de definição *explícita* são adicionadas à *base* pelo projectista através de operações específicas, e devem ter a sua constituição definida elemento a elemento geométrico, pois não é possível aplicar sobre essas *formas* funções geométricas que permitam reconstituir a sua geometria

pela manipulação de parâmetros associados à *forma*. Como a *base de objectos* admite a inclusão dessas *formas* explicitamente definidas, pode ser considerada uma *base aberta de formas características*.

As *formas implícitas* são mais facilmente utilizáveis num ambiente computacional dirigido ao *Projecto Assistido por Computador*, pois apenas são requeridas a *parametrização* e o *posicionamento* de um sólido para ser efectuada a sua inclusão no modelo geométrico de uma peça. As *formas explícitas*, porém, exigem que o sólido correspondente à *forma* seja construído primeiramente, para então ser possibilitado o seu posicionamento.

Assim, é justificável a existência de *formas implícitas* em número bastante razoável na *base de formas*, de maneira a facilitar a utilização de um sistema computacional baseado no modelo em descrição. Todavia, seria possível constituir o modelo e efectuar a análise em *Projecto Orientado à Fabricação* tendo por base apenas *formas explícitas*, assumindo-se, porém, algumas defecções relativamente aos resultados obtidos pela análise.

O raciocínio a ser desenvolvido em *aplicações* sobre as peças deverá estar baseado, portanto, em que essas são compostas fisicamente por conjuntos de *volumes elementares*. A divisão da *peça discreta* em elementos volumétricos é uma abstracção efectuada pela mente humana no sentido de analisar a estrutura de composição física da peça, tratando-se de uma espécie de "*dissecação*" virtual dos elementos morfológicos constituintes da mesma.

Naturalmente, o raciocínio será tanto mais preciso e completo quanto melhor for a compreensão e a representação existentes sobre a estrutura da peça. Consequentemente, uma peça constituída maioritariamente por *formas* de definição *implícita* possibilitará a execução de análises comparativamente melhores, já que a geometria das *formas* canónicas é perfeitamente conhecida à partida. Como as *formas explícitas* podem ter constituição geometricamente livre, respeitando a condição de serem volume fechados, torna-se tanto mais limitada a capacidade de se raciocinar a respeito das peças, em termos de geometria, quanto maiores forem o número e a importância relativa das *formas explícitas* existentes na peça. Ao criar a geometria da peça baseado nesse modelo, o projectista deverá estar consciente dessas condições. De qualquer forma, porém, ele não estará limitado a uma *base fixa* de *formas* disponíveis, o que poderia vir a dificultar ou impedir a elaboração de determinadas configurações de peças desejadas.

Na abordagem utilizada, o processo de construção geométrica de uma *peça discreta* supõe o posicionamento de uma primeira *forma característica* no espaço à princípio. Sucessivamente, as demais *formas* serão justapostas umas às outras, fazendo-se a união pela superposição de porções de superfícies constituintes de umas e de outras. É rigorosamente necessário que todas as *formas características* estejam unidas por suas superfícies, formando um todo indivisível, para estarem em conformidade com a definição estabelecida para *peça discreta*. Evidentemente, o tipo de contacto entre as superfícies não pode contrariar a natureza física das peças, e, portanto, não se pode admitir situações imponderáveis, como a união de superfícies via um contacto pontual, por exemplo.

Neste modelo, são impostas algumas regras que as *formas características* devem obedecer na construção do modelo geométrico da peça:

- a) a união entre duas *formas características* somente pode ser processada através da justaposição de superfícies pertencentes a uma e à outra *forma*, de maneira que porções dessas superfícies estejam

efectivamente em contacto;

- b) quaisquer porções dos volumes de duas *formas características* geradas com um mesmo *tipo* (seja *volume-positivo* ou *volume-negativo*) não podem ocupar simultaneamente o mesmo lugar no espaço;
- c) uma *forma característica* do *tipo* volume-negativo deve estar inteiramente contida no espaço ocupado por porções (volumétricas) de *formas características* do *tipo* volume-positivo.

As duas primeiras regras estabelecem as *relações de adjacência* entre duas *formas características* a serem unidas, e a terceira regra está relacionada com as *relações de dependência* entre as mesmas.

Além dessas regras gerais, há algumas outras a serem especificadas para determinadas *formas* ou para classes de *formas*. Por exemplo, assumir-se-á que a superfície do topo de entalhes ou de furos será sempre *virtual* (materialmente inexistente). A aplicação das regras para incorporação de *formas características* deve ser efectuada quando do acto de *validação da construção* do modelo geométrico da peça.

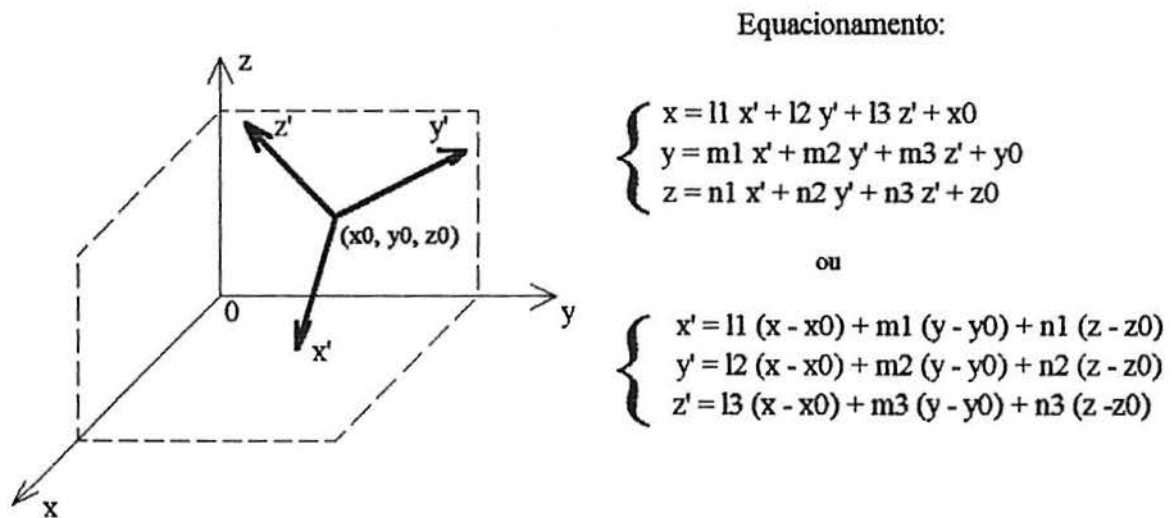


Figura 3.1 - Esquema da *Transformação Homogênea* de coordenadas de sistemas no espaço.

Uma questão fundamental relativa à utilização da abordagem da *síntese de volumes elementares* é a das *relações de posição* entre as *formas características* no espaço. Cada *forma característica* possui solidariamente associado um sistema de coordenadas *local*. Todas as dimensões e superfícies constituintes da *forma* estão referidas a esse sistema de coordenadas referencial, o que possibilita a identificação de todos os elementos geométricos da mesma de maneira *unívoca*. As peças são construídas sempre num sistema de coordenadas *global*, de maneira que, ao se incorporar a primeira *forma característica* à peça, está-se efectuando o seu posicionamento no espaço também com relação a *esse* sistema de coordenadas. As demais *formas* a serem incorporadas poderão estar localizadas tanto com relação ao sistema de coordenadas *global*, como aos sistemas de coordenadas *locais* de *outras formas*. O posicionamento de um sistema de coordenadas em relação a outro é representado na *Geometria Analítica* através da *transformação homogênea de coordenadas* envolvendo a translação e

referencial x',y',z' possui coordenadas (x_0, y_0, z_0) em relação ao referencial x,y,z e que $l_1, m_1, n_1, l_2, m_2, n_2, l_3, m_3, n_3$ são os cossenos directores dos eixos x', y', z' em relação aos eixos x, y, z respectivamente (ver figura 3.1).

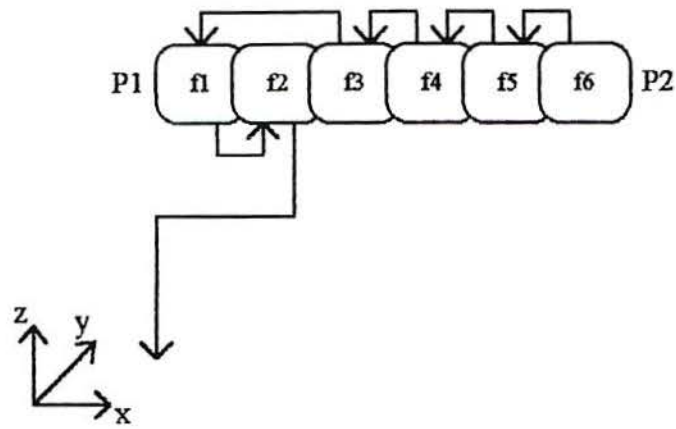
Assim, cada *forma característica* deverá conter os seguintes elementos em sua descrição nominal: as coordenadas do ponto O, denominado *ponto de base* do sistema de coordenadas; os valores dos *cossenos directores* dos eixos x', y', z' em relação, respectivamente, aos eixos x, y, z ($l_1, m_1, n_1, l_2, m_2, n_2, l_3, m_3, n_3$); um indicador que permita identificar a que sistema de coordenadas o sistema desta *forma* está referido (seja o sistema de coordenadas global ou o sistema de coordenadas local de alguma outra *forma característica*). Note-se que, num *agrupamento de peças discretas*, uma *forma característica* pertencente a uma certa *peça discreta* pode ser *posicionada* em relação a uma *forma característica* pertencente a outra *peça discreta*.

Ainda dentro desse tópico, uma outra questão relevante diz respeito à maneira como as *formas* serão posicionadas umas em relação às outras. Basicamente, existem três possibilidades de arranjos: o *encadeamento simples*, o *encadeamento múltiplo* e o *arranjo sem encadeamento*. A figura 3.2 apresenta através de diagramas essas diferentes possibilidades de arranjos. As setas indicam o sistema de coordenadas tomado como referência; as *formas* f_1, f_2 e f_3 pertencem à *peça discreta* p_1 , e as *formas* f_4, f_5 e f_6 , à *peça* p_2 . Estão implicitamente representadas as *relações de adjacência* entre as *formas*.

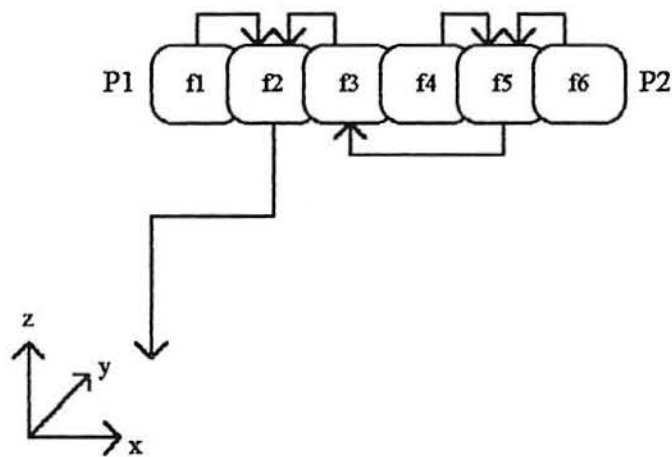
A opção por um desses tipos de arranjos estará condicionada pela implementação computacional a ser realizada relativamente ao modo de operação gráfica, pois a construção do modelo da *peça* em *modo gráfico* manipula a estrutura de representação do posicionamento das *formas características* no espaço. Como não é objectivo desta investigação avançar até o tema da elaboração do *modo gráfico* de representação das informações, será aqui facultada a utilização de qualquer dos arranjos possíveis sem prejuízo das análises de *projecto* a serem efectuadas.

Observe-se ainda que uma *forma característica* poderá estar posicionada com relação a uma outra que não lhe seja contígua. O equacionamento do problema unicamente em função das *transformações homogêneas* não exige que uma *forma* seja posicionada em relação àquelas a que está justaposta - mesmo que seja adoptado um arranjo baseado em *encadeamento* (*simples* ou *múltiplo*). Portanto, as *relações de adjacência* entre as *formas características* não são explicitadas apenas pela adopção do mecanismo de *transformação homogênea*, e a utilização de um outro modo de representação para expressar essas relações faz-se, portanto, necessário.

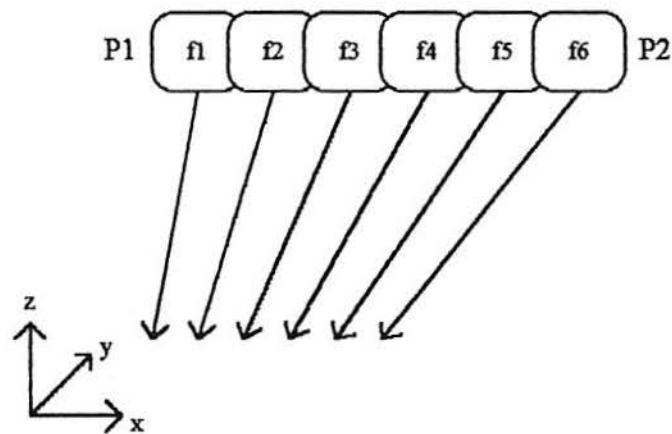
Se fosse adoptada uma solução no sentido de obrigar a que as *formas* tivessem de ser posicionadas unicamente em relação às suas contíguas, ainda assim não se teria explicitada a informação sobre quais superfícies estariam em contacto entre as *formas*. Consequentemente, a descrição da informação geométrica da *peça* não poderá estar limitada apenas à manipulação de *formas características* neste modelo, o que significa que a entidade *informação sobre geometria da peça mecânica* deve compreender ainda outras entidades para além das que representam o ente *forma característica*, objectivando apreender de maneira completa e abrangente a geometria da *peça*.



(a) Formas características posicionadas por encadeamento simples.



(b) Formas características posicionadas com encadeamento múltiplo.



(c) Formas características posicionadas sem encadeamento.

Figura 3.2 - Modos de arranjo no posicionamento relativo de formas características.

3.3. A representação da informação sobre especificação do produto.

A informação sobre as especificações do produto será estruturada nas entidades descendentes da entidade denominada *especificação de produto* e será representada no modelo de

descendentes da entidade denominada *especificação de produto* e será representada no *modelo de entidades* basicamente através de dois grupos distintos de entidades: um relativo à descrição dos *elementos geométricos* da peça, conforme proposto pela *Tecnologia das Características* (e mais especificamente pelo método da *síntese de volumes elementares*); e outro inerente à informação não directamente relacionada com algum desses elementos geométricos. Esse último grupo de entidades estará baseado na classificação de peças utilizada no modelo (subdivisão em *peças discretas* e *montagens de peças discretas*) para a estruturação da árvore de *objectos*. Observe-se que o conteúdo dos *objectos* modelados na *base de dados orientada por objectos* é apresentado no Apêndice D.

3.3.1. A representação da informação relativa a aspectos gerais da peça mecânica.

A entidade *informação sobre aspectos gerais da peça* será subdividida conforme a classificação das peças mecânicas proposta pelo modelo, sendo constituída pelas entidades informação sobre *peça discreta* e informação sobre *peças discretas agrupadas*, este subdividido em informação sobre *peça composta* e informação sobre *agregado de peças discretas*. Assim, qualquer peça a ser criada no modelo deverá ser representada na *base de dados orientada por objectos* por um *objecto* que será uma instância de um destes três *objectos*: *peça discreta*, *peça composta* e *agregado de peças discretas*.

Os campos descritores desses *objectos* referem-se à informação de natureza diversa. As especificações gerais relativas às peças serão armazenadas nestes *objectos*. Parte dessa informação poderá ter carácter unicamente documental, e outra parte poderá ser útil às análises a serem efectuadas. Por exemplo, tem-se informação relativa à produção da peça, como a sua condição de produção (máxima produtividade ou minimização de custos), o tempo e o custo de produção por unidade produzida, o número de unidades a serem produzidas por lote e o número esperado de lotes a serem produzidos por ano. Também os campos relacionados com a classificação das *peças discretas* para utilização pela análise em *Tecnologia de Grupo* e em *Seleção de Processos* estarão armazenados nesse nível. Do mesmo modo ainda, os campos ligados a requisitos funcionais do projecto, como o volume e peso da peça e especificações de material de construção são armazenados. Há ainda campos indicando quais classes de processos de fabricação aplicam-se à construção da peça (fundição, enformação ou maquinação).

Também existem campos relativos à informação de ordem administrativa, como, por exemplo, os relativos à existência da peça em depósito, o número de unidades armazenadas, o nome do projectista e do engenheiro de processos responsáveis, e o código de identificação da peça. Essa informação tem utilidade em termos de inventário.

Um campo descritor a ser especificamente considerado é o que diz respeito à classe da peça, pois, consoante o seu conteúdo, campos utilizados para a descrição especificamente de uma determinada *classe de peças* podem ser adicionados à descrição da especificação da peça, mas unicamente ao nível dos *objectos* descendentes da entidade *peça discreta* instanciados. Essa informação estará, portanto, estritamente associada às peças criadas, não sendo adicionadas à entidade *peça discreta*

e estará disponível para posterior utilização nas análises de *projecto* a serem efectuadas ou para a recuperação de informação.

Assim, se o *diâmetro* e o *comprimento* forem parâmetros dimensionais que possam ser associados a uma dada *classe* de *peças discretas*, todas as instâncias da entidade *peça discreta* que tenham tal classe especificada no campo descritor *classe da peça* poderão conter também os campos *diâmetro* e *comprimento*. Por exemplo, se a peça criada fosse da classe *caixa de velocidades* (*agregado de peças discretas*), elementos descritores como *número de velocidades* ou *tipo de óleo recomendado para lubrificação* poderão também ser especificamente adicionados aos *objectos* instanciados. Esse tipo de informação também pode ser útil eventualmente para a constituição de catálogos de peças.

3.3.2. A representação da informação sobre os elementos geométricos das peças.

A informação de descrição da geometria das peças está baseada na utilização da *Tecnologia das Características*, dentro da abordagem da *síntese de volumes elementares*. Porém, a utilização unicamente desses volumes na representação do modelo geométrico das peças é insuficiente para a perfeita descrição da geometria das mesmas e para a captura das intenções do projectista. Assim, terão de ser introduzidos novos elementos capazes de permitirem a representação adequada da topologia e da morfologia da peça. De qualquer modo, a representação da geometria da peça neste modelo está baseada na utilização das *formas características*.

3.3.2.1. A representação da informação sobre *formas características*.

A informação sobre as *formas características* estará baseada na abordagem da *síntese de volumes elementares*, pois esta foi considerada a mais adequada face à análise da investigação em curso na *Tecnologia das Características*, conforme as conclusões sobre a análise do estado da arte apresentadas no tópico 2.7, Capítulo 2.

Observe-se que também a opção pela utilização de um *modelo de entidades* e a sua implementação sobre uma *base de dados orientada por objectos* para a representação e estruturação da informação está em conformidade com essas conclusões sobre o estudo efectuado.

3.3.2.1.1. A informação sobre *formas características* e o *modelo de entidades*.

A entidade *informação sobre geometria da peça* compreenderá todas as classes de entidades criadas e utilizadas exclusivamente para a representação do conteúdo geométrico das peças mecânicas, sendo subdividida em *informação sobre forma característica*, *informação sobre tolerância geométrica*, *informação sobre dimensão explícita* e *informação relativa à união de formas*

características.

A entidade *informação sobre forma característica* está basicamente subdividida em duas outras: *informação sobre elementos de forma* e *informação sobre formas elementares*. De modo geral, as entidades ligadas à descrição do ente *forma característica* conterão os seguintes campos descritores:

- a) os campos relacionados com o posicionamento espacial das *formas características*, conforme análise efectuada na secção 3.2;
- b) o tipo de simetria da *forma característica* (*axissimétrica* ou *não-axissimétrica*);
- c) uma indicação sobre a possibilidade de a *forma característica* ser uma *forma de revolução* (campo descritor denominado *rotacionalidade*);
- d) a indicação das classes de processos (*fundição, enformação* ou *maquinação*) aplicáveis à fabricação da *forma característica*;
- e) o tipo da *forma característica* (*volume-positivo* ou *volume-negativo*);
- f) o volume da *forma característica*;
- g) uma indicação sobre o *estado* das superfícies componentes da *forma característica* (os estados genericamente admissíveis são o *real*, o *virtual* e o *parcial*);
- h) as especificações (se existirem) de *rugosidade superficial* para cada superfície da *forma característica*.

Os campos relativos ao *posicionamento espacial* são os necessários à definição da *transformação homogénea* efectuada sobre uma dada *forma característica*. Isso inclui também a indicação do elemento tomado como *referência* para a *transformação* (uma outra *forma característica* ou o sistema de coordenadas *global*).

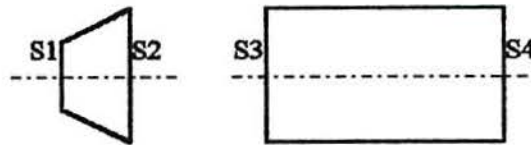
A indicação sobre a simetria e a *rotacionalidade* da *forma* são dados a serem considerados para a *selecção dos processos* de fabricação. Uma *forma* será considerada *rotacional* quando a obtenção física de sua *geometria* puder ser potencialmente efectuada por uma operação de fabricação baseada em *revolução* (por exemplo, da ferramenta cortante). Note-se que, na *base de dados*, as *formas* encontram-se classificadas quanto à sua *simetria* e à sua *rotacionalidade*.

Observe-se que isso não significa que toda *forma* classificada como *rotacional* deva ser obtida necessariamente unicamente através de processos tecnológicos que impliquem a ocorrência de revoluções da peça (ou da ferramenta geradora), pois isso depende também de outros factores, como, por exemplo, a *forma geral* da peça. Este é o caso, por exemplo, de uma *forma* da classe *cilindro circular recto* (rotacional) presente numa peça fabricada por *fundição*.

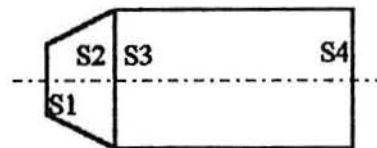
A indicação sobre o *estado* das superfícies constituintes das *formas características* está relacionada com a abstracção efectuada para se conceber a peça como um conjunto de volumes elementares. As superfícies especificadas para uma dada *forma característica* poderão ser fisicamente *virtuais* (inexistentes), *reais* (existentes) ou *parcialmente reais*, conforme a justaposição efectuada entre as *formas* (figura 3.3). Observe-se, ainda, que é apropriado fazer a indicação da *rugosidade superficial* dessa maneira, pois essa especificação pode ser considerada uma *característica* de cada superfície da *forma característica*.

Para além desses campos descritores, exclusivamente as *formas* de definição *implícita* têm associadas as *dimensões paramétricas* que as caracterizam. Essas dimensões correspondem a valores nominais especificados pelo projectista e são acompanhadas da tolerância de medida admissível. A diferença existente entre a *máxima medida* e a *medida nominal* (denominada *diferença superior*) e a

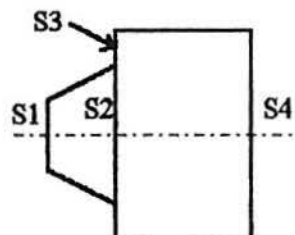
diferença entre a *mínima medida* e a *medida nominal* (denominada *diferença inferior*) são representadas para cada dimensão existente. Essas definições estão baseadas na norma ISO R-286. No protótipo computacional implementado, utilizou-se as unidades de medida do *Sistema Internacional* para os valores numéricos armazenados, excepto para as dimensões lineares, que são especificadas em milímetros.



(a) *Formas características a serem unidas por suas superfícies de base.*



(b) *As superfícies S2 e S3 são fisicamente virtuais (S1 e S4 são reais).*



(c) *A superfície S2 é virtual e S3 é parcialmente real (S1 e S4 permanecem reais).*

Figura 3.3 - Possibilidades de *estados de união* entre um tronco de cone e um cilindro ligados.

A entidade informação sobre *forma característica* está subdividida em informação sobre *formas elementares* e informação sobre *elementos de forma*. As *formas elementares* são aquelas cuja definição está fundamentalmente baseada na configuração ou arranjo geométricos. Os *elementos de forma* são constituídos por *formas* peculiares ao projectista e tipicamente significativas em termos de *projecto* ou de *fabricação*. Os *elementos de forma* diferem das *formas elementares* por possuírem *significado* de mais alta *ordem de abstracção*, e não necessariamente em termos de configuração geométrica, conforme será explicitado adiante.

As *formas elementares* estão subdivididas em *formas implícitas* e *formas explícitas*. A entidade relacionada com a informação sobre *formas implícitas* está subdividida em *formas implícitas discretas* e *formas implícitas agregadas*. Por definição, as *formas discretas* são constituídas por um (1)

único volume *contínuo*, ao passo que as *formas agregadas* são grupos de *formas características* arranjadas segundo algum critério de formação cujos volumes não estão justapostos de modo contínuo. Observe-se que as *formas discretas* serão, de facto, entes volumétricos estabelecidos pela *Geometria Espacial (primitivas geométricas de volume)*.

As *primitivas geométricas de volume* são, portanto, volumes definidos pela *Geometria Espacial*, estando subdivididas e representadas em três grupos na *base de formas características*: *primitivas de volume axissimétricas, não-axissimétricas* e de *simetria dependente*. O termo *dependente* diz respeito ao facto de que a simetria depende da especificação do *ângulo da secção* para ser determinada. Neste grupo foram organizadas as *secções de forma toroidal*, com os valores dos ângulos da secção podendo variar entre 0° (exclusive) e 360° (caso em que a *forma* torna-se axissimétrica). A definição das geometrias das *formas* pertencentes a este grupo também pode ser encontrada no Apêndice B. As *primitivas de volume não-axissimétricas* compreendem dois grandes grupos de *formas*, as *formas prismáticas* e as *formas polidricas*, mas existem também outras classes de *formas não-axissimétricas* armazenadas na *base de formas características*.

O grupo de *formas características* denominado *elementos de forma* agrupa todas as *formas* peculiares ao projectista e altamente significativas em termos de *projecto* ou de *fabricação*. Assim, encontram-se descritas neste grupo entidades que representam formas tais como entalhes, furos, saliências, perfis de roscas, estrias, chanfros e concordâncias. Outras *formas* de utilização eventualmente menos frequente, como é o caso dos perfis normalizados, também podem estar presentes (representados como descendentes da entidade *perfil especial*).

É fundamental observar que os *elementos de forma* poderão possuir configuração geométrica idêntica a algumas *primitivas geométricas de volume*. Assim, um projectista poderia optar entre representar um furo numa peça pela entidade *furo cilíndrico traspasante* ou pela entidade *cilindro circular recto* (de tipo volume-negativo). Note-se que ambas estão presentes na *base de formas características*. Tenha-se em conta, porém, que essas entidades não possuem exactamente a mesma forma canónica - como pode ser constatado no Apêndice B - podendo-se dizer, em geral, que os *estados* admissíveis para as superfícies das *primitivas geométricas de volume* são menos restritivos do que o das entidades da classe *elemento de forma*.

Observe-se, porém, que qualquer forma de raciocínio a ser desenvolvido sobre as *formas características* tende a ser aplicado sobre o *significado de mais alta ordem de abstracção* relativo a uma dada *geometria*. Por esse motivo, é muito mais frequente construir-se *sistemas baseados em regras* dirigidas a entidades da classe *elemento de forma* - e não sobre entidades da classe *primitivas geométricas de volume* - ainda que certas *configurações geométricas* possam ser representadas por entidades de uma ou de outra classe.

Portanto, o motivo pelo qual os *elementos de forma* aparecem na *base de formas características* é, em última instância, o facto de que eles possuem significado específico para o *projecto* ou a *fabricação* da peça (conforme explicitado no Capítulo 2, tópico 2.2). Esse significado é que determina a possibilidade de se raciocinar sobre a constituição da peça. Portanto, é preferível descrever a peça com as entidades da classe *elemento de forma* e não com as entidades da classe *forma discreta (primitivas geométricas de volume)* - sempre que possível. Deste modo, será possível operar

sempre sobre *formas* a que estão associados significados de mais alta ordem em termos de *projecto* e *fabricação*. Note-se que é sobre esses significados que é construída a análise de *projecto*.

Como exemplo, analise-se o caso ilustrado a seguir, em que é suposto ser necessário constatar que um *furo traspassante* representado no modelo da peça como um *cilindro circular recto* trata-se efectivamente de um *furo cilíndrico* (ver exemplo no Capítulo 4, tópico 4.1.2). Note-se que um *cilindro* do tipo volume-negativo em princípio pode assumir livremente diferentes configurações que não o caracterizariam como um furo:

- a) se todas as suas superfícies forem reais, trata-se de uma cavidade fechada no interior de um sólido;
- b) se existir uma porção inexistente da superfície lateral que se estende de uma base à outra continuamente, então se trata de um entalhe (ver figura 2.14-a, Capítulo 2).

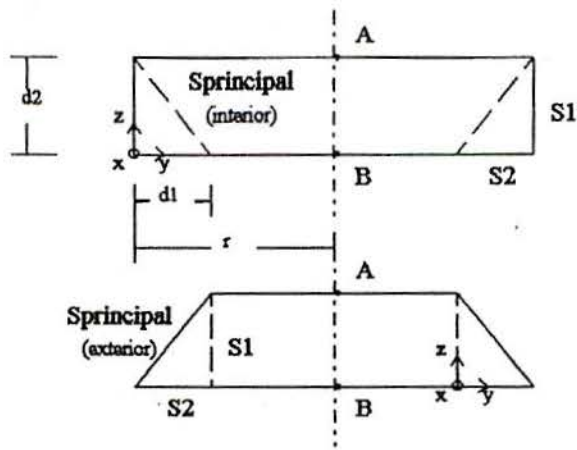
E observe-se também que, caso não se pudesse utilizar directamente a construção do modelo geométrico da peça com a representação de *elementos de forma*, tornar-se-ia necessário escolher entre um desses dois procedimentos:

- a) incorporar os procedimentos de análise de geometria directamente à cada regra a ser aplicada sobre *formas* de mais alta ordem de significado, o que é desaconselhável sob o ponto de vista da utilização de um sistema computacional pois isso comprometeria substancialmente o seu desempenho;
- b) aplicar esses procedimentos de *reconhecimento* de *formas* primeiramente, e, quando bem sucedidos, fazer o *mapeamento* da informação da *forma* menos significativa para a entidade correspondente mais significativa, que será a efectivamente utilizada na aplicação das *regras de conhecimento*.

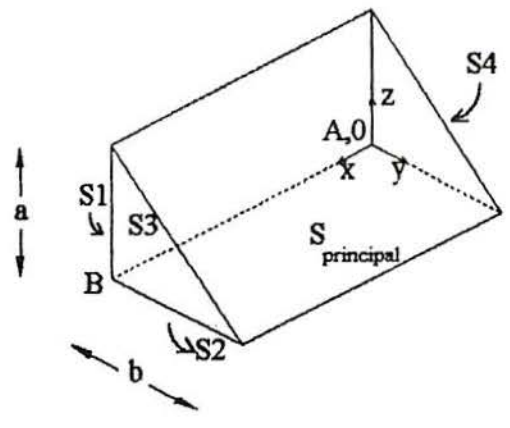
Deste modo, é evidente que o procedimento que irá demandar menores esforços do ponto de vista do processamento de informações é a representação do *furo* directamente como um *elemento de forma* em vez da utilização da *forma elementar* da classe *cilindro circular recto* na composição do modelo da peça.

Finalmente, algumas observações devem ser efectuadas com relação a algumas das entidades pertencentes à classe *elemento de forma*: os *chanfros* e as *concordâncias*. Evidentemente, para haver compatibilidade com a abordagem escolhida dentro da *Tecnologia das Características* (a *síntese de volumes elementares*), também as *formas* dessas classes têm de ser representadas como *volumes elementares*. Assim, todas as *concordâncias* e *chanfros* serão considerados casos gerais de 6 sólidos básicos, representados na figura 3.4 - tópicos (a) à (f).

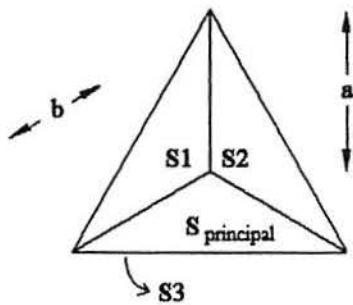
Todos os tipos de *chanfros* considerados também irão corresponder directamente às *formas* representadas nos tópicos (a) à (f), enquanto que todos os tipos de *concordâncias* considerados são obtidos pela transformação das *superfícies principais* desses sólidos em *convexa* - figura 3.4, tópicos (g) à (m) - ou *côncava* - tópicos (n) à (s) -, possuindo *raio de curvatura* igual ao *raio de concordância* especificado. Observe-se que permanecem válidas as demais definições referentes à especificação de *formas características*, incluindo-se aí o conceito de *tipo* das mesmas (volume-positivo ou volume-negativo). Observe-se ainda que as superfícies principais dos sólidos, assim consideradas devido ao seu aspecto representativo em termos da funcionalidade de chanfros e concordâncias, são indicadas nos desenhos como $S_{principal}$ ou como S_{p1} e S_{p2} (quando existirem duas superfícies igualmente relevantes, dentro desse mesmo conceito).



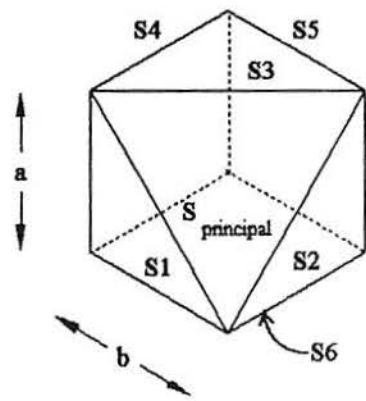
(a) chanfro tipo 1



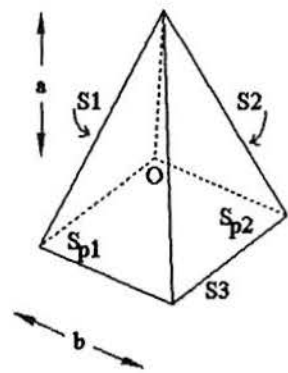
(b) chanfro tipo 2



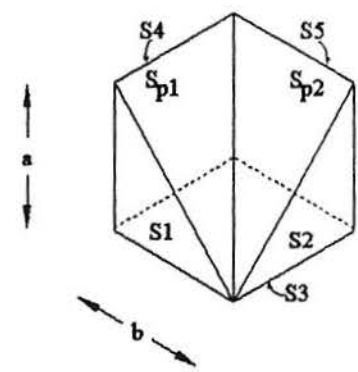
(c) chanfro tipo 3



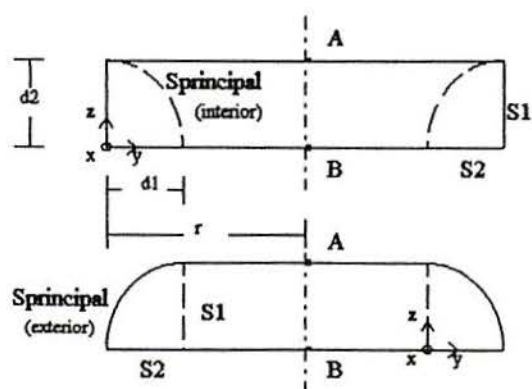
(d) chanfro tipo 4



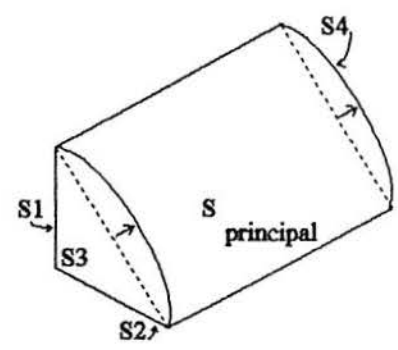
(e) chanfro tipo 5



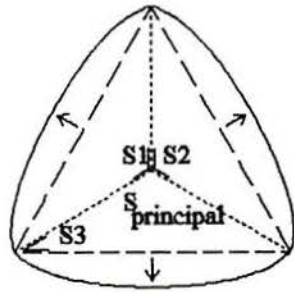
(f) chanfro tipo 6



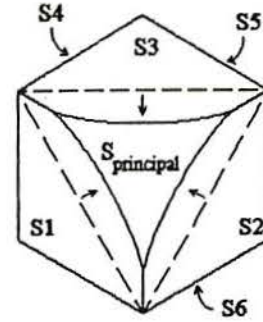
(g) concordância tipo 1 - côncava.



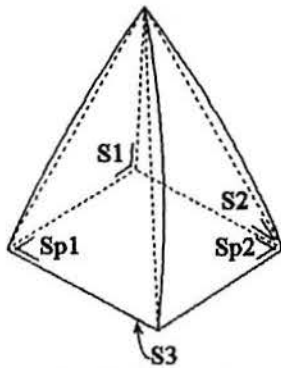
(h) concordância tipo 2 - côncava.



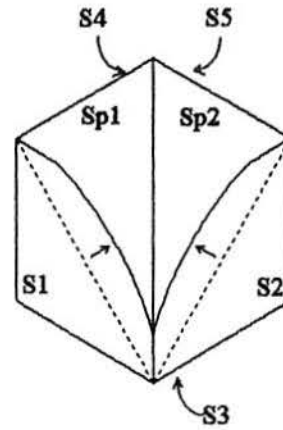
(i) concordância tipo 3 - côncava.



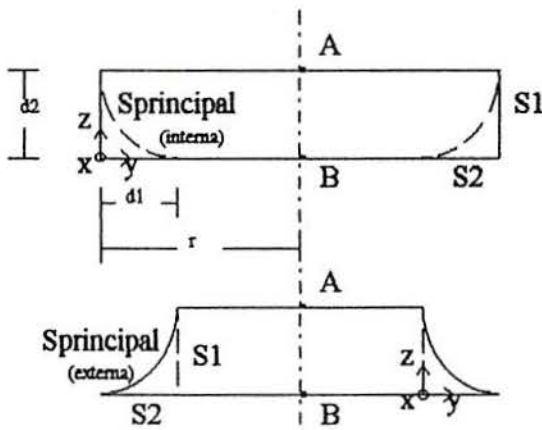
(j) concordância tipo 4 - côncava.



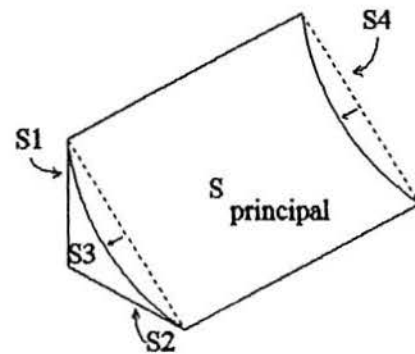
(l) concordância tipo 5 - côncava.



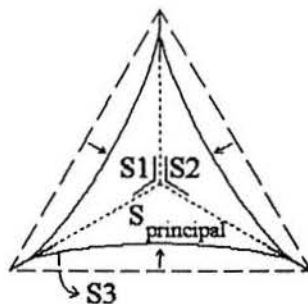
(m) concordância tipo 6 - côncava.



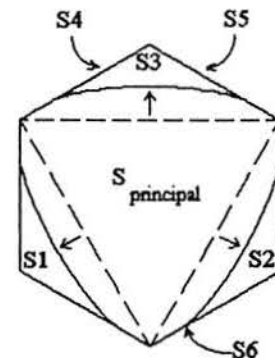
(n) concordância tipo 1 - convexa.



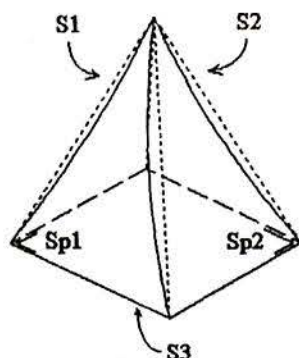
(o) concordância tipo 2 - convexa.



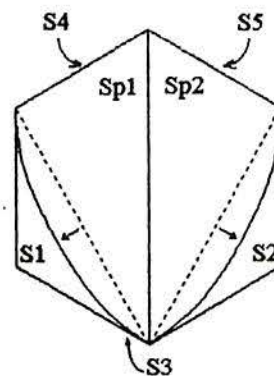
(p) concordância tipo 3 - convexa.



(q) concordância tipo 4 - convexa.



(r) concordância tipo 5 - convexa.



(s) concordância tipo 6 - convexa.

Figura 3.4 - As configurações geométricas de chanfros e concordâncias no modelo.

As geratrizes das superfícies denominadas *principais* dos chanfros serão sempre rectas. No caso das concordâncias, essas superfícies terão suas formas determinadas pelo raio de concordância especificado, sendo *côncavas* ou *convexas*. As entidades representantes das concordâncias indicarão se as superfícies principais são *côncavas* ou *convexas*. As entidades representantes dos chanfros e concordâncias do tipo "1" são *axissimétricas* (360°), devendo ser indicado pelas mesmas se a *superfície principal* está voltada para o *interior* ou para o *exterior* do volume (assumindo-se que o centro dos mesmos é o *eixo de simetria* das formas).

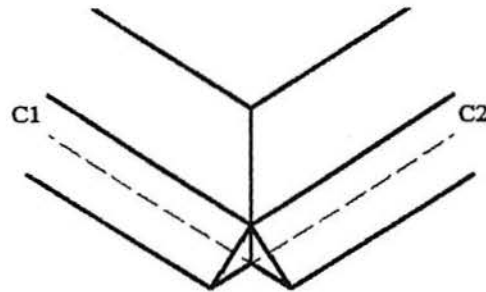
A figura 3.5 apresenta casos de utilização dos sólidos básicos relacionados com os *chanfros* e as *concordâncias*, notando-se que os denominados tipos "3", "4", "5" e "6" são efectivamente *elementos de canto* destinados a permitir a ligação entre *formas* obtidas por instanciação do sólido do tipo "2".

Observe-se ainda que, por definição, os *chanfros* e as *concordâncias* somente poderão ser incorporados ao modelo geométrico da peça se nele já estiverem posicionadas *formas* de outras classes, o que também se aplica a outras *formas* definidas na *base de formas características*, como os *rebaixamentos de furos* (que devem ser aplicados especificamente a furos já existentes no modelo da peça). Essas condições inserem-se entre as *relações de dependência* entre *formas características* analisadas na secção 3.2 e são devidas à consideração específica do significado dessas *formas* em termos do *projecto mecânico*.

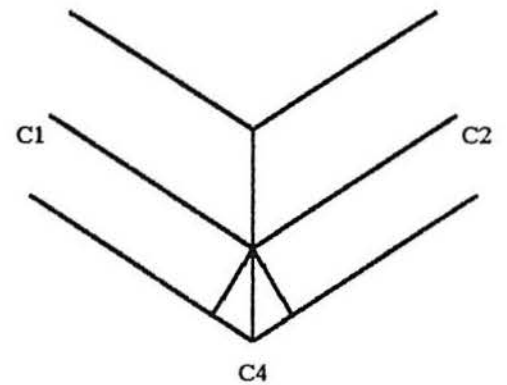
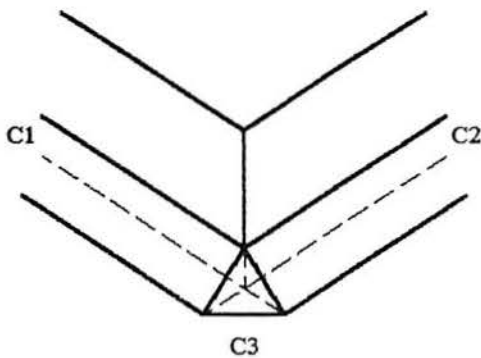
Existe ainda algum outro tipo de informação de carácter geométrico que complementa a descrição das *formas características*. Todas as *formas* descendentes das entidades *elemento de forma*, *forma discreta* e *forma explícita* possuem uma linha denominada *linha de referência* que as atravessa *longitudinalmente*, e que é geometricamente representada por um segmento de recta. Os pontos extremos desse segmento são denominados pontos A e B, sendo univocamente definidos para cada *forma característica*. A razão de ser dessas *linhas* reside na sua utilização para a determinação da *forma geral* da peça, através da análise do *alinhamento relativo* das mesmas. Nas *entidades* representativas das *formas características*, a *linha de referência* será representada através das *coordenadas dos pontos A e B*. Observe-se que essas coordenadas serão representadas em termos do sistema de coordenadas global, pois as posições das *linhas de referência* de *todas as formas* terão de ser comparadas entre si (conforme será introduzido no Capítulo 4).

A definição da posição da *linha de referência* para cada *forma* pode ser encontrada no Apêndice B. No caso das *formas axissimétricas*, a posição da *linha de referência* foi escolhida de maneira a *coincidir* com o *eixo de simetria* da *forma característica*. Para as *formas não-axissimétricas*, optou-se, sempre que possível, por um posicionamento único que não determinasse qualquer ambiguidade na identificação da *linha* com relação à geometria da *forma*. Contudo, existem casos

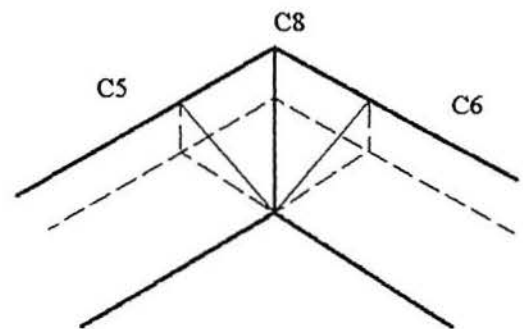
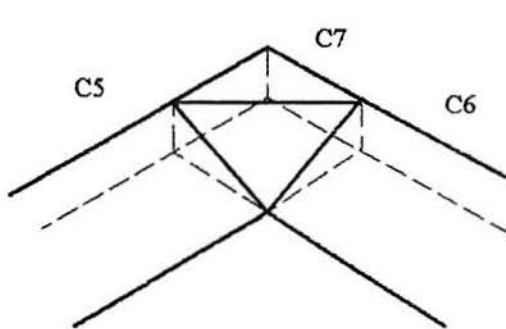
em que esse procedimento não permitiria definir uma linha que atravessasse a *forma característica* de modo *longitudinal*.



(a) Chanfros C1 e C2 (do tipo "2").



(b) A ligação entre C1 e C2 pode ser efectuada pela utilização de *chanfros* do tipo "3" (C3) ou "5" (C4).



(c) Os *chanfros* C5 e C6 (do tipo "2") podem ser ligados utilizando-se *chanfros* de tipo "4" (C7) ou "6" (C8).

Figura 3.5 - Possibilidades de utilização dos diversos tipos de *chanfros*.

Esse é o caso das *formas* da classe *paralelepípedo rectangular*, em que a localização da *linha de referência* será variável e determinada a partir das suas dimensões implicitamente definidas, restringindo-se a que os pontos A e B estejam posicionados em centros de faces opostas do sólido. Assim, quando as três dimensões apresentarem valores diferentes, a *linha de referência* terá a mesma direcção daquela apresentada pela dimensão maior. Quando duas dimensões forem iguais e a terceira diferente dessas, a *linha* será paralela à direcção da última. Quando as três dimensões apresentarem o

mesmo valor (a *forma* será um cubo, portanto), deve-se escolher a posição da *linha* de maneira a se fazer que a mesma esteja alinhada ou paralela ao maior número possível de *linhas de referência* de outras *formas* (se possível).

As *formas explícitas* não possuem evidentemente uma definição implícita para a posição da *linha de referência*. Pode-se contornar esse problema pela utilização de algoritmos específicos para a determinação de *eixos de simetria* em volumes discretos. Pode-se também efectuar a consulta ao projectista, que irá definir a posição da *linha* no caso das *formas* que não possuam *eixos de simetria*. Em ambos os procedimentos, deve-se observar os pressupostos definidos para o posicionamento de *linhas de referência*.

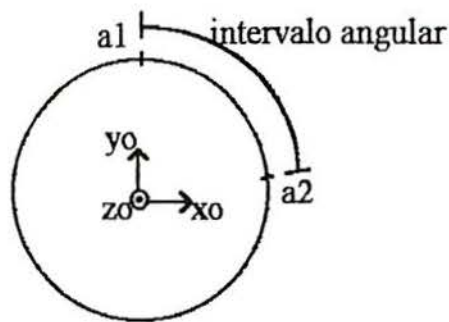
As *formas agregadas* são conjuntos de *formas discretas* agrupadas em modo de *arranjos*. Também aqui o termo *agregado* está relacionado com um processo de união (geométrica) baseado em razões funcionais e que não supõe necessariamente a ligação indissolúvel dos elementos agrupados.

Dois *arranjos* frequentemente encontrados no *projecto mecânico* foram representados: arranjo de *formas* sobre uma recta e arranjo de *formas* sobre uma circunferência. Outras formas de arranjo também poderiam ter sido representadas, como o arranjo matricial por exemplo. A importância do *agregado de formas* ser representado está em que a disposição de *formas discretas* em grupos também possui significado em termos de *projecto* e de *fabricação*. Logo, este significado também deve ser apreendido para a análise do *projecto* e da *fabricação* da peça mecânica.

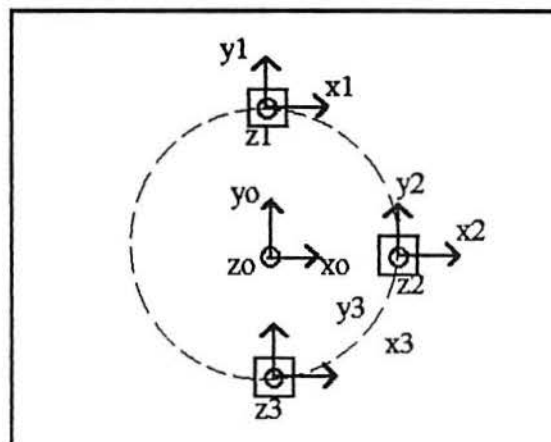
As *formas discretas* agrupadas devem ser posicionadas com relação ao sistema de coordenadas da *forma agregada*. Observe-se, porém, que todas as *formas* presentes no arranjo devem ser *instâncias* de uma (1) mesma entidade, com configurações geométricas idênticas, isto é, com parâmetros de definição idênticos (excepto os relativos ao seu *posicionamento*).

O arranjo sobre arco de circunferência divide esta segundo o ângulo fornecido, determinando os *pontos de base* para posicionamento das *formas discretas*. O arranjo sobre uma recta divide um segmento de recta conforme o número das *formas discretas* a serem posicionadas e a distância entre as mesmas. A figura 3.6-a apresenta a estrutura da *forma característica* da classe *formas agregadas sobre circunferência*. O plano da circunferência contém os eixos x_0 e y_0 , pertencentes ao sistema de coordenadas da *forma* obtida por *agregação*. O ponto a_1 é o *ponto de base* para o posicionamento da primeira *forma discreta* a ser agregada. O *intervalo angular* é definido pelo utilizador, bem como o número de *formas* a posicionar. A figura 3.6-b apresenta um exemplo de utilização dessa *forma*.

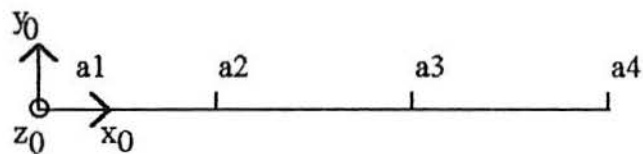
Também é apresentada a estrutura da *forma característica* da classe *formas agregadas sobre recta* (figura 3.6-c), em que o ponto a_1 (*ponto de base*) é utilizado para a colocação da primeira *forma discreta* a ser posicionada e o *intervalo linear* é definido pelo utilizador. O número de *formas discretas* a posicionar também é definido pelo utilizador. Com relação à figura 3.6-d, exemplo de utilização de *classe de formas*, observe-se que os sistemas de coordenadas locais da *forma* obtida por *agregação* e o da primeira *forma discreta* posicionada também poderiam ser coincidentes.



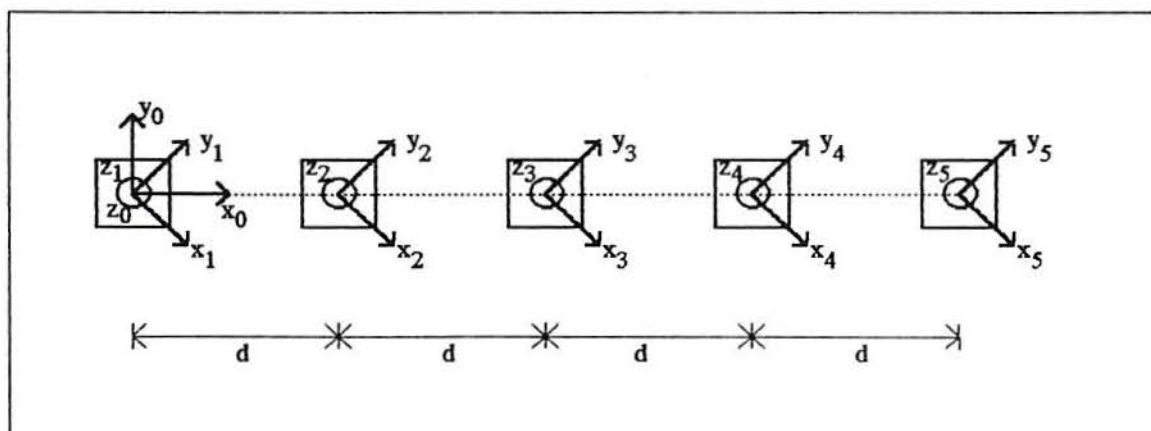
(a) Estrutura básica do arranjo das formas sobre circunferência.



(b) Cubos compondo formas agregadas sobre circunferência com intervalo angular de 90° entre as formas.



(c) Estrutura básica do arranjo de formas sobre recta.



(d) Cubos posicionados sobre uma recta com intervalo linear de valor "d" entre as formas.

Figura 3.6 - Possibilidades (previstas) de arranjos das formas agregadas.

O facto de uma determinada *forma* ter sido construída explicitamente, por não estar implicitamente representada na *base de formas características*, não implica que seja impossível descrevê-la canonicamente. Esse facto é, portanto, *circunstancial*. Se o utilizador necessitar com frequência recorrer a uma certa *forma*, ser-lhe-á mais útil estabelecê-la como uma *forma* de geometria *implícita* na *base*. Caso haja necessidade de utilização de algumas *formas* de geometria menos usual, poderá recorrer a procedimentos de construção de *formas explícitas*.

A entidade informação sobre *forma* de geometria *explícita* subdivide-se em 5 classes de entidades, mantendo relação com os processos utilizáveis na construção de sólidos em sistemas de *Projecto Assistido por Computador*. Evidentemente o grande problema na utilização das *formas explícitas* é o facto de que a liberdade concedida pelos processos de elaboração da *forma* está ligada a uma diminuição progressiva na predição sobre a caracterização e classificação morfológica das mesmas. Assim, levando-se em conta os processos utilizáveis e mais alguma informação relativa à geometria da *forma* criada (como a *simetria* e a *rotacionalidade* da *forma*), procurar-se-á minimizar aquele problema.

As *formas explícitas* deverão ser criadas como instâncias das entidades vinculadas aos processos de elaboração da geometria, conforme definido a seguir:

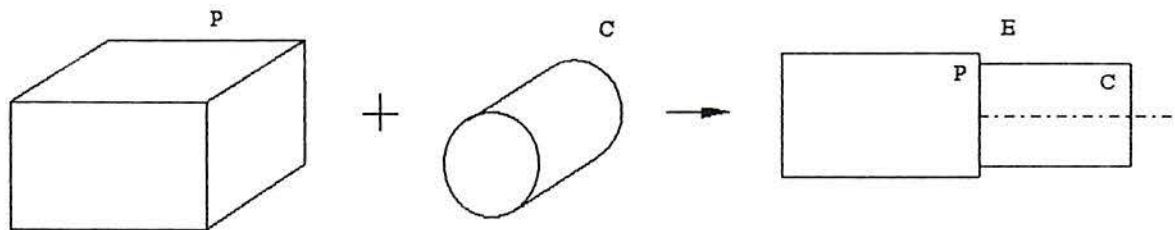
- a) *composição* de *formas* por *justaposição*;
- b) *composição* de *formas* por *interpenetração*;
- c) *revolução* de um *perfil* em torno de uma linha;
- d) *projectão* de um *perfil* perpendicularmente a uma linha;
- e) *modificação restrita* da configuração de uma *forma* de definição *implícita*.

O processo de *composição* geométrica de *formas características* por justaposição de *formas características* existentes na *base de formas características* baseia-se na união pelas superfícies comuns das mesmas. As *relações de adjacência* anteriormente analisadas (ver secção 3.2) permanecem válidas. No caso da união de *formas* de *tipo* diferente (volume-positivo com volume-negativo), também serão válidas as *relações de dependência* mencionadas; a *forma* então resultante será sempre do *tipo* volume-positivo. Para essa classe de *formas características*, são armazenados os identificadores das *formas* justapostas, que poderão ser mais de duas.

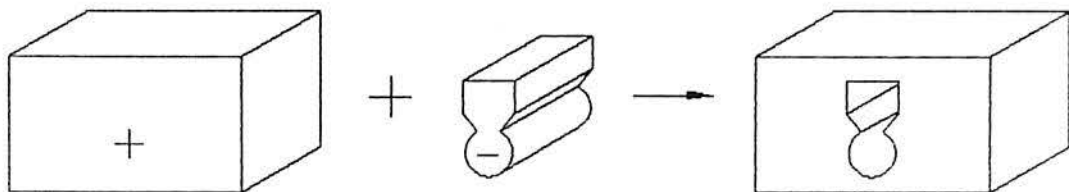
Assim, se for necessário unir um paralelepípedo volume-positivo a um cilindro volume-negativo, é necessário que todo o volume do segundo esteja contido no primeiro. A união entre duas *formas* do *tipo* volume-negativo irá gerar uma *forma* desse mesmo *tipo*. Alguns exemplos são fornecidos na figura 3.7. No processo de *justaposição* de *formas características*, ambas deverão ser do mesmo *tipo*, igual ao da *forma* resultante. Na última ilustração (figura 3.7-c), é apresentado um caso de justaposição *inválida*, por violação das *relações de dependência*. Observe-se que é indiferente as *formas* serem *implícitas* ou *explícitas*.

A *composição* de *formas* por *interpenetração* é um processo de elaboração da geometria mais complexo, obtido por *operações lógicas* efectuadas sobre os *volumes elementares* instanciados. As operações devem ser efectuadas entre *formas* do mesmo *tipo*, isto é, somente entre *formas* do *tipo* volume-positivo ou somente entre *formas* do *tipo* volume-negativo. A *forma* resultante da operação terá o mesmo *tipo* das que lhe deram origem. Serão efectuadas três diferentes operações lógicas de

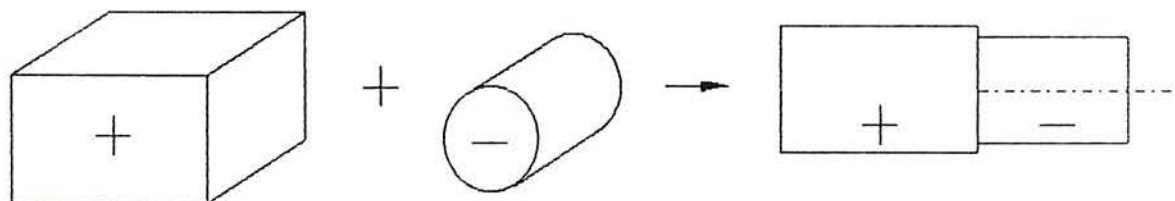
interpenetração: *intersecção, união e diferença* entre os sólidos. A figura 3.8 apresenta dois sólidos a serem utilizados nas operações relacionadas com a *composição* de formas por *interpenetração* ilustradas. Observe-se que, no caso da utilização do processo de *diferença lógica* entre os sólidos, a operação será executada entre um par de *formas* unicamente. Todos os operandos (*formas características*) envolvidas na geração da *forma explícita* resultante devem ser armazenados na entidade representativa da sua descrição.



(a) *Forma explícita (E) resultante da justaposição (válida) de duas formas de mesmo tipo (qualquer que seja).*



(b) *Forma explícita resultante da justaposição (válida) de duas formas de tipos diferentes.*



(c) *Justaposição inválida de duas formas de tipos diferentes.*

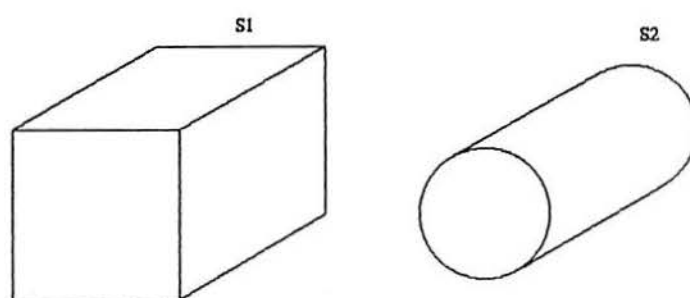
Figura 3.7 - Obtenção de *formas compostas* pelo processo de *justaposição*.

Os processos geométricos de elaboração da geometria das *formas* por *revolução* ou *projecção* de um *perfil* exigem a definição deste (por exemplo, uma linha poligonal) e de uma *linha de base* para a sua execução, sendo encontrados em sistemas de *Projecto Assistido por Computador* comercialmente disponíveis. O tipo de *linha de base* (segmento de recta, linha curva aberta ou fechada) e os seus pontos extremos são armazenados para se poder analisar a configuração da *forma característica*. A *linha de base* será considerada a *linha de referência* da *forma característica*, desde que atendidas as condições necessárias para a definição dessa. Também a *forma do perfil* (curvas ou linhas poligonais, planas ou espaciais) deverá ser armazenada para análise da configuração da *forma característica*, para além dos pontos que determinam essas linhas (e a ordem em que estão ligados).

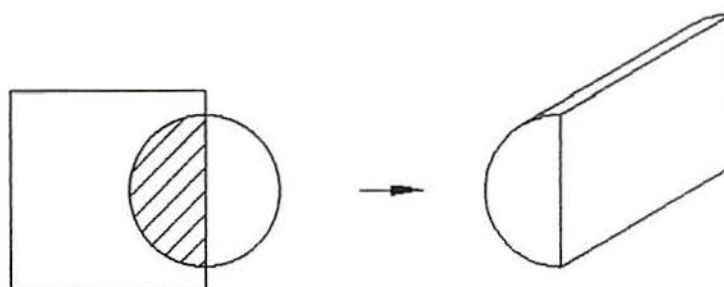
A *modificação restrita da configuração* de *formas implícitas* deve obedecer a algumas

regras, estabelecidas de modo a se procurar preservar parte do significado das mesmas, o que torna possível prever, com algum nível de confiança, as propriedades relativas à *forma* resultante. A *forma implícita* utilizada como base para a criação da *forma* resultante será denominada "*forma de base*" nesse contexto. As regras são as seguintes:

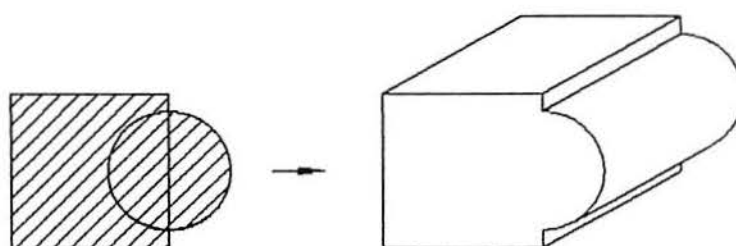
- a) não podem ser suprimidas superfícies existentes na *forma de base*;
- b) não podem ser adicionadas superfícies às existentes na *forma de base*;
- c) a forma das arestas constituintes da *forma de base* não pode ser alterada, isto é, linhas rectas, arcos de circunferência, etc. devem permanecer como tal, podendo apenas ter suas posições relativas ou dimensões alteradas.



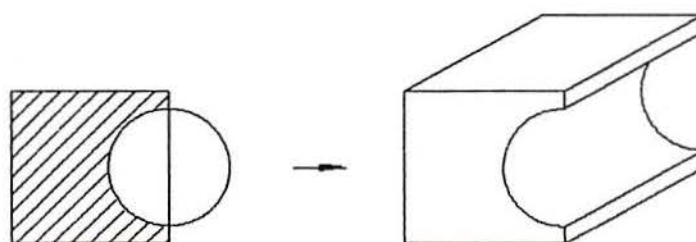
(a) Sólidos S1 e S2 a serem utilizados na geração de *formas* por interpenetração.



(b) *Forma* gerada por intersecção entre S1 e S2.



(c) *Forma* gerada por união entre S1 e S2.

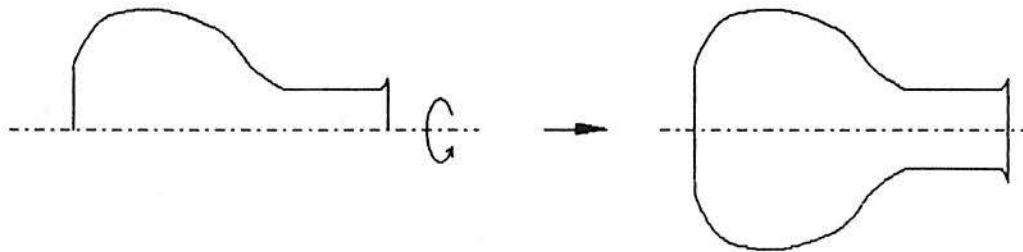


(c) *Forma* gerada por diferença lógica (S1 - S2).

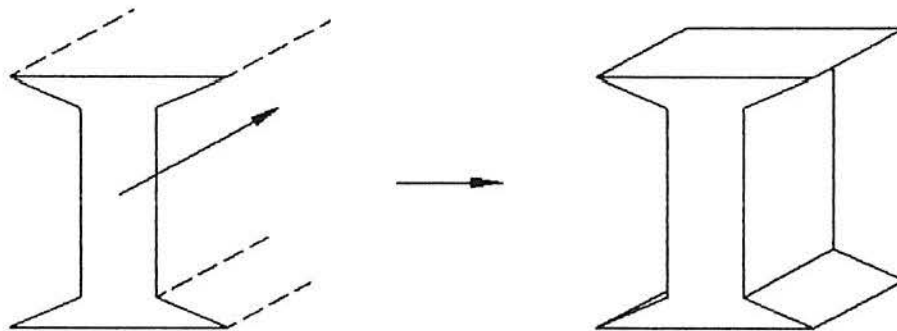
Figura 3.8 - Obtenção de *formas compostas* pelo processo geométrico de *interpenetração*.

A figura 3.9 apresenta casos de elaboração de *formas explícitas* através dos processos de *revolução de um perfil* em torno de uma linha, *projecção de um perfil* perpendicularmente a uma linha e *modificação restrita da configuração* de uma *forma implícita*.

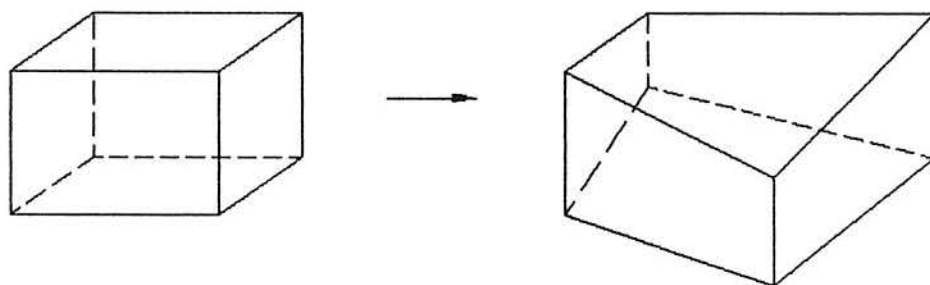
O conteúdo da informação das entidades que representam as *formas explícitas* obtidas por cada um desses processos varia de acordo com a informação que pode ser extraída dos mesmos. Alguns campos, no entanto, estão presentes em todas as entidades, como os relativos à morfologia e à área de cada superfície componente da *forma*. A forma da superfície pode ser classificada, por exemplo, como plana, cilíndrica, cônica, esculpida, etc. Este último tipo é obtido pela utilização de *métodos de modelação de superfícies*, como os de *Bézier*, *Hermite* e "*B-Splines*".



(a) *Forma explícita* obtida por revolução de um perfil.



(b) *Forma explícita* obtida por projecção de um perfil.



(c) *Forma explícita* obtida pela modificação de uma *forma implícita* pré-existente.

Figura 3.9 - Alguns processos de geração de *formas explícitas*.

De qualquer modo, a descrição da geometria de uma *forma explícita*, de acordo com o próprio conceito de *forma característica* de definição *explícita*, deve ser armazenada considerando-se cada ente geométrico relevante. Assim sendo, as coordenadas locais de pontos, de todos os vértices, de

eixos, etc. devem ser armazenados - consoante, evidentemente, a natureza geométrica da *forma* e o modo de representação adoptado para a estruturação da informação geométrica no *módulo gráfico* (Capítulo 4, tópico 4.1).

Um dos campos de maior importância para a descrição das *formas características* é o que faculta ao utilizador a possibilidade de presumir uma possível *classe* (dentre as previstas pelo modelo) a que pertenceria, por hipótese, a *forma explícita* criada. A existência desse campo *não* irá determinar a ligação da *forma* a essa entidade-classe *em termos da estrutura da árvore de objectos*, através de alguma *relação de descendência*. Isso não é possível porque não se tem a mesma estrutura de representação da informação para *formas implícitas e explícitas*.

Porém, se as regras de conhecimento aplicáveis às *formas implícitas* descendentes de uma dada entidade forem escritas de maneira a também serem aplicáveis a *formas explícitas* que possuam o campo identificador da *classe presumível* apontando para aquela entidade, então o conhecimento aplicável às *formas implícitas* será estendido também às *formas explícitas*. A definição de tais regras deverá levar em conta a incerteza relativa a ter sido apenas presumida - e não determinada - a hipotética *classe* da *forma*. A descrição dos *objectos* correspondentes a essas entidades é fornecida no Apêndice D.

3.3.2.1.2. A representação da informação sobre *formas características* através de *bases de factos*.

Alguma parcela da informação sobre *formas características* pode ser representada através da utilização de *bases de factos*, por simplificação e conveniência de manipulação computacional da informação. Dois casos de aplicação deste tipo de representação serão discutidos.

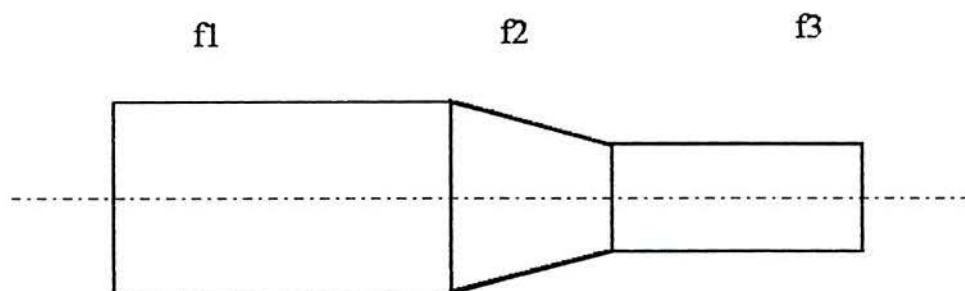


Figura 3.10 - *Relações* entre os elementos geométricos de uma peça: captura da intenção do projectista.

A primeira situação em que a representação da informação através de factos é possível diz respeito à tentativa de apreensão da intenção do projectista relativamente ao estabelecimento das *relações de proporção* entre elementos geométricos da peça. Um exemplo da utilização dessas relações geométricas pode ser encontrado na peça apresentada à figura 3.10, que é uma peça discreta formada por duas *formas características* da classe *cilindro circular recto* e uma da classe *tronco de cone circular recto*. Suponha-se que o projectista desejasse firmar as seguintes *relações de proporção* entre as dimensões das *formas* constituintes da peça (f1, f2 e f3):

a) que o *diâmetro* da *forma* f1 fosse duas vezes maior que o *diâmetro* da *forma* f3, em qualquer

situação; isto é, mesmo que os valores escolhidos para os diâmetros fossem alterados durante a fase de elaboração do projecto, esta relação deveria ser mantida;

- b) que o *diâmetro maior* da *forma* f2 fosse igual ao *diâmetro* da *forma* f1 em qualquer situação;
- c) que o *diâmetro menor* da *forma* f2 fosse igual ao *diâmetro* da *forma* f3 em qualquer situação;
- d) que o *comprimento* da *forma* f1 seja maior que o *comprimento* da *forma* f3 em qualquer situação.

Para explicitar essas relações, poder-se-ia utilizar predicados como os expostos a seguir, com informação geométrica a ser incorporada ao modelo de cada peça:

- a) predicado denominado relação-numérica, cuja forma geral é apresentada a seguir:

relação-numérica <F1>, <d1>, <F2>, <d2>, <f>

em que

F₁ - é o identificador de uma instância de *forma característica*;

d₁ - é o identificador de uma dimensão pertencente à *forma* F₁;

F₂ - é o identificador de uma instância de *forma característica*;

d₂ - é o identificador de uma dimensão pertencente à *forma* F₂;

f - é o factor de relação entre os valores das dimensões, tal que $d_1 = f \cdot d_2$.

- b) predicado denominado relação-desigualdade, cuja forma geral é apresentada a seguir:

relação-desigualdade <F1>, <d1>, <F2>, <d2>

tal que

$$d_1 > d_2$$

onde

F₁ - é o identificador de uma instância de *forma característica*;

d₁ - é o identificador de uma dimensão pertencente à *forma* F₁;

F₂ - é o identificador de uma instância de *forma característica*;

d₂ - é o identificador de uma dimensão pertencente à *forma* F₂;

Observe-se que evidentemente é suposto que as dimensões a serem avaliadas sejam homólogas (evitando-se comparar *ângulos* com *dimensões lineares*, por exemplo).

Note-se que a representação de conhecimento através de *factos* é aplicável ao *Projecto Paramétrico* e à *Geometria Variacional* (discutidos respectivamente nos tópicos 2.2 e 2.6 do Capítulo 2), pois assim torna-se possível estabelecer, representar e manipular relações geométricas entre os parâmetros dimensionais.

Aplicando-se os predicados *relação-numérica* e *relação-desigualdade* aos factos que se deseja representar, para a peça apresentada à figura 3.10, obtém-se o seguinte:

- a) relação-numérica f1, r, f3, r, 2; significando que o raio da *forma* f1 deve ser duas vezes maior que o raio da *forma* f3;
- b) relação-numérica f1, r, f2, r, maior, 1; significando que o raio da *forma* f1 deve ser igual ao raio maior da *forma* f2;

- c) *relação-numérica* $f_2, r.menor, f_3, r, l$; significando que o raio menor da *forma* f_2 deve ser igual ao raio da *forma* f_3 ;
- d) *relação-desigualdade* $f_1, compr, f_3, compr$, significando que o comprimento da *forma* f_1 deve ser maior que o comprimento da *forma* f_3 .

Observe-se que foi utilizada a notação $r, r.maior, r.menor$ e $compr$ para as dimensões de *raios* e *comprimento* tais como definidos na representação das *formas implícitas* na *base de objectos* utilizada nesta investigação.

É importante notar que essas relações entre dimensões dizem respeito à operacionalidade do sistema computacional de *Projecto Assistido por Computador*. Eventualmente, porém, a sua utilização na análise em *Projecto Orientado à Fabricação* poderá vir a ser útil. Portanto, a sua presença no modelo de representação de informação pode ser considerada como complementar à implementação do *modo gráfico* a ser efectuada (que não será discutido nesta investigação), devendo ser mantida a integridade da informação em ambos os modos.

Entretanto, existe um outro tipo de informação geométrica relativa às *formas características*, que também é passível de descrição através da utilização de *factos*, e que também é utilizável no desenvolvimento de algumas *aplicações* relacionadas com as *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*. Este é o caso da informação relativa às relações entre os entes geométricos constituintes da geometria das *formas características*. Essa informação não está sujeita a alterações ou especificações definidas pelo projectista, tendo carácter permanente. Essa informação não é explicitada através da descrição geométrica até aqui introduzida, sendo necessário que esteja presente, pois não pode ser inferida a partir do restante da informação disponível sobre a geometria das *formas características*.

Especificamente, este modelo de representação da informação utiliza uma *base de factos* para representar essa parcela da informação geométrica sobre *formas características*, explicitando a maneira como as superfícies de uma *forma* estão delimitadas entre si através do predicado *aresta*, cuja forma geral é a seguinte:

$$\langle S_1 \rangle, \langle S_2 \rangle \text{ aresta } \langle F \rangle$$

em que

F - é o identificador da *forma característica* ou de uma *classe de formas*,

S_1 - é o identificador de uma primeira superfície de F;

S_2 - é o identificador de uma segunda superfície de F.

A implementação computacional deste predicado é apresentada no Apêndice E, tópico E.2.1.1.

Observe-se a geometria de uma *forma característica* da classe *paralelepípedo rectangular* (figura 3.11). A análise da informação contida no modelo apresentada até aqui não permitiria conhecer quais superfícies (faces) do sólido limitam-se, por exemplo, com a sua superfície denominada S_3 . Deste modo, se fosse necessário estabelecer uma regra dentro das *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação* que aconselhasse, por hipótese, a existência de concordância ou chanfro ligando a superfície S_3 às superfícies vizinhas, esta regra teria de conter também o conhecimento *a respeito da geometria* desta *forma característica*, se não houvesse alguma maneira declarativa de se estabelecer os limites entre as superfícies.

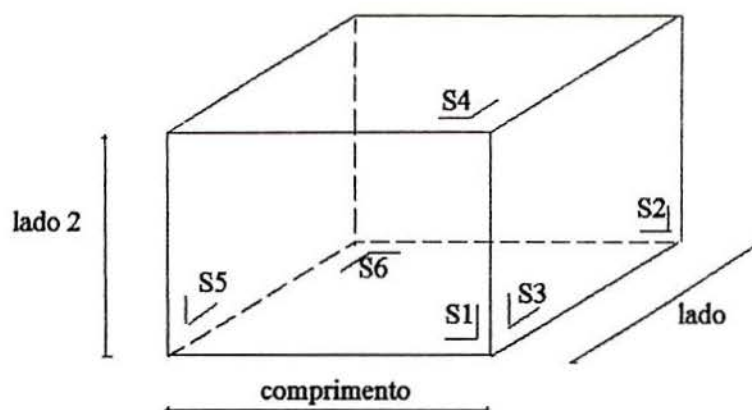


Figura 3.11 - Configuração geométrica da forma característica da classe *paralelepípedo rectangular*.

Basicamente, a elaboração de uma *base de factos* contendo o predicado *aresta* visa à supressão dessa lacuna, e, para a *forma* da classe *paralelepípedo rectangular*, o seguinte conjunto de *factos* descreve inteiramente as *relações de adjacências* entre *superfícies*:

S₁, S₃ *aresta* paralelepípedo rectangular S₂, S₃ *aresta* paralelepípedo rectangular
 S₂, S₅ *aresta* paralelepípedo rectangular S₁, S₅ *aresta* paralelepípedo rectangular
 S₁, S₆ *aresta* paralelepípedo rectangular S₂, S₆ *aresta* paralelepípedo rectangular
 S₃, S₆ *aresta* paralelepípedo rectangular S₅, S₆ *aresta* paralelepípedo rectangular
 S₁, S₄ *aresta* paralelepípedo rectangular S₂, S₄ *aresta* paralelepípedo rectangular
 S₃, S₄ *aresta* paralelepípedo rectangular S₄, S₅ *aresta* paralelepípedo rectangular.

Observe-se que a utilização desse predicado torna possível afirmar com exactidão que a superfície S₃ delimita-se com todas as demais superfícies do sólido, excepto com S₅. Portanto, pode-se elaborar regras que utilizem o conhecimento sobre a existência dos limites entre as superfícies da *forma* sem necessidade de se incluir essa carga de informação na própria regra. Se isso não fosse possível, cada regra que utilizasse essa parcela de informação teria de contê-la em sua própria estrutura. Utilizando-se tal modo de representação da informação, qualquer regra de conhecimento que venha a necessitar da mesma poderá tê-la de maneira explícita e facilmente acessível.

Observe-se ainda que os *factos* relativos aos limites entre as superfícies das *formas características* de geometria de definição *explícita* terão de ser introduzidos na *base* para cada nova *forma explícita* criada, ao contrário da *base* criada para as *formas implícitas*, que não necessita ser actualizada. Nesse caso, o predicado *aresta* terá como parâmetro *F* o próprio nome da *forma explícita* criada.

Um outro predicado constituinte da *base de factos* com informação sobre a geometria de *formas características*, criado pelas mesmas razões já expostas e com características similares, é o predicado *dimensão-transversal-e-ligada-à*, cuja forma geral é apresentada a seguir:

<D> *dimensão-transversal-e-ligada-à* <S> , <F>

em que

F - é o identificador da *forma característica* ou de uma *classe de formas*,

S - é o identificador de uma superfície de F;

D - é o identificador de uma dimensão definida para F.

Esse predicado, cuja implementação computacional é apresentada no Apêndice E (tópico E.2.1.2), será utilizado para determinação de todas as dimensões perpendiculares a uma dada superfície que possam ser encontradas numa *forma*, sendo essas dimensões delimitadas pela existência da superfície. O seguinte conjunto de *factos* descreve inteiramente essa classe de relações geométricas entre dimensões e superfícies para a *forma* da classe *paralelepípedo rectangular*:

comprimento dimensão-transversal-e-ligada-à Sfc.1, paralelepípedo.rectangular
comprimento dimensão-transversal-e-ligada-à Sfc.2, paralelepípedo.rectangular
lado dimensão-transversal-e-ligada-à Sfc.3, paralelepípedo.rectangular
lado dimensão-transversal-e-ligada-à Sfc.5, paralelepípedo.rectangular
lado.2 dimensão-transversal-e-ligada-à Sfc.4, paralelepípedo.rectangular
lado.2 dimensão-transversal-e-ligada-à Sfc.6, paralelepípedo.rectangular.

3.3.2.2. A representação da informação de outros elementos relativos à *informação geométrica sobre peças mecânicas através do modelo de entidades.*

Conforme afirmado anteriormente, a descrição da composição geométrica da *peça discreta* unicamente em termos das *formas características*, ao se utilizar o método da *síntese de volumes elementares*, é insuficiente para uma completa explicitação da informação geométrica relativa à peça. Desta forma, impõe-se a necessidade de que novos elementos venham a ser adicionados às *formas características* como entes representativos da descrição da peça.

Por exemplo, a análise de modeladores baseados no método da *síntese de volumes elementares* revelou a necessidade de serem introduzidas entidades relativas à informação sobre o modo de conexão entre as *formas características*, pois deve ser explicitada a *conexão* e o *modo de ligação* entre os volumes elementares, para haver uma compreensão mais completa sobre a descrição da geometria da peça.

Do mesmo modo, a especificação de dimensões entre *formas características*, que não pertence à descrição individual dessas, e a especificação sobre *tolerâncias geométricas* também será especificamente tratada ao nível do modelador.

3.3.2.2.1. A representação da informação sobre o *modo de união* das *formas características*.

A representação da geometria das peças neste modelo está baseada na abordagem da *síntese de volumes elementares*, que supõe a existência de um arranjo espacial de *volumes elementares* sem condicionar o modo como ocorrem as conexões entre esses. Observe-se que o modelo geométrico conforme descrito até aqui apenas é capaz de estabelecer a *posição relativa* das *formas características* sem explicitar o modo de união (conectividade) ou a *relação de pertença* entre as *formas* e as peças. Note-se que esses aspectos não podem ser resolvidos unicamente através das *relações de posição* apresentadas no tópico 3.2.

A implementação da entidade informação relativa à *união de formas características* no

modelo representa declarativamente a existência da *união física* entre *formas características*, devendo explicitar todos os casos de existência de contacto entre *cada* par de superfícies superpostas das diferentes *formas*. Essas entidades deverão conter a seguinte informação:

- a) os identificadores de cada par de superfícies contactantes, conforme especificação utilizada pelo modelo para cada *forma característica* (apresentadas no Apêndice B);
- b) a que *formas características* pertencem cada uma das superfícies contactantes;
- c) a que *peça(s) discreta(s)* pertencem cada uma das duas *formas características*;
- d) o modo em que dá-se a *união* entre as *formas características*.

Caso as *formas características* pertençam à mesma *peça discreta*, isto será indicado pela repetição do nome dessa peça, associado a uma e à outra *forma*. Neste caso, ocorre um *tipo de união* entre as *formas características* baseada na *continuidade do meio físico*. Se as *formas* pertencem a *peças discretas* distintas, mas encontram-se ligadas, isto significa que foram unidas por algum tipo de processo tecnológico de fabricação. Se a união foi obtida por um processo que implicou a existência de adesão superficial, essas superfícies estão ligadas de um modo dito *permanente*. Havendo contacto sem adesão, isto significará ter ocorrido uma montagem de peças (isto é, uma *ligação não-permanente*). O campo *tipo de união* na entidade *elemento de união entre formas características* poderá então assumir os valores *meio contínuo*, *ligação permanente* ou *ligação não-permanente*, sendo denominada *conectividade* essa caracterização do *modo de união* entre as *formas características*.

Observe-se que a existência do campo que indica a que *peças discretas* pertencem cada uma das duas *formas características* constitui um mecanismo capaz de estabelecer a que *peça discreta* cada *forma característica* está ligada, tornando esta vinculação unívoca e explicitando a *relação de pertença* entre as *formas características* e suas respectivas peças.

Existe um paralelo entre os *tipos de união* possíveis entre *formas características* e a classificação adoptada relativamente aos processos tecnológicos de *obtenção da forma* das peças. Assim, uma união do tipo *meio contínuo* estará relacionada aos processos de *obtenção da forma* aplicáveis a *peças discretas*, ao passo que as uniões do tipo *ligação permanente* e *ligação não-permanente* estarão ligadas, respectivamente, aos processos de montagem de *junção permanente* e de *junção não-permanente*. Observe-se ainda que estes processos estão posicionados num mesmo nível na estrutura em árvore relativa à *base de objectos* (ver figura 3.12). Note-se também que a existência da descrição do *tipo de união* entre as *formas características* permite estabelecer no *modelo de representação da informação* o modo em que ocorre a *conectividade* entre as mesmas.

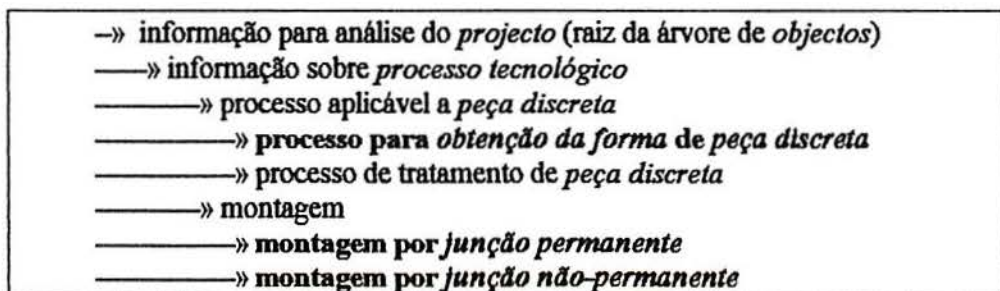
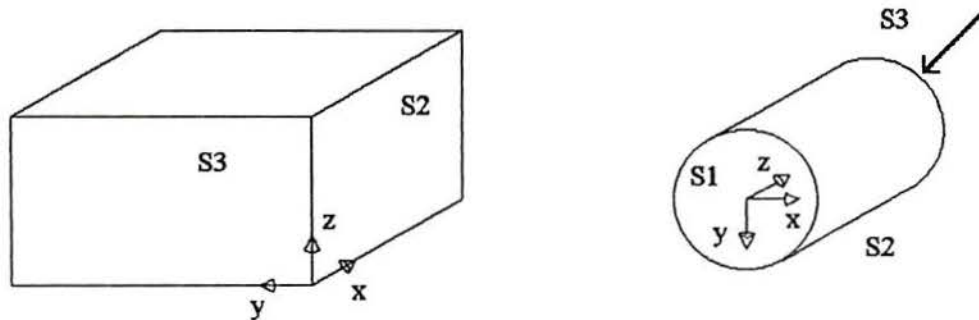
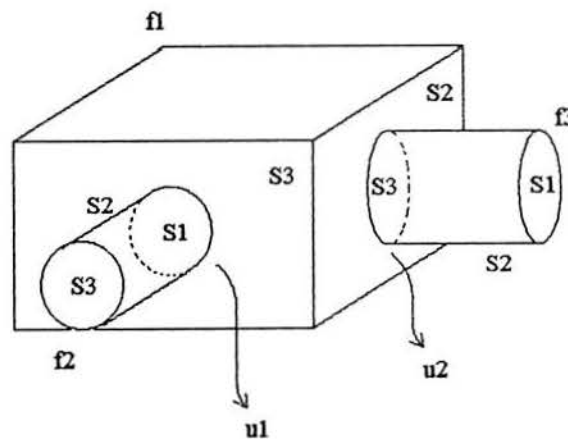


Figura 3.12 - Organização e classificação dos processos tecnológicos na *base de objectos*.

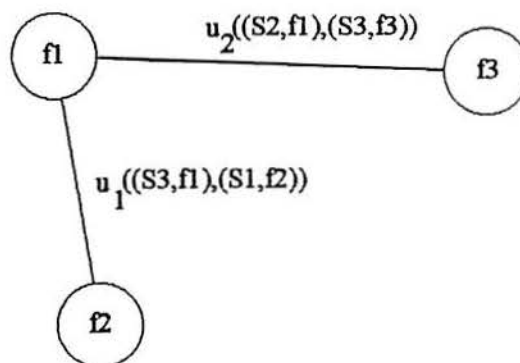
A introdução da entidade relativa à *união entre formas características* na descrição do modelo geométrico da peça vem a suprir parcialmente a lacuna da inexistência de informação declarativa sobre o modo pelo qual é efectuado o arranjo das *formas características* no espaço. Isto é obtido através da explicitação das *relações de adjacência* entre as *formas*. A disponibilidade dessa informação permite que seja conhecida a vizinhança de uma determinada *forma característica*. Como muitos dos problemas relativos à fabricação das peças dizem respeito à *interacção* de uma *forma característica* com aquelas situadas na sua vizinhança, esse tipo de informação geométrica tem de estar presente no modelo.



(a) Configurações geométricas de formas das classes *paralelepípedo* e *cilindro*.



(b) Representação visual da união entre 1 *paralelepípedo* e 2 *cilindros*.



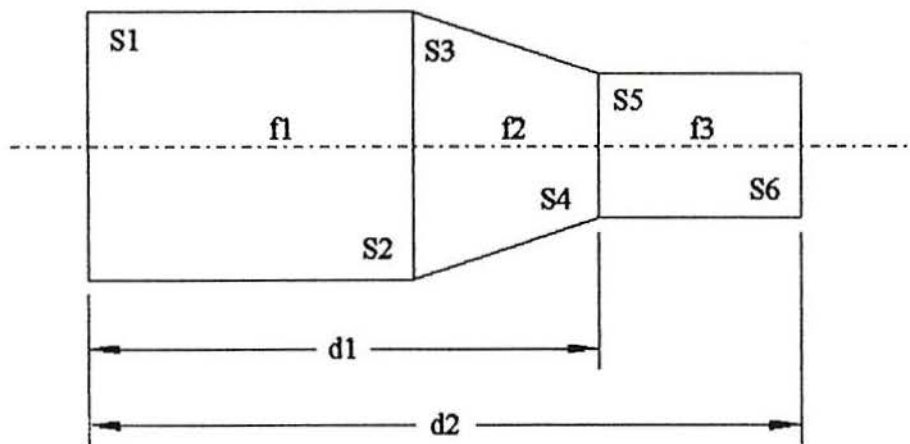
(c) Representação *por grafo* da união entre 1 *paralelepípedo* e 2 *cilindros*.

Figura 3.13 - Modos de representação de uniões entre formas características.

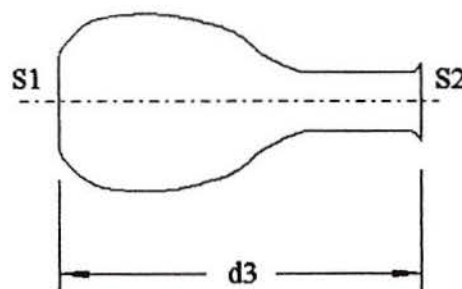
Observe-se ainda que a informação relativa ao conjunto de *formas características* e de suas uniões poderia ser traduzida por grafos, em que as *formas características* são os *nós*, e os *elementos de união* entre cada par de *formas características* são o conjunto de *ligações* entre os nós do grafo. A figura 3.13 apresenta uma peça formada por 3 *formas características*, configurando duas situações de *união* entre as *formas*. Observe-se que a face *S1* da *forma característica f2* está ligada à face *S3* da *forma f1*, gerando a união denominada *u1*. Do mesmo modo, a face *S3* de *f3* une-se à face *S2* de *f1*, gerando *u2*. A figura 3.13-c apresenta a representação por grafo dessas uniões. Deve-se notar, ainda, que, dependendo da geometria da peça, esses grafos poderão ser do tipo não-planar.

3.3.2.2.2. A representação da informação sobre as *dimensões explícitas*.

A utilização unicamente das dimensões *implicitamente* definidas nas *formas características* é insuficiente para a perfeita especificação dimensional da peça em termos de *projecto mecânico* com a captura e documentação da intenção do projectista. Por exemplo, é necessário introduzir uma entidade que seja capaz de representar declarativamente as dimensões entre elementos geométricos pertencentes a diferentes *formas características* (superfícies de *formas*, no caso da figura 3.14-a). Também é necessário prover um mecanismo para a explicitação de dimensões relativas a uma única *forma característica* quando essa não possuir uma definição canónica (*forma explícita*).



(a) Dimensões explícitas ($d1$ e $d2$) utilizadas entre elementos geométricos de diferentes *formas*.



(b) Dimensão explícita ($d3$) utilizada entre elementos geométricos de uma mesma *forma explícita*.

Figura 3.14 - Casos de utilização da entidade *dimensão explícita*.

Na figura 3.14-a, observe-se que as dimensões denominadas d_1 e d_2 não estão implicitamente definidas nas *formas* apresentadas; devendo serem representadas através de instâncias da entidade *dimensão explícita*. Note-se que o elemento geométrico tomado como referência comum para ambas as especificações de dimensões é a superfície S_1 . Por outro lado, essa entidade também é útil para a especificação de dimensões entre elementos geométricos pertencentes a uma mesma *forma explícita* (ver figura 3.14-b). Neste caso, a *distância* entre as superfícies S_1 e S_2 na *forma explícita* apresentada (e também a sua *zona de tolerância*) não podem ser representadas na própria entidade correspondente à mesma, pois apenas as instâncias de entidades das classes *forma implícita* e *elemento de forma* contêm a representação implícita (paramétrica) das dimensões existentes na *forma*.

Basicamente, todas as dimensões presentes no *desenho* de uma peça mecânica e que não possam ser directamente associadas às dimensões implicitamente definidas nas *formas características* devem ser representadas através das *dimensões explícitas*. Observe-se que o entendimento do projectista quanto à necessidade de se representarem certas dimensões como *dimensões explícitas* deve ser respeitado, a menos que isso gere alguma inconsistência de representação dimensional. Portanto, as dimensões presentes nos rascunhos de desenhos que tenham sido directamente utilizadas como base para a parametrização das *formas* podem ser novamente utilizadas para a especificação de *dimensões explícitas*.

É fundamental que se perceba que a entidade *informação sobre dimensões explícitas* permite que se represente no modelo geométrico das peças o dimensionamento dessas exactamente do mesmo modo como normalmente visto pelo desenho mecânico. Isso é particularmente válido em casos como o apresentado à figura 3.14-a.

A entidade informação sobre *dimensão explícita* deverá conter os seguintes campos descritores:

- o *tipo da dimensão* a ser especificada pela entidade (*linear* ou *angular*);
- o *valor da dimensão* e a sua *tolerância*;
- os *tipos de elementos geométricos* a serem tomados como *referência* para a *medida*;
- os *identificadores* desses elementos;
- a *identificação das formas características* a que pertencem cada um dos *elementos geométricos* tomados como *referência* para a *medida*;
- a *identificação da(s) peça(s) discreta(s)* a que pertencem as *formas características* identificadas.

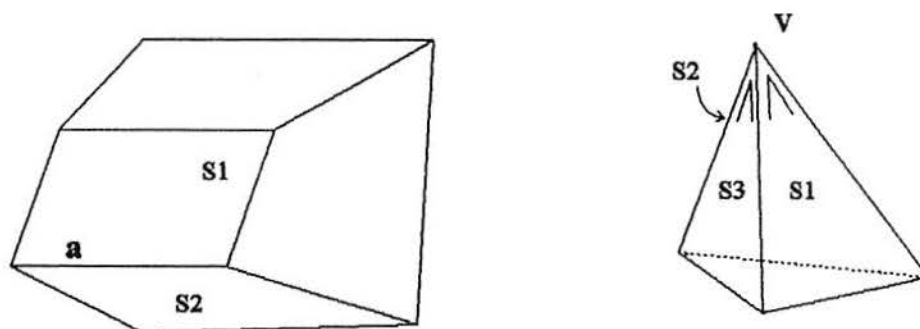


Figura 3.15 - Arestas e vértices: elementos geométricos referenciáveis na definição de *dimensões explícitas*.

Os elementos geométricos que podem ser tomados como referência são aqueles definidos pelo modelo, a par de outros cujo posicionamento pode ser deduzido. Os elementos presentes na definição das entidades da classe *informação sobre forma característica* e que, portanto, podem ser aqui utilizados, são os seguintes:

- as faces (superfícies) de *formas características*,
- os pontos A e B das *formas características*,
- as *linhas de referência* das *formas características* (representadas pelos segmentos de recta que unem os pontos A e B).

Elementos geométricos que não estejam implicitamente definidos no modelo, como *arestas e vértices de formas características*, cuja posição pode ser deduzida sem ambiguidade, também podem ser utilizados como referência de medidas. Neste caso, tanto as *arestas* como os *vértices* serão identificados através das *superfícies confluentes das formas* em que aparecem. Por exemplo, na figura 3.15-a, a aresta *a* é originada pela confluência das superfícies S_1 e S_2 , que a definirão. Da mesma forma, na figura 3.15-b, o vértice *V* é formado pela confluência das superfícies S_1 , S_2 e S_3 .

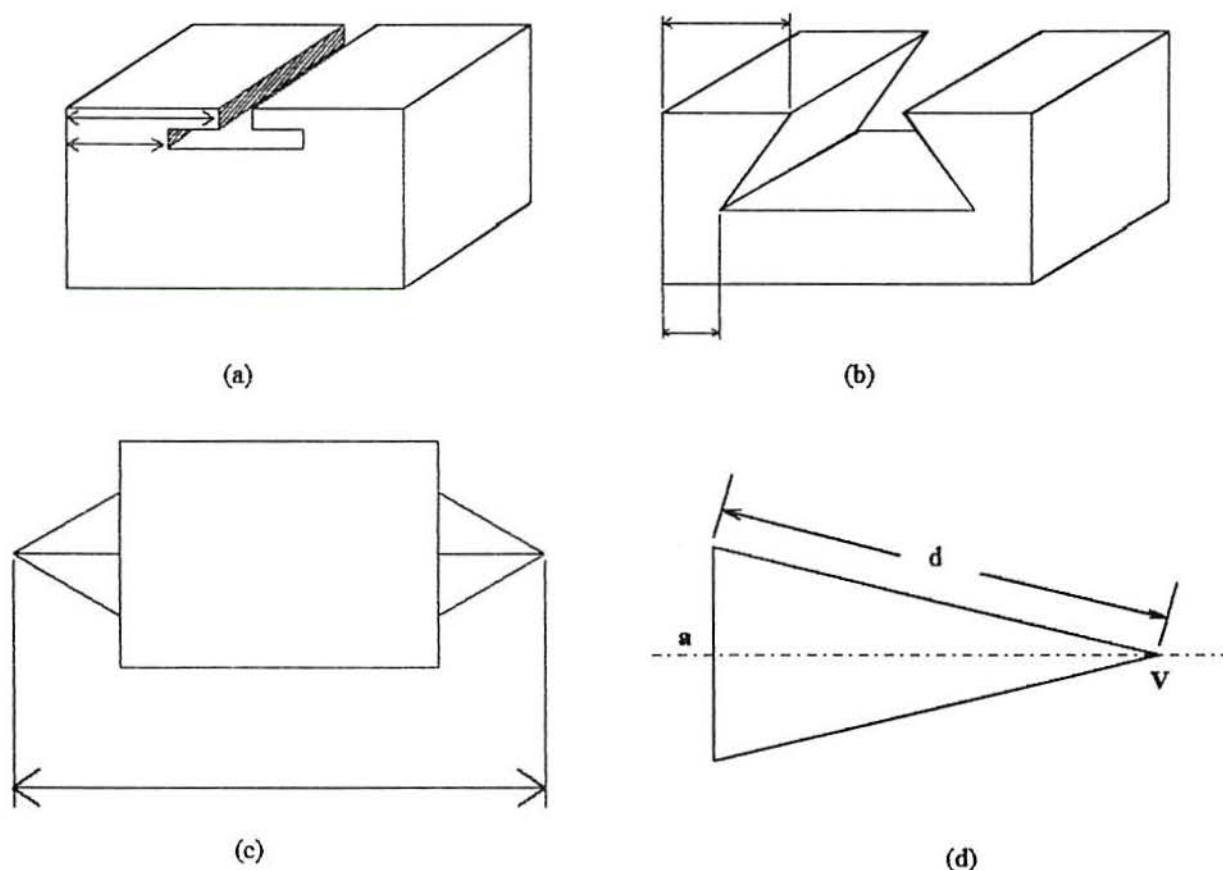


Figura 3.16 - Especificação por *dimensões explícitas* das dimensões não definidas implicitamente nas *formas*.

A figura 3.16 apresenta outras possibilidades da utilização da entidade relativa à informação sobre *dimensão explícita*. Na figura 3.16-a, as *dimensões explícitas* dizem respeito a distâncias entre duas superfícies, na *especificação do posicionamento* de um entalhe em forma de Tê. Mas o entalhe em forma de *rabo de andorinha* apresentado na figura 3.16-b tem o seu posicionamento especificado de outra maneira, entre uma superfície e arestas. Na figura 3.16-c é apresentada uma

dimensão entre dois pontos; observe-se que cada um dos pontos é definido pelas *superfícies laterais* das *pirâmides*. Na figura 3.16-d, uma *forma implícita* (cone) é definida através do comprimento da geratriz, diferentemente da parametrização implicitamente adoptada no modelo. Para tanto, é definida a distância entre o vértice V (estabelecido pela superfície lateral do cone), e a aresta a (estabelecida pela confluência entre a superfície de base e a superfície lateral do cone).

Assim, a entidade referente às *dimensões explícitas* também poderia ser utilizada para dimensionamento de uma *forma implícita*, se o projectista assim o preferir. Evidentemente, porém, em todos os casos, deve-se respeitar a consistência da informação dimensional presente no projecto, não podendo ocorrer conflito entre a informação existente nessa entidade e nas dimensões implicitamente definidas nas *formas*. Esta observação é especialmente importante para casos como o apresentado na figura 3.16-d.

3.3.2.2.3. A representação da informação sobre as *tolerâncias geométricas*.

A entidade informação sobre *tolerância geométrica* baseia-se nas definições relativas às tolerâncias geométricas constantes das normas ISO R-1101 e DIN 7184, semelhantes às da norma ANSI Y14.5 (esta, por exemplo, foi utilizada no trabalho apresentado por Shah e Miller ⁹¹, referente à representação de *tolerâncias geométricas* numa *base de dados orientada por objectos*).

As *tolerâncias geométricas* presentes no modelo são representadas pelas entidades *tolerância de rectilíneidade*, *tolerância de planicidade*, *tolerância de circularidade*, *tolerância de cilíndricidade*, *tolerância de forma de uma linha qualquer*, *tolerância de forma de uma superfície qualquer*, *tolerância de paralelismo*, *tolerância de perpendicularismo*, *tolerância de inclinação*, *tolerância de localização de elemento*, *tolerância de concentricidade*, *tolerância de simetria* e *tolerância de movimento*, as quais estão arrançadas na árvore de *objectos* seguindo a própria classificação proposta utilizada pela norma ISO R-1101.

Como mencionado no tocante à entidade informação sobre *dimensão explícita*, apenas os elementos geométricos reconhecidos pelo modelo podem ser utilizados como referência nas especificações das tolerâncias geométricas. Observe-se que a maneira pela qual as *tolerâncias geométricas* são especificadas é muito semelhante à utilizada para a representação das *dimensões explícitas*. No Capítulo 5, serão apresentados exemplos de representação das *tolerâncias geométricas* através dos *objectos*.

Observe-se que a especificação de uma tolerância geométrica também está relacionada com a explicitação da intenção do projectista. Por exemplo, quando o projectista especifica a necessidade da existência de concentricidade entre duas *formas características* pertencentes a duas diferentes *peças discretas*, estará especificando, de maneira subjacente, uma condição de montagem entre duas *peças discretas*. Esta informação terá de ser considerada, por exemplo, para a análise deste agrupamento de *peças discretas* sob o ponto de vista do *Projecto Orientado à Montagem*.

3.4. A representação da informação sobre materiais, processos e máquinas de construção.

Para além da representação relativa às peças mecânicas, o modelo de informação necessita da representação de entes de outra natureza a fim de facultar a análise em *Projecto Orientado à Fabricação*. No contexto da investigação descrita, foi identificada a necessidade de adopção dos seguintes entes entre aqueles a serem representados: os *materiais de construção*, os *processos tecnológicos* de construção e as *máquinas* de fabricação. Todos estes entes possuem uma representação relativamente complexa, composta por vários campos descritores, o que também determinou que a implementação de sua descrição fosse obtida através da utilização do conceito de *objectos*. A representação desses entes através do *modelo de entidades* supõe que uma estratégia de classificação e sistematização da informação similar à utilizada na representação de peças mecânicas venha a ser efectuada.

3.4.1. A representação da informação sobre materiais de construção através do *modelo de entidades*.

A representação da informação sobre os materiais de construção está basicamente dividida em duas entidades: informação sobre o *tipo de material de construção* e informação sobre a *forma do material de construção*. Esta entidade corresponderá à forma em que o material pode ser comercializado.

Os descendentes da entidade *tipo de material de construção* estão descritos em termos de propriedades físicas, químicas e estruturais e estão subdivididos em metais, não-metais e materiais compósitos, baseando-se numa classificação geral de materiais apresentada por Bralla ¹². O objectivo desta classificação foi o de apresentar uma estrutura geral em que os materiais pudessem ser incluídos. Não se procurou, de modo algum, obter uma representação absolutamente completa dos *tipos* de materiais de construção utilizados no *projecto mecânico*. Apenas os aços foram descritos de maneira mais completa, a título de ilustração.

As *formas comerciais* em que os materiais de construção são encontrados também foram descritas. Basicamente, essas *formas comerciais* devem ser seleccionadas e dimensionadas conforme o projecto, e esses parâmetros de dimensionamento deverão ser usualmente representados nas entidades. Também a classificação aqui adoptada visa apenas à introdução de um modelo para a descrição desta classe de entidades, não sendo, portanto, absolutamente completa.

3.4.2. A representação da informação sobre processos de fabricação através do *modelo de entidades*.

A informação sobre processos tecnológicos de construção de peças mecânicas foi definida de acordo com a utilização requerida pelas *aplicações* relacionadas com o *Projecto Orientado à Fabricação*. Assim, a especificação da informação não é tão pormenorizada quanto seria requerido, por exemplo, para utilização em sistemas relacionados com o *Planeamento de Processos*.

O projectista é solicitado a estabelecer a relação entre as superfícies e as dimensões das *formas características* e as operações de fabricação que as produzirão. Evidentemente esta actividade não faz parte das tarefas usualmente requeridas de um projectista. Contudo, desde que os processos a serem utilizados sejam conhecidos (o que será facilitado pela existência de uma ferramenta de apoio à actividade de *Seleção de Processos*, conforme será demonstrado no Capítulo 4), o projectista terá unicamente de prever a maneira pela qual as operações irão afectar a obtenção das *formas*, o que não parece ser uma exigência excessiva.

Os processos de construção foram subdivididos em processos que estão directamente relacionados com a *obtenção da forma* da peça e processos destinados ao *tratamento do material da peça*.

Os processos de *obtenção da forma* estão subdivididos em processos de *obtenção da forma de peças discretas*, de *peças compostas* (processos de montagem por *junção permanente*) e de *agregados de peças discretas* (processos de montagem por *junção não-permanente*). Na *obtenção da forma de peças discretas*, foram consideradas três grandes classes de processos: *fundição*, *enformação* e *maquinação*. Os processos de *maquinação* foram mais bem detalhados, apenas para efeito de utilização nesta investigação.

Os processos de tratamento estão subdivididos em processos de tratamento superficial da peça e tratamento não-superficial. Estes estão relacionados com o tratamento da estrutura do material da peça através de processos de natureza térmica, mecânica ou química.

As entidades utilizadas na representação dos processos identificam os seguintes elementos como campos descritores:

- a) os tipos de máquinas associadas aos processos (e, opcionalmente, as próprias máquinas);
- b) apenas para os processos de *obtenção da forma de peças discretas*, os valores de tolerâncias dimensionais mais exigentes que podem ser usualmente produzidos pelo processo (são representados valores relativos à máxima *diferença superior* e à mínima *diferença inferior* de medida admissíveis);
- c) a faixa de valores de rugosidade superficial normalmente produzidos pela utilização do processo (apenas para os processos de *obtenção da forma de peças discretas*);
- d) uma indicação sobre sequenciamento de operações quando necessário;
- e) indicações sobre as *formas características* afectadas directamente pelas operações relativas a um processo (apenas para os processos de *obtenção da forma de peças discretas*);
- f) indicações sobre as superfícies e as dimensões implicitamente definidas das *formas características* envolvidas nas operações dos processos (apenas para os processos de *obtenção da forma de peças discretas*);
- g) indicações sobre *dimensões explícitas* envolvidas na realização das operações;
- h) indicações sobre as *tolerâncias geométricas* especificadas e afectadas pelas operações;

- i) indicações sobre *elementos de união entre formas características* relacionados com a aplicação das operações (apenas para os processos de *obtenção da forma de peças compostas e agregados de peças discretas*).

Para além desses campos descritores, outros poderiam ser incluídos nessas mesmas entidades se o objectivo do estudo a ser efectuado fosse a obtenção do *plano de processos* de fabricação da peça mecânica. Neste caso, uma descrição mais completa das operações a serem efectuadas seria requerida. Por exemplo, as entidades relacionadas com os processos de maquinação deveriam então conter indicações sobre ferramentas de corte, ferramentas de fixação da peça, superfícies das *formas características* sujeitadas para a realização das operações, parâmetros de maquinação, indicações sobre os tempos de operação, estimativas de custos do processo, etc. Porém, o objectivo da investigação aqui efectuada é o da *análise de projecto* sob a perspectiva da sua *exequibilidade*. Desta forma, não será necessário estabelecer *planos de processos* para as peças, e a informação relativa aos processos não será representada de maneira completa. Apenas as dimensões, superfícies e tolerâncias geométricas geradas pela execução das operações inerentes a um determinado processo serão explicitamente referidas, porque a confrontação desta informação geométrica com o processo de construção escolhido será efectuada no âmbito da análise em *Projecto Orientado à Fabricação*.

3.4.3. A representação da informação sobre *máquinas de construção* através do *modelo de entidades*.

A necessidade de se representar a informação relativa a máquinas de construção fundamenta-se em que nem sempre as peças projectadas podem ser construídas no ambiente industrial eventualmente a serviço da unidade industrial em que trabalha o projectista. Assim, o projecto das peças pode ser afectado pela condição de restringir-se aos recursos operacionais encontrados na fábrica.

A entidade informação sobre *máquinas de construção* está basicamente subdividida em *informação sobre máquinas para tratamento de peças discretas* e *informação sobre máquinas para geração da forma de peças mecânicas*. Na investigação em curso, as máquinas serão representadas em função de suas especificações nominais e estas serão analisadas em confrontação com o requerido para a construção das peças. As informações relativas às máquinas modeladas foram obtidas de catálogos⁹⁹, sendo que as entidades representantes das mesmas deverão conter as diversas características operacionais da máquina. Para equipamento a utilizar em operações de maquinação, por exemplo, as seguintes características devem ser representadas:

- a) as *dimensões máximas* admissíveis para a *peça de trabalho* (tradução do termo em Língua Inglesa "workpiece");
- b) o *peso máximo* admissível para a *peça de trabalho*;
- c) os valores para *tolerâncias geométricas* usualmente obtidos pela utilização da máquina;
- d) a *potência nominal* e o coeficiente de *rendimento* da máquina;

Sendo necessário elaborar uma análise mais específica de *fabricação*, podem ser incluídos outros campos descritores relacionados com a precisão da máquina, custo da utilização, etc.. Porém, para fins da análise de *projecto* conforme proposta nesta investigação, a informação descrita pode ser considerada suficiente.

Capítulo 4

4. Implementação do Protótipo de Sistema Computacional.

4.1. A realização de experimentação através da implementação de um protótipo computacional.

O *modelo de representação da informação* introduzido no Capítulo 3 destina-se à aplicação em sistemas computacionais de auxílio ao desenvolvimento de *projectos* segundo a perspectiva da aplicação do *Projecto Orientado à Fabricação* ao *Projecto Assistido por Computador*. A validação do modelo será avaliada através da elaboração e utilização de um protótipo de sistema computacional, assim constituindo a parte experimental deste trabalho.

Assim, neste capítulo será introduzida a implementação do protótipo de sistema computacional efectuada para esta investigação. Este protótipo contempla tanto a implementação do modelo de representação da informação anteriormente discutido, como a implementação dos procedimentos especificamente elaborados nas áreas referentes ao *Projecto Orientado à Fabricação*. Esses procedimentos, referentes à aplicação da *Tecnologia de Grupo*, *Seleccção de Processos* de fabricação e *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*, serão introduzidos neste capítulo.

Deve-se observar que a concepção do sistema computacional proposta irá supor a integração entre um subsistema relacionado com o *Projecto Assistido por Computador* e um subsistema orientado ao *Projecto Orientado à Fabricação*, esperando-se que esses venham a operar concomitantemente. O primeiro subsistema utiliza uma interface gráfica, sendo denominado *módulo gráfico*, estando orientado basicamente à efectivação da actividade do desenho. O segundo subsistema utiliza basicamente uma interface homem-máquina do tipo textual, sendo denominado *módulo textual*. Este foi concebido basicamente para a execução da análise do projecto.

Uma possível arquitectura para esse sistema integrado, aberta inclusive à adição de outras possíveis *aplicações* computacionais, é apresentada à figura 4.1. Espera-se que o *módulo gráfico* seja capaz de prover uma interface homem-máquina suficientemente amigável, capaz de permitir a construção do modelo geométrico da peça segundo os pressupostos da *Tecnologia de Características* e do método da *síntese de volumes elementares*, numa forma, tanto quanto possível, próxima da actividade de desenho usualmente executada nos sistemas de *Projecto Assistido por Computador*. Observe-se, porém, que neste trabalho não serão analisadas a concepção do *módulo gráfico* ou os procedimentos de mapeamento de informação entre os dois módulos.

O utilizador irá recorrer a ambas as interfaces para a utilização do sistema, utilizando a do *módulo gráfico* basicamente para introduzir as especificações de projecto (desenho e inclusivamente alguma informação textual) e a do *módulo textual* para efectuar a análise relacionada com o *Projecto Orientado à Fabricação*. Toda a informação introduzida via *módulo gráfico* é supostamente repassada integralmente à *base de dados* do *módulo textual*. Desde que a informação possa estar presente na *base de dados* do *módulo textual*, a utilização das *aplicações* relacionadas com o *Projecto Orientado à Fabricação* torna-se possível.

Na impossibilidade de se contar com a utilização do *módulo gráfico*, devido à extensão e complexidade dos trabalhos de elaboração de concepção e implementação exigidos, a validade da

estruturação e utilização do modelo foi verificada unicamente a partir da utilização do *módulo textual*. Isso foi facultado através da implementação de funções especificamente orientadas à introdução da informação *via interface textual*, que foi efectuada exclusivamente a fim de suprir a deficiência determinada pela inexistência do *módulo gráfico*.

Tenha-se em conta, porém, que, em princípio, toda a informação relativa à especificação dos projectos de peças deveria ser gerada através da utilização do *módulo gráfico* e posteriormente mapeada para o *módulo textual*. Consequentemente, as *bases de dados* utilizadas pelos dois módulos devem conter informações a serem compartilhadas consoante as funções e requisitos estabelecidos para cada módulo, sendo necessário garantir a consistência da informação no sistema tendo em conta esse critério.

O *módulo textual* foi implementado utilizando-se um ambiente para desenvolvimento de *sistemas periciais*, denominado *Intelligence Compiler* (versão 3.0). Esta opção deveu-se à simplicidade de utilização da linguagem inerente ao ambiente, que facilita a implementação de *bases de conhecimento*, o que é requerido para o desenvolvimento da análise de *projecto*. Uma explanação sobre as características operacionais do *Intelligence Compiler* é fornecida no Apêndice A. Note-se, porém, que o *módulo textual* também se apoia na elaboração de código computacional através da *programação baseada em procedimentos*.

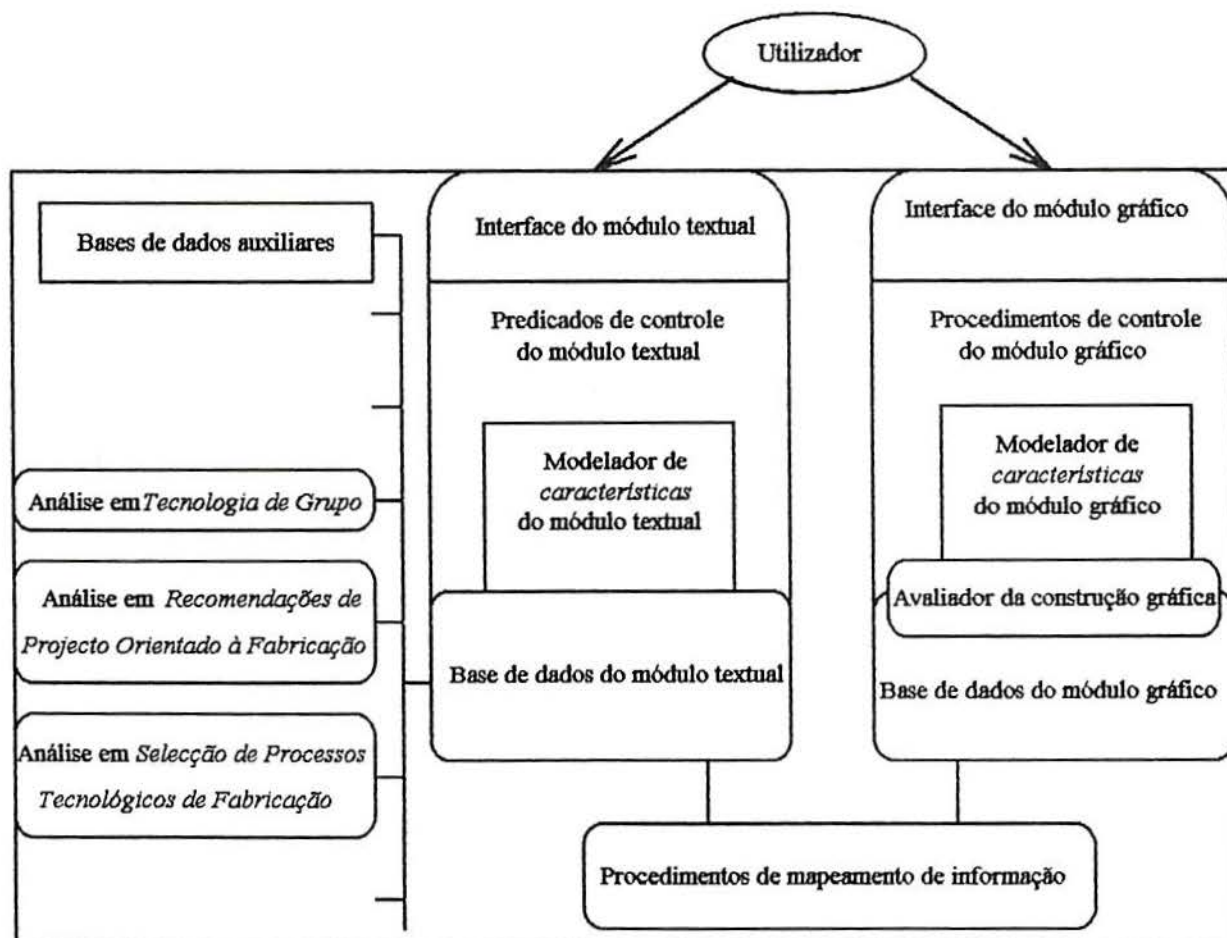


Figura 4.1 - Arquitetura possível para o sistema computacional de aplicação do *Projecto Orientado à Fabricação* ao *Projecto Assistido por Computador*.

Observe-se ainda que o objectivo básico desta investigação centra-se na elaboração e validação do *modelo de representação da informação* introduzido no capítulo anterior e na experimentação da modelação de conhecimento relacionada com o *Projecto Orientado à Fabricação*. Consequentemente, a definição da plataforma de implementação do protótipo de sistema computacional ou a avaliação de seu desempenho constituíram um problema de importância menor neste estágio de desenvolvimento da actividade de pesquisa.

Finalmente, observe-se que a filosofia subjacente ao desenvolvimento do sistema computacional propõe que o utilizador detenha o poder decisório relativamente à utilização das sugestões propostas pela análise efectuada pelas *aplicações* disponíveis no sistema com relação ao projecto em desenvolvimento.

4.1.1. A implementação do modelo de entidades através de uma *base de dados orientada por objectos*.

A estrutura escolhida para a implementação do *modelo de entidades* introduzido no Capítulo 3 foi a das *bases de dados orientadas por objectos*. Para além das razões apontadas no Capítulo 2, tópico 2.4, constata-se que efectivamente esta forma de representação da informação é adequada para tal estrutura de modelo, por haver uma relação bastante directa entre os elementos básicos constituintes de uma e outra (*objectos e entidades*).

A *base de objectos* utilizada nesta investigação é organizada numa estrutura em *árvore*, onde se destacam quatro ramos principais, referentes às entidades informação sobre *especificação de produto*, informação sobre *material de construção*, informação sobre *máquina de construção* e informação sobre *processo tecnológico* (ver esquema à figura 4.2). Essas entidades estão directamente ligadas à raiz da estrutura da *árvore (informação para análise de projecto)*.



Figura 4.2 - Os ramos principais da *árvore de objectos*.

A composição da *árvore de objectos* está relacionada basicamente com a necessidade de se representar os diversos níveis de abstracção utilizados no raciocínio a ser desenvolvido sobre entidades significativas para o *projecto* e a *fabricação* dos componentes mecânicos.

A *base de objectos* baseia-se nas *relações de descendência* e de *herança*. Assim procurou-se tirar proveito de todas as propriedades inerentes à constituição da *árvore de objectos*, conforme é apresentado e discutido no tópico A.2 do Apêndice A. Isso condicionou a estratificação da árvore nos seus diversos níveis, em cada ramo existente. Uma característica importante da *base de objectos* elaborada, relacionada com essa estratificação, é o facto de que regras elaboradas para atingirem determinados *objectos* da *base* podem tornar-se também aplicáveis aos descendentes do mesmo valendo-se apropriadamente das *relações de descendência* e de *herança*. Observe-se ainda que a informação complementar sobre a composição, a estruturação e a utilização da *árvore de objectos* no contexto desta investigação é pormenorizada nos Apêndices C e D.

4.1.2. Tratamento da ambiguidade na representação de *formas características*.

Um aspecto importante a ser considerado na representação das peças através de *bases de formas características* é o problema da *ambiguidade* resultante da escolha de entidades (*formas*) diferentes que permitem obter a mesma configuração geométrica final (ver Capítulo 3, tópico 3.2). Nesses casos, deve-se ter em conta que a razão de ser da aplicação da *Tecnologia das Características* reside na possibilidade de se estabelecer o raciocínio necessário sobre a informação representada segundo o nível de abstracção adequado.

Preferencialmente deve-se optar pela composição dos modelos geométricos das peças com *formas* pertencentes a classes com maior significado em termos do *projecto* ou da *fabricação*. Assim, deve-se preferir a utilização de *formas implícitas* às *formas explícitas*. Da mesma maneira, deve-se preferir a utilização de *formas* da classe *elementos de forma* às da classe *formas discretas* (as *primitivas geométricas de volume*).

Os mecanismos a serem adoptados dentro do *módulo gráfico* a fim de permitirem a elaboração da configuração geométrica consoante esses princípios podem variar de simples instruções didácticas a procedimentos de verificação da construção permanentemente activos. Eventualmente, porém, devido às dificuldades relativas à implementação computacional desse módulo, pode-se optar por construir a peça com *formas* de significado de *menor ordem*, e utilizar procedimentos de *avaliação da geometria*, como os descritos a seguir, para se armazenar a informação no *módulo textual* já contando com as *formas* de significado de *maior ordem*.

Suponha-se, por exemplo, que a peça discreta 5.1, cuja representação é discutida no tópico 5.2.1.1, tivesse sido construída com quatro *formas* da classe *cilindro circular recto* do tipo volume-negativo em lugar das quatro *formas* da classe *furo cilíndrico* utilizadas (e denominemos esta peça discreta como *peça.5.1-b*). Neste caso, a análise do *estado das superfícies* dos *cilindros* (cujas superfícies das bases seriam *virtuais* e superfícies laterais, *reais*) permitiriam concluir que esses constituiriam, na verdade, representações de *furos cilíndricos*.

Assim, realizada tal análise geométrica, poder-se-ia informar ao projectista a constatação efectuada e indagar sobre a possibilidade de se redefinir a peça quanto às *formas características* constituintes (utilizando-se *furos* em lugar de *cilindros*). Por hipótese, esse procedimento seria realizado de maneira automática pelo sistema computacional com a transferência da informação relativa às *formas* a serem desconsideradas (os cilindros) para as entidades representativas das *formas* a serem efectivamente utilizadas na representação da peça (instâncias da entidade da classe *furo cilíndrico*, a serem então criadas).

Para verificação desta hipótese, construiu-se a representação da peça 5.1-b (ver Apêndice F, tópico F.1.4) e considerou-se a possibilidade de se proceder a esse procedimento de *mapeamento* da informação existente nas *formas* da classe *cilindro circular recto* para as *formas* da classe *furo cilíndrico*. Esse procedimento foi efectivamente implementado através do predicado verificar-existência-de-cilindro-furo, cuja definição é apresentada no Apêndice E, tópico E.3.1.1. Observe-se que a informação existente no *objecto* fc.5.1.3.orig é transformada na informação presente no *objecto* fc.5.1.3 através da execução do predicado acima referido.

4.2. A utilização da *Tecnologia de Grupo* no âmbito desta investigação.

A *Tecnologia de Grupo* classifica e organiza as peças mecânicas em conjuntos baseada em critérios inerentes à área de *projecto* ou de *fabricação*. A abordagem relacionada com a área de *projecto* diz respeito à análise da informação sobre o *projecto* da peça, sendo mais comumente realizada utilizando-se *sistemas de classificação (e codificação) de peças*. A abordagem relacionada com a *fabricação* refere-se basicamente à análise da informação subjacente aos *planos de processos* de fabricação das peças e ao *fluxo da produção*.

Um dos objectivos principais visados pela utilização dos *sistemas de classificação* de peças é a *recuperação de projectos* de modo mais eficiente, formando-se grupos com peças de características geométricas semelhantes. Neste caso, os critérios de classificação baseiam-se na classificação da peça discreta em função de sua geometria e topologia. Pode-se dizer que esta análise está baseada no estudo das *formas características* da peça.

Ao mesmo tempo, a *Tecnologia de Grupo* tem muita importância para o *Planeamento de Processos* tecnológicos de fabricação. Normalmente o engenheiro encarregado da definição do *plano de processos* para uma nova peça a ser fabricada irá procurar noutros elementos da mesma família de peças um plano genericamente aplicável às mesmas, tomando-o como ponto de partida para o novo plano a ser elaborado ⁷⁶. Para tanto, a classificação efectuada também será baseada na informação sobre a fabricação relacionada com as *formas características* e outras *características* da peça, como o toleranciamento e acabamento superficial, para além da especificação de materiais de construção (e das condições de produção).

Assim, a análise em *Tecnologia de Grupo* também está, de algum modo, relacionada com o desenvolvimento de modelos de representação da informação utilizados como suporte a sistemas computacionais baseados na *Tecnologia de Características*¹⁰⁰. Há trabalhos descritos em literatura sobre a classificação de peças em *Tecnologia de Grupo* directamente obtida de sistemas computacionais para o projecto de peças mecânicas, relacionados com diferentes áreas do *projecto* ou da *fabricação*, como os seguintes:

- a) Wang⁴⁸ - relacionado com o *reconhecimento* de *formas características* em peças axissimétricas a serem maquinadas;
- b) Bond³⁰ - relacionado com peças a serem fabricadas por estampagem;
- c) Chen¹⁰¹ - relacionado com a classificação de peças de pequenas dimensões a serem montadas por processos automatizados;
- d) Ames¹⁰² - relacionado com peças a serem fabricadas por maquinaria;
- e) Kamarthi¹⁰³ - sobre o *reconhecimento* da *forma geral* de peças através de *redes neuronais*.

Todos esses estudos referem-se ao reconhecimento das formas e das dimensões principais das peças, trazendo como resultado da análise a transcrição da geometria e da topologia de peças discretas (incluindo a identificação de *formas características*) para um código de classificação convencional. Note-se, portanto, que a *Tecnologia de Grupo* guarda relações de proximidade em termos conceptuais para com a *Tecnologia das Características* mesmo quando desvinculada do desenvolvimento de sistemas computacionais para o *Projecto Assistido por Computador*.

Um outro aspecto a ser considerado é o de que a *Tecnologia de Grupo* também é uma ferramenta para o *Projecto Orientado à Fabricação*, pois a sua utilização permite a melhoria da qualidade do projecto face à fabricação. Isto ocorre porque a aplicação da *Tecnologia de Grupo* permite a recuperação de projectos similares àquele em desenvolvimento, e a utilização desses projectos como ponto de partida para um novo projecto a elaborar permite contar com a experiência de produção acumulada relativa a projectos anteriormente executados¹⁰⁴, o que conduz à redução do trabalho envolvido no desenvolvimento do projecto.

A utilização da experiência acumulada permite que possíveis problemas de fabricação encontrados e já solucionados sejam evitados no novo projecto em desenvolvimento. Paralelamente à redução em tempo e esforço despendido na execução do novo projecto, poderá haver a eliminação da proliferação de projectos potencialmente redundantes. Todos esses factores contribuem para viabilizar a racionalização da produção no ambiente industrial, conduzindo à diminuição dos custos de produção pela concentração de recursos e esforços em menor número de projectos a serem executados, presumivelmente sob melhores condições de confiabilidade e qualidade.

Observe-se ainda que a aplicação da *Tecnologia de Grupo* à análise em *fabricação*, utiliza a informação necessária à análise dos recursos exigidos para a produção de uma peça em termos das operações de fabricação (especialmente máquinas e ferramentas), formando-se grupos de peças que utilizem recursos e sequências de operações similares. O objectivo principal desta análise (denominada *Análise de Fluxo de Produção*) é a racionalização dos recursos de produção da fábrica. Um dos resultados possíveis é a organização do arranjo de equipamentos em estruturas de células¹³. Existem diversas técnicas dirigidas à formação de grupos nesta abordagem^{105,106}.

A utilização da *Tecnologia de Grupo* no contexto deste trabalho está baseada na hipótese de que o *projecto* será beneficiado pela possibilidade de se dispor dos recursos providos por essa tecnologia, conforme comentado neste tópico. Pretende-se introduzir um procedimento de utilização da *Tecnologia de Grupo* orientado a aplicações relativas ao *projecto*, especialmente nos domínios da recuperação de projectos armazenados de peças mecânicas, baseado em critérios de similaridade, e da geração de informação para *Seleção de Processos* de fabricação (este último tópico está relacionado com a investigação descrita no tópico 4.3). Diferentemente de outros sistemas de classificação, as análises da geometria e dos processos aqui serão tratadas separadamente e independentemente.

Note-se que o modelo de representação da informação armazena uma significativa parcela da informação necessária à utilização em *Tecnologia de Grupo*, tanto para a abordagem relacionada com a análise do *projecto*, como para a relativa à *fabricação*.

A investigação descrita neste trabalho é dirigida ao estudo da aplicação do *Projecto Orientado à Fabricação* a sistemas computacionais baseados no *Projecto Assistido por Computador*. Consequentemente, os aspectos da *Tecnologia de Grupo* mais directamente relacionados com esta investigação dizem respeito à abordagem na área de *projecto*.

4.2.1. A recuperação de projectos por *similaridade* através de *sistemas de classificação e codificação*.

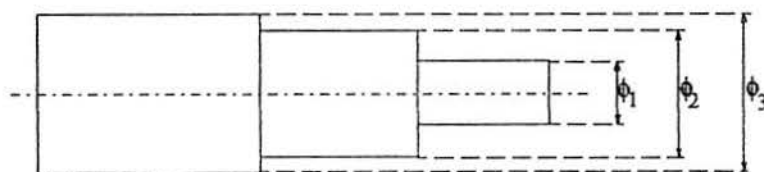
Usualmente os *sistemas de classificação* representam a informação relativa às peças discretas na forma de códigos alfanuméricos. Basicamente tais códigos contêm informação sobre *características* da peça. Esses códigos podem ser facilmente armazenados no modelo de representação da informação proposto nesta investigação através da adição de *campos* a serem incluídos ao nível da entidade *informação sobre peça discreta* (e do *objecto* correspondente).

Alguns problemas normalmente estão associados à utilização dos códigos, como a dificuldade na representação da informação relativa ao *projecto* e à fabricação da peça em modo simultaneamente completo e conciso, a fim de se evitar a geração de códigos excessivamente grandes, complexos e difíceis de manipular. As alternativas existentes quanto à construção do código são os *sistemas hierárquico* ou *independente*, sejam eles *sistemas universais* ou *específicos*, conforme amplamente descrito em literatura^{107,6,13,24}. Qualquer desses, porém, não permite solucionar esse problema satisfatoriamente, o que é apontado como uma das causas a dificultar a aplicação bem sucedida da *Tecnologia de Grupo* no ambiente industrial.

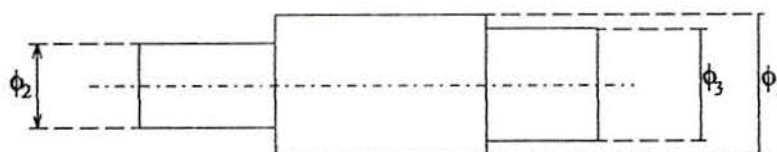
Assim, o procedimento de classificação das peças preferivelmente não deve estar limitado unicamente à informação existente num código alfanumérico (se possível). A utilização de um procedimento adequado de consulta à informação contida no modelo de representação descrito nesta investigação pode viabilizar tal hipótese.

Observe-se que a informação contida nos dígitos dos códigos comumente operados pelos sistemas de classificação aparece num nível de abstracção variável. Existem dígitos que representam informação directamente correspondente a algumas *características* da peça, como usualmente ocorre com aqueles relacionados com o *tipo* ou a *forma do material* escolhidos. A informação contida nestes dígitos pode ser facilmente obtida por procedimentos de consulta directa à *base de dados orientada por objectos*, portanto, dígitos contendo este tipo de informação são, em princípio, prescindíveis.

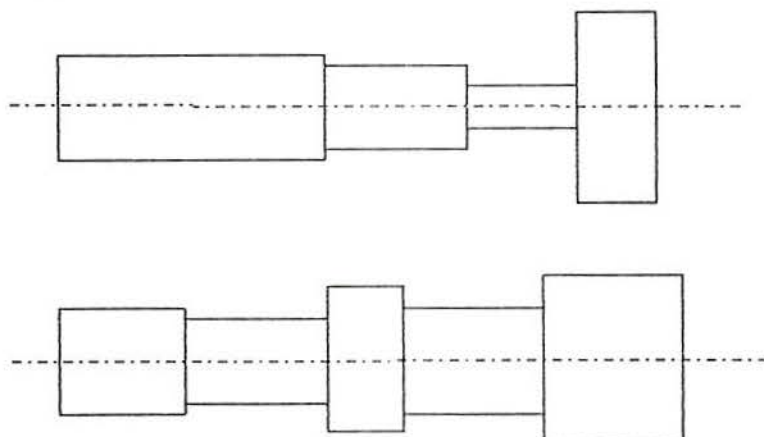
Existem, porém, alguns dígitos que envolvem um nível mais elevado de representação ou de análise da informação, como, por exemplo, os relacionados com a *posição* ou com a *orientação* de determinadas dimensões, superfícies ou formas volumétricas na peça. Um exemplo deste caso, que ocorre nos sistemas de classificação de *Opitz*, *DCLASS* e *MICLASS*, é a existência de dígitos descrevendo a posição relativa dos diferentes diâmetros das *formas características* do *tipo* volume-positivo em peças discretas rotacionais (como as apresentadas à figura 4.3). Esse caso é especificamente analisado com certa frequência pelos *sistemas de classificação e codificação*.



(a) Diâmetros crescentes a partir de uma extremidade da peça.



(b) Diâmetros crescentes a partir de ambas as extremidades da peça.



(c) Outros casos.

Figura 4.3 - Variações do diâmetro das *formas* de *tipo* volume-positivo em peças axissimétricas.

A obtenção de informação dessa ordem a partir da representada no modelo pode ser substancialmente menos simplificada, porque a informação requerida não se encontra explicitamente descrita e armazenada. Portanto, se for utilizado um procedimento de consulta à *base de dados*, esse terá de efectuar a análise da informação extraída. Outra possibilidade é a da elaboração de um procedimento de classificação baseado em consulta directa ao projectista ou ao engenheiro de processos (método interactivo), semelhante ao utilizado pelo *MICLASS*.

É importante ser observado que, em qualquer desses casos, uma vez obtida a informação desejada, é razoável supor o seu armazenamento na *base de objectos*, como *dígitos* (ou *campos*) de um código de classificação. Consequentemente, a existência e a utilização de um código alfanumérico para armazenamento da informação relativa à peça não devem ser postos de parte em procedimentos de análise em *Tecnologia de Grupo* a serem elaborados para operar sobre modelos de representação da informação baseados na *Tecnologia de Características*. Porém, note-se que esse código *não* necessitará representar a parcela de informação que pode ser extraída por consulta *directa* à *base de dados*.

Observe-se ainda que a idéia de se recorrer concomitantemente à utilização de sistemas de classificação convencionais em *Tecnologia de Grupo* e à pesquisa a *bases de dados* que contenham informação para *projecto* e *fabricação* também é sugerida por outros autores, conforme citado por Billo^{108,109}. As *bases de dados* analisadas nestes trabalhos não são constituídas por informação de mesmo grau de diversidade e complexidade como a introduzida nesta investigação; contudo, esse autor também concluiu que a capacidade de armazenamento de informação utilizável permitida pelos sistemas de classificação deve ser incrementada pela consulta às *bases de dados* disponíveis associadas às especificações do *projecto*.

4.2.2. Aplicação do modelo de representação da informação à recuperação de projectos por *similaridade*.

Conforme citado no tópico anterior, é necessário elaborar *sistemas de classificação e codificação* das peças discretas para apreender certo tipo de informação não explicitada no modelo. Para tanto, faz-se necessário analisar os tipos de sistemas existentes. Os sistemas que classificam as peças com base na sua geometria consideram normalmente os seguintes aspectos:

- a) a *forma geral* da peça;
- b) o tamanho da peça (dimensões predominantes);
- c) a presença de determinadas *formas*.

Contudo, a análise do tamanho da peça também está estreitamente relacionada com o fornecimento de informação para a *Seleção de Processos*, e, por isso, não será aqui considerada na análise relativa à *geometria*. Observe-se ainda que a presença de *formas características* nas peças é um tema de análise relativamente simples tomando por base o modelo de informação introduzido nesta

investigação. A classificação da *forma geral* pode ser efectuada em termos estritamente geométricos, mas há sistemas de classificação que relacionam a *forma geral* da peça (ou a forma de seu invólucro) também com aspectos inerentes à fabricação.

Por exemplo, existem sistemas que classificam a *forma geral* da peça relacionando-a com a *forma do material de construção* a ser utilizado e com a escolha dos processos de fabricação. Sistemas deste tipo classificam as peças (ou o seu invólucro) como *rotacionais axissimétricas*, *rotacionais não-axissimétricas*, *prismáticas*, peças do tipo "*chapas de metal*", etc.. O conceito de *rotacionalidade* está usualmente ligado ao da possibilidade de se executar o *torneamento* da peça. Da mesma maneira, as *formas* do tipo *chapa de metal* estão relacionadas com a utilização da *estampagem* na fabricação de peças.

A classificação assim efectuada pode conter alguma ambiguidade. Por exemplo, uma mesma peça poderia ser classificada como *prismática* por um indivíduo e do tipo *chapa de metal* por outro. Além do mais, não pode ser aplicada a um universo mais amplo de peças, por estar limitada a peças a serem produzidas apenas por certas classes de *processos* especificamente (no caso, *maquinação e estampagem*).

A fim de se evitar estes problemas, serão estudadas duas possibilidades de classificação de peças independentemente. A primeira está *exclusivamente* baseada na análise da geometria da peça, e a segunda está orientada ao estudo da *Seleção de Processos* de fabricação, levando em consideração outras *características* e especificações da peça. Assim, serão introduzidos dois novos sistemas de classificação de peças. Deve-se ter em conta, contudo, que isso não invalida qualquer hipótese de implementação de outros sistemas de classificação e codificação conhecidos, inclusivamente via extracção directa de informação a partir da *base de dados*.

A classificação da peça para fins de *recuperação do projecto por similaridade* será baseada na análise da geometria da peça discreta, o que será feito levando em consideração que o modelo geométrico da peça é baseado na *Tecnologia de Características*. Procurar-se-á evitar a ocorrência de situações de ambiguidade como as descritas anteriormente. Serão apresentados também procedimentos para a recuperação da informação armazenada na *base de dados* e para a formação de grupos de peças. Os códigos classificativos serão armazenados ao nível dos *objectos-instâncias* da classe *peça discreta*.

4.2.2.1. Apresentação e utilização de um sistema de classificação de peças exclusivamente baseado em análise geométrica.

A classificação da configuração geométrica da peça baseia-se na resposta a uma série de questões (expostas a seguir), sendo que as mesmas são ordenadas e codificadas para corresponderem ao código de dígitos (da forma " d_i ", com resposta afirmativa representada pelo dígito "1" e negativa pelo dígito "0"):

- d₁ - as formas características de tipo volume-positivo estão dispostas de modo a admitirem a existência de ao menos um (1) eixo de simetria entre si?
- d₂ - existem formas características de tipo volume-negativo, e elas estão dispostas de modo a admitirem a existência de ao menos um (1) eixo de simetria entre si?
- d₃ - existem formas características de tipo volume-negativo e estas e as formas de tipo volume-positivo estão dispostas de modo a admitirem a existência de ao menos um mesmo eixo de simetria entre si?
- d₄ - quantas formas características terminais possui a peça?
- d₅ - quantas formas características de tipo volume-positivo axissimétricas possui a peça?
- d₆ - quantas formas características de tipo volume-negativo axissimétricas possui a peça?
- d₇ - quantas formas características de tipo volume-positivo não-axissimétricas possui a peça?
- d₈ - quantas formas características de tipo volume-negativo não-axissimétricas possui a peça?

Esta classificação visa permitir a distinção entre peças discretas baseada na análise da sua configuração geométrica. Tendo isto em conta, será feita a seguir a discussão sobre alguns aspectos desse sistema de classificação.

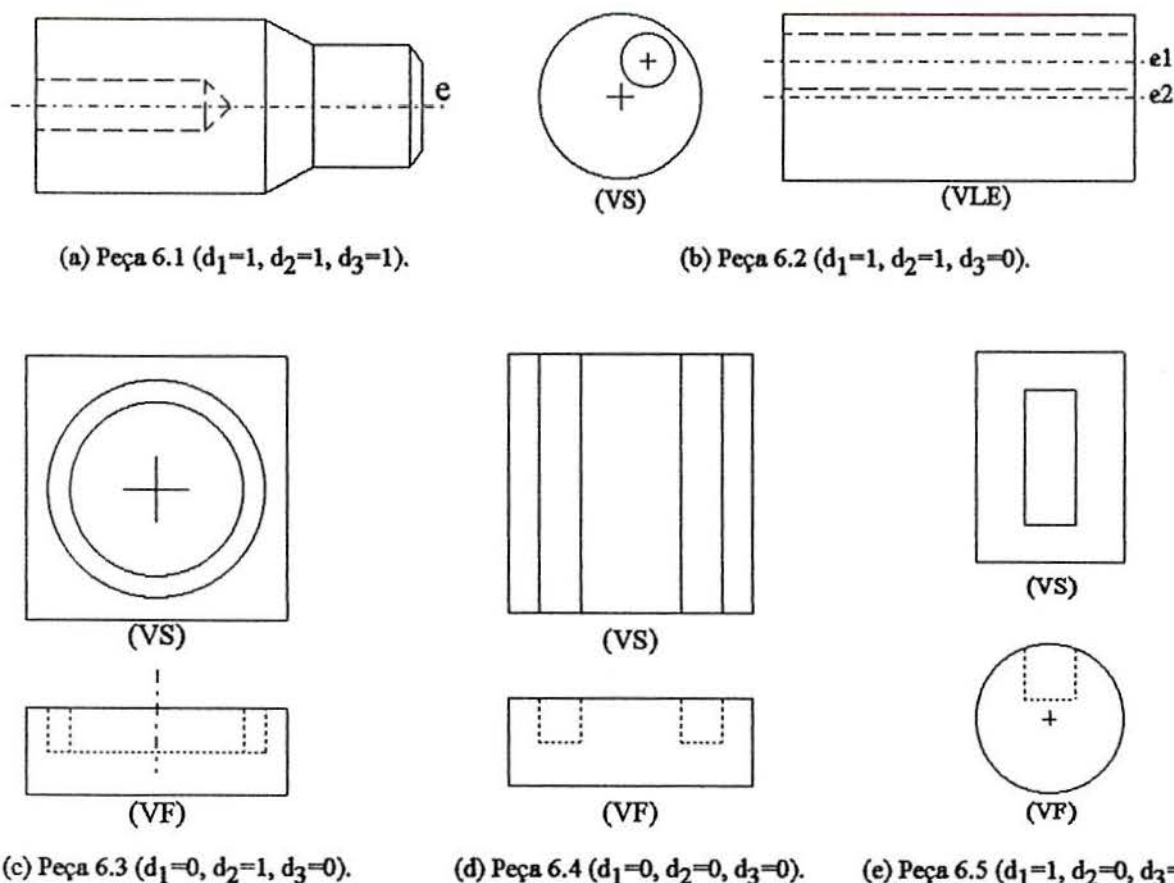


Figura 4.4 - Casos de classificação de peças pelo sistema baseado em análise da geometria proposto.

Observe-se que uma peça será *axissimétrica* se admitir pelo menos um (1) eixo de simetria tal que todos os pontos radialmente equidistantes desse eixo serão pertencentes a porções de volumes do

mesmo *tipo* (volume-positivo ou volume-negativo). Na classificação efectuada, essa simetria será analisada separadamente para as *formas* do tipo volume-positivo e para as do tipo volume-negativo. As *formas* de tipo volume-positivo são as que mais significativamente contribuem para a definição da *forma geral* da peça; porém, a análise, em separado, também das *formas* de tipo volume-negativo pode fornecer alguma indicação quanto à similaridade geométrica entre peças (consulte-se a figura 4.4, apresentando o código classificativo das peças ilustradas). Observe-se que a peça, como um todo, será considerada axissimétrica se uma entre duas hipóteses ocorrer:

- se as respostas às questões relacionadas com os três primeiros dígitos forem afirmativas;
- se apenas a resposta à questão relativa ao primeiro dígito for afirmativa e a peça for formada unicamente por *formas* do tipo volume-positivo (isto é, com $d_6 = 0$ e $d_8 = 0$).

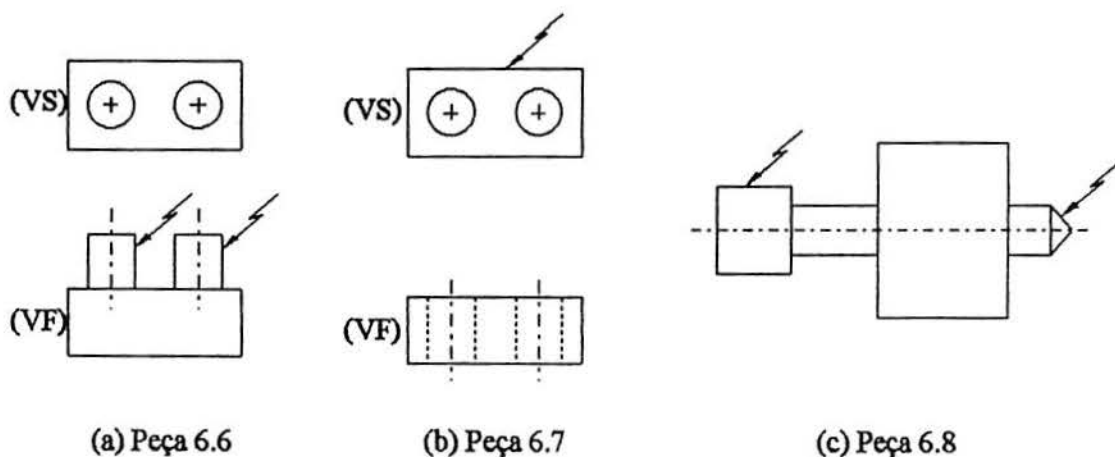


Figura 4.5 - Ocorrência de *formas* denominadas *terminais* em peças discretas (indicadas nos desenhos).

Uma outra observação diz respeito ao conceito de *forma característica terminal* de uma peça discreta. Uma *forma característica* será considerada *elemento terminal* da peça se for do tipo volume-positivo e se estiver unida *no máximo* a uma (1) outra *forma característica* também de tipo volume-positivo (ver ilustração à figura 4.5). Essa indicação auxilia na distinção entre peças de geometria particularmente semelhantes (figura 4.6).

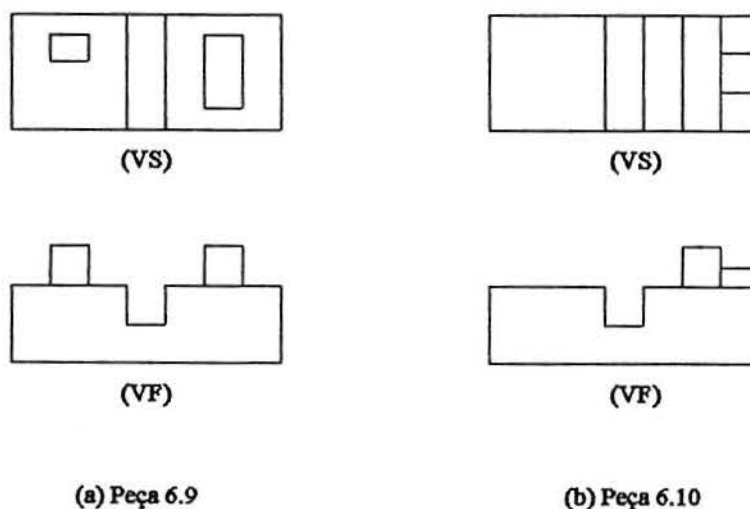


Figura 4.6 - Peças distinguidas pelo número de *formas* terminais (respectivamente 2 e 0).

A utilização dos dígitos relativos à classificação de peças discretas sobre a presença de *formas* axissimétricas e não-axissimétricas é exemplificada através das figuras 4.4, 4.5 e 4.6 e apresentada no quadro 4.1, que contém os códigos classificativos das peças 6.1 a 6.10. Observe-se que uma das principais características do código elaborado é a de facultar a distinção inclusivamente entre peças de mesma *forma geral* e que diferem apenas quanto a pormenores. Compare-se, por exemplo, o par de peças 6.2 e 6.5 apresentadas à figura 4.4 e o par de peças 6.9 e 6.10 à figura 4.6.

código →	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	d ₇	d ₈
peça ↓								
6.1	1	1	1	2	4	1	0	0
6.2	1	1	0	1	1	1	0	0
6.3	0	1	0	1	0	1	1	0
6.4	0	0	0	1	0	0	1	2
6.5	1	0	0	1	1	0	0	1
6.6	0	0	0	1	2	0	1	0
6.7	0	0	0	1	0	2	1	0
6.8	1	0	0	2	5	0	0	0
6.9	0	0	0	2	0	0	3	1
6.10	0	0	0	0	0	0	3	1

Quadro 4.1 - Códigos classificativos das peças apresentadas às figuras 4.4, 4.5 e 4.6.

Também deve ser lembrado que a consulta ao código não é a única alternativa para se analisar a constituição geométrica da peça. Pode-se distinguir entre peças geometricamente muito semelhantes pela pesquisa aos elementos geométricos constituintes da peça. Por exemplo, é possível distinguir a peça 6.11 da 6.12 (figura 4.7), que possuem o mesmo código de classificação quanto à análise de geometria, pelo facto de as *formas características* constituintes não pertencerem à mesma *classe*. Essa distinção pode ser constatada pela análise da composição geométrica da peça discreta, através da consulta ao modelo de representação da informação.

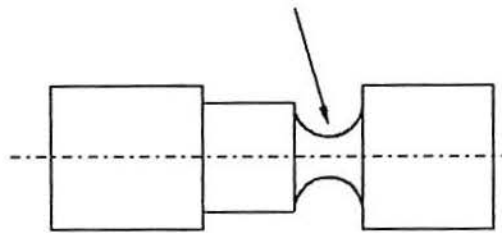
Por outro lado, essa não é a única diferença (a nível de geometria) existente entre as peças 6.11 e 6.12. Mas deve-se ter em conta que a capacidade de análise do *sistema de classificação* poderia ser eventualmente incrementada ou complementada, havendo necessidade. De qualquer forma, fica patente que, a fim de ser possível realizar a análise da geometria da peça em determinadas situações (como a *recuperação de projectos*), é necessário ser efectuado o armazenamento de outra informação de carácter geométrico no modelo que não a descrita até este ponto da explanação.

Observe-se também que o código introduzido não deve ser visto como uma proposta de substituição de outros existentes. O que se procura demonstrar é a viabilidade de se construir um código orientado à análise em *Tecnologia de Grupo* e que procura tirar partido do facto do modelo de descrição da informação sobre a peça ser baseado na *Tecnologia das Características*.

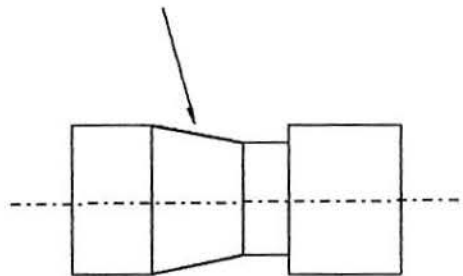
Assim, não se exclui, por exemplo, a utilização de outros códigos (inclusive em paralelo), em que a análise de aspectos específicos não cobertos pelo sistema de classificação aqui introduzido seja

efectuada. Este seria o caso, por exemplo, da questão dos diâmetros de *formas características* do tipo volume-positivo em peças axissimétricas, conforme exposto no tópico 4.2.1 e pela figura 4.3.

A implementação computacional da obtenção do código poderá estar baseada na consulta interactiva ao projectista ou na análise directa da informação constante na *base de dados*. Neste último caso, a obtenção dos três primeiros dígitos do código envolverá a constatação do alinhamento relativo entre *formas características*, que será realizada utilizando-se a informação relativa às *linhas de referência* das *formas características* (conforme o tópico 3.3.2.1) - e das equações providas pela *Geometria Analítica*.



(a) Peça 6.11 (código classificativo: $d_1=1, d_2=0, d_3=0, d_4=2, d_5=4, d_6=0, d_7=0, d_8=0$).



(b) Peça 6.12 (código classificativo: $d_1=1, d_2=0, d_3=0, d_4=2, d_5=4, d_6=0, d_7=0, d_8=0$).

Figura 4.7-Peças de mesmo classificação que diferem pela natureza da classe de uma *forma* constituinte.

O quarto dígito poderá ser obtido pela análise dos *elementos de união* entre *formas características*, pois uma *forma* terminal aparecerá unida a uma *forma* de tipo volume-positivo em apenas um dos *elementos de união* da peça discreta. Os últimos quatro dígitos poderão ser obtidos pela análise do conjunto de *formas características* relacionados com a peça discreta e dos conteúdos dos campos descritores dos *objectos* representantes dessas.

4.2.2.2. Procedimentos para recuperação directa da informação armazenada na *base de dados* e formação de grupos.

A recuperação de projectos é condicionada pelo que o projectista tem em mente quanto à *similaridade* entre as peças. Portanto, os critérios para a formação de grupos de peças podem variar de acordo com o contexto em que a pesquisa ao conjunto existente das mesmas é efectuada. Assim, o critério para a formação de grupos tanto pode ser algo relativamente simples, como a constituição de um

grupo de peças construídas com um certo material, quanto algo mais complexo, como a procura de um conjunto de peças com uma determinada *forma geral* ou possuidoras de determinadas *formas características*.

A pesquisa aos códigos classificativos constitui uma das possibilidades de aplicação de critérios para a formação de grupos de peças. Todavia, essa alternativa não é única quando se dispõe de uma estrutura de representação da informação como a introduzida nesta investigação, pois a informação disponível para consulta não está restrita à armazenada no código classificativo.

Os procedimentos para recuperação de projectos por similaridade aqui desenvolvidos procuram tirar partido do modo como a estrutura de informação foi elaborada. Para tanto, foram criadas algumas funções de consulta à *base de dados* utilizada pelo modelo de representação da informação. Como esta *base é orientada por objectos* ligados por *relações de descendência* e constituídos por campos aos quais estão atribuídos conteúdos, procurou-se explorar as características desse tipo de *base* na formação de grupos de *objectos*. Se estes forem da classe *peça discreta*, terão sido então constituídos grupos de peças discretas.

A seguir serão apresentadas funções para a formação de grupos de *objectos* (aplicáveis a *objectos* de qualquer classe). Essas funções foram *programadas em lógica*, utilizando-se o ambiente para desenvolvimento de *sistemas periciais* denominado *Intelligence Compiler* (consultar Apêndice A para maior informação). A listagem das funções programadas pode ser encontrada no Apêndice E. Segue-se a descrição das funções implementadas.

- Função 1** - todos os *objectos* descendentes de um determinado *objecto* (cujo nome é fornecido pelo utilizador) são encontrados (predicado *achar-filhos-de-objecto-1*, - ver implementação computacional no Apêndice E, tópico E.3.2.1).
- Função 2** - todos os *objectos directamente* descendentes de um determinado *objecto* (fornecido) são encontrados (predicado *achar-filhos-de-objecto-2* - ver implementação computacional no Apêndice E, tópico E.3.2.2).
- Função 3** - todos os *objectos* em nível de nós-folhas descendentes de um determinado *objecto* (fornecido) são encontrados (predicado *achar-filhos-de-objecto-3* - ver implementação computacional no Apêndice E, tópico E.3.2.3).
- Função 4** - todos os *objectos* possuidores de um determinado campo (cujo nome é fornecido) são encontrados (predicado *objecto-com-campo* - ver implementação computacional no Apêndice E, tópico E.3.2.4).
- Função 5** - todos os *objectos* possuidores de um determinado campo (fornecido) cujo conteúdo seja igual a um conteúdo fornecido (de qualquer natureza) são encontrados (predicado *objecto-com-campo-com-valor-1* - ver implementação computacional no Apêndice E, tópico E.3.2.5).

Função 6 - todos os *objectos* possuidores de um determinado campo (fornecido) portadores de um valor numérico maior que um valor fornecido são encontrados (predicado *objecto-com-campo-com-valor-2* - Apêndice E, ver implementação computacional no tópico E.3.2.6).

Função 7 - todos os *objectos* possuidores de um determinado campo (fornecido) portadores de um valor numérico menor que um valor fornecido são encontrados (predicado *objecto-com-campo-com-valor-3* - Apêndice E, ver implementação computacional no tópico E.3.2.7).

Função 8 - todos os *objectos* possuidores de um determinado campo (fornecido) cujo conteúdo seja o nome de um *objecto* descendente de um segundo *objecto* (cujo nome também é fornecido) são encontrados (predicado *objecto-com-campo-com-valor-4* - ver implementação computacional no Apêndice E, tópico E.3.2.8).

Há funções que formam grupos a partir de *operações lógicas* executadas sobre dois grupos fornecidos como entrada (operandos). Essas funções são descritas a seguir (predicado *Operações-Lógicas-entre-2-grupos* - ver implementação computacional no Apêndice E, tópico E.3.2.9).

Função 9 - forma um grupo pela *diferença lógica* entre os grupos "A" e "B" ($A - B$), fornecidos nesta ordem.

Função 10 - forma um grupo pela *intersecção* entre os grupos "A" e "B" fornecidos.

Função 11 - forma um grupo pela *união* entre os grupos "A" e "B" fornecidos.

A seguir são apresentadas funções destinadas à formação de grupos de *objectos* de classes específicas.

Função 12 - forma um grupo de *objectos* da classe *peça discreta*; estas peças devem ser compostas por um determinado *número mínimo* (fornecido) de *formas características* de uma determinada *classe* e *tipo* fornecidos (este, volume-positivo ou volume-negativo, somente deve ser fornecido se a *forma* não o tem intrinsecamente estabelecido). O predicado que define esta função denomina-se *peças-com-fcs*, cuja implementação computacional é apresentada no Apêndice E, tópico E.3.2.10.

Função 13 - forma um grupo de *objectos* da classe *forma característica* encontrados numa determinada *peça discreta* cujo nome é fornecido; a *classe* e o *tipo* da *forma* devem ser fornecidos (este, volume-positivo ou volume-negativo, somente deve ser fornecido se a *forma* não o tem intrinsecamente estabelecido). O predicado que implementa esta função denomina-se *fcs-na-peça*, cuja implementação computacional é apresentada no Apêndice E, tópico E.3.2.11.

A utilização dos procedimentos relacionados com a utilização da *Tecnologia de Grupo* no contexto deste trabalho é apresentada no Capítulo 5.

4.3. A *selecção* e o *planeamento* de processos de fabricação.

A *selecção dos processos* tecnológicos de fabricação de peças mecânicas constitui uma das etapas fundamentais na actividade do planeamento das operações de fabricação de uma peça. É uma tarefa de grande responsabilidade porque uma escolha inadequadamente efectuada nesta etapa do planeamento pode implicar substancial elevação no custo final do produto. Na maioria das indústrias de um certo porte, as actividades relacionadas com o planeamento da fabricação costumam ser atribuídas a engenheiros especializados e experientes. Contudo, se o projectista não tiver ao menos alguma noção dos processos a serem utilizados na construção da peça, é provável que a qualidade do projecto venha a ser afectada, pois existirá a tendência a não se levarem em conta as *recomendações de fabricação* do produto consoante os *processos tecnológicos* a serem empregados na sua fabricação.

Procurando minimizar esse problema, torna-se necessário prover alguma forma de orientação aos projectistas quanto às possibilidades de escolha de processos em sistemas dedicados ao *Projecto Orientado à Fabricação Assistido por Computador*. Isto é fundamental para a análise em *Projecto Orientado à Fabricação*, pois esta somente pode ser executada conhecendo-se os processos de construção a serem utilizados na fabricação da peça. Assim, no contexto desta investigação, os procedimentos para a *Selecção de Processos* serão baseados na análise da informação relativa ao projecto presente no modelo e numa classificação das peças discretas orientada à análise pretendida.

4.3.1. A *Selecção de Processos* baseada na análise da informação sobre a peça.

Nesta investigação, a *maquinação* foi a principal classe de processos escolhida para ser estudada no âmbito da *Selecção de Processos* e da análise em *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*. Esta escolha deve-se a que a geração da forma da peça (e das *formas características*) através dos processos de maquinaria dá-se passo a passo, com operações sucessivamente encadeadas, o que não ocorre com a fundição, por exemplo. Isso determina que a relação entre a execução de uma operação de fabricação e a *forma* obtida torne-se mais evidente. Os processos preferencialmente aqui analisados serão aqueles responsáveis por uma média remoção de massa¹¹⁰: torneamento, fresamento, furação, aplainamento, mandrilagem. Incluem-se ainda alguns outros proximamente relacionados a esses no que respeita à geração de *formas*, como o entalhamento, e o rebaixamento e alargamento de furos.

Basicamente a utilização dos processos e operações de maquinaria na execução de *formas características* numa peça está condicionado por três factores:

- a) a *geometria* das *formas características* (morfologia e dimensionamento - e o seu toleranciamento);
- b) a *forma geral* ("*overall shape*") da peça;
- c) o *encadeamento de operações* previsto no *plano de fabricação* da peça.

Para exemplificar, examinemos alguns casos de construção das *formas características*. Devido à sua *geometria*, a *forma* a executar na peça à figura 4.8 deverá ser obtida por brochamento. Devido à *forma geral* da peça ser axissimétrica, o torneamento será o processo escolhido para a execução das *formas* indicadas na figura 4.9. O furo a ser executado na peça mostrada à figura 4.10-a será executado no engenho de furar, mas os das outras peças (à figura 4.10) serão fresados, devido ao *tipo do fundo* da *forma* (figura 4.10-b) e devido ao *diâmetro do furo* (figura 4.10-c). O furo a executar na peça da figura 4.11 será realizado por uma operação de furação em torno, pois a *forma geral* da peça determina que a mesma seja construída no torno e, assim, o seguimento do plano de fabricação sugere que a maneira mais adequada de construir o furo seja através da furação em *torno*. Se o diâmetro deste furo fosse maior, poderia ser necessário utilizar-se a mandrilagem para a execução do furo, e, se a tolerância relativa ao diâmetro do furo o exigisse, este furo poderia vir a sofrer ainda uma operação de rectificação.

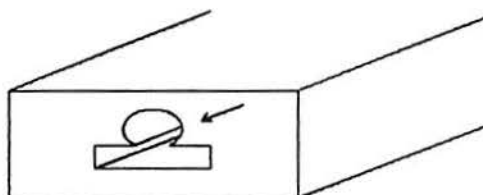


Figura 4.8 - *Forma característica* tipicamente obtida por brochamento (indicada).

Portanto, apenas o conhecimento relativo à natureza da *forma característica* em questão não é suficiente para a definição das operações de fabricação. Também os demais elementos supracitados (a *geometria* das *formas*, a *forma geral* e o plano de fabricação da peça) terão de ser analisados para se chegar adequadamente à selecção dos processos pretendida. Também será necessário estabelecer a relação existente entre os elementos geométricos constituintes das *formas* e a sua obtenção pelos processos de fabricação, bem como as classes de máquinas a serem utilizadas, porque a obtenção das *formas características* é também afectada pelo tipo de máquinas seleccionadas.

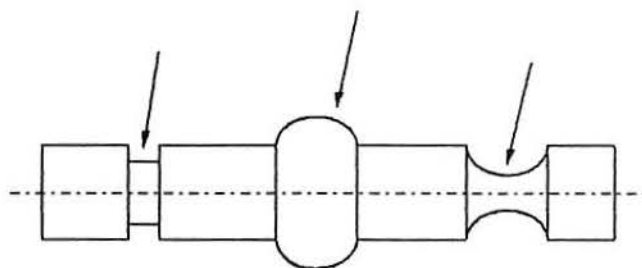


Figura 4.9 - Peça obtida por torneamento.

Observa-se uma distinção fundamental entre os *tipos* de máquinas-operatrizes existentes em termos dos movimentos relativos entre a *ferramenta de corte* e a *peça de trabalho* durante o corte. Há máquinas em que a *ferramenta* permanece *fixa* e a *peça* sofre *movimento* (como é o caso dos *tornos*), e há máquinas em que ocorre o contrário (como, por exemplo, a *fresadora* ou o *engenho de furar*).

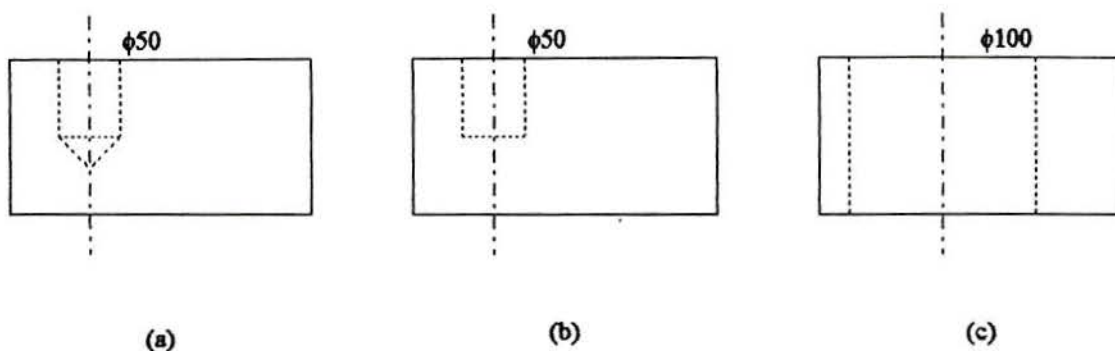


Figura 4.10 - Furos cilíndricos obtidos por operações de fabricação diversas.

A escolha sobre o *tipo de máquina* a utilizar na execução da peça está relacionada com a *forma geral* desta, ao mesmo tempo em que a escolha das operações de fabricação guarda estreita relação com o *tipo de máquina* a utilizar. Por exemplo, a furação executada no torno difere da furação efectuada no engenho de furar em termos dos recursos utilizados para a execução da operação. Assim, a análise da *forma geral* da peça, acrescida das considerações sobre a distinção entre os dois *tipos* de máquinas acima definidos, será utilizada na definição dos processos de fabricação.

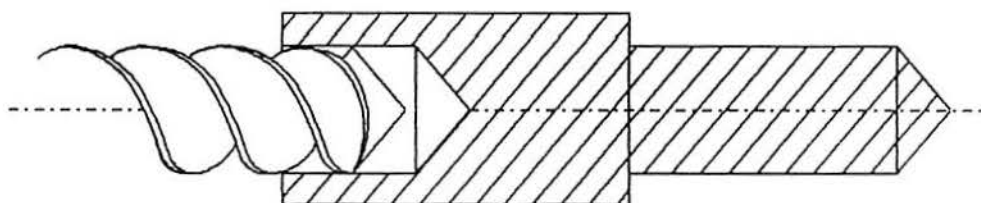


Figura 4.11 - Furo executável no torno, em peça axissimétrica.

Finalmente, para que a análise relativa à escolha de processos seja viável, é necessário complementar a informação armazenada no modelo, a fim de ser possível aplicar determinados procedimentos para a selecção dos processos de fabricação. Esta complementação da informação será obtida pela classificação da peça orientada à análise em *Seleccção de Processos*, que procurará auxiliar na definição do *tipo de máquina* a ser utilizada na fabricação.

4.3.2. Introdução ao sistema de classificação de peças orientado à análise em *Seleccção de Processos*.

A classificação de peças discretas para fins de análise em *seleccção de processos* pode ser menos ou mais abrangente quanto às classes de processos a serem contemplados, consoante os

interesses de utilização dessa classificação. Existem sistemas que efectuam a classificação de modo mais amplo e genérico, procurando determinar qual das três principais classes de processos (*fundição, enformação e maquinação*) são mais adequadas para a fabricação de uma determinada peça. Neste caso, é necessário inclusive avaliar alguns parâmetros de produção para a classificação da peça, tais como a quantidade de unidades a produzir num lote ou ao longo de um período.

Todavia, sistemas que permitem classificações muito abrangentes não são muito eficientes, porque normalmente a análise do processo de fabricação concentra-se em escolhas restritas a uma determinada classe de processos. A distinção e a escolha entre processos de uma mesma classe é que constituem efectivamente actividades com maior grau de dificuldade. Portanto, é natural que a classificação das peças discretas esteja mais frequentemente relacionada com alguma classe específica de processos, sendo um instrumento de auxílio à actividade do engenheiro de processos.

A classificação de peças discretas aqui proposta será orientada à escolha de processos de maquinação. Conforme analisado anteriormente, na obtenção de *formas características* por processos de maquinação, deve-se ter em conta a *forma geral* da peça para se definir que tipo de máquina poderá ser utilizada em sua fabricação. Objectivamente, a classificação a ser efectuada procura definir os factores que contribuem para que a peça seja construída num ou noutro tipo de máquinas, conforme a discussão anteriormente exposta, procurando-se fazer que a combinação desses factores possa vir a ser expressa em termos de uma probabilidade. Para tanto, a avaliação dos factores determinantes da escolha do tipo de máquina a utilizar será feita procurando considerá-los individualmente e independentemente.

A seguir é exposto o conjunto de questões relacionadas com o código representativo da classificação (da forma "dp_i"):

- dp₁ - a peça é *axissimétrica* quanto às *formas características* do tipo volume-positivo?
- dp₂ - a peça é construída a partir de vergalhão ou varão?
- dp₃ - a peça possui função rotativa?
- dp₄ - a peça possui ao menos uma (1) *forma* volume-positiva rotacional cuja *linha de referência* está alinhada com a *linha de referência* de outra *forma* igualmente volume-positiva e rotacional?
- dp₅ - a peça possui ao menos uma (1) *forma* volume-positiva rotacional cuja *linha de referência* é paralela à *linha de referência* de outra *forma* igualmente volume-positiva e rotacional, sem que exista um plano perpendicular a essas linhas capaz de interceptá-las simultaneamente?
- dp₆ - a peça possui ao menos uma (1) *forma* volume-positiva rotacional cuja *linha de referência* é paralela à *linha de referência* de outra *forma* igualmente volume-positiva e rotacional, existindo um plano perpendicular a essas linhas capaz de interceptá-las simultaneamente?
- dp₇ - a peça possui ao menos uma (1) *forma* volume-positiva rotacional cuja *linha de referência* é concorrente ou reversa em relação à *linha de referência* de outra *forma* igualmente volume-positiva e rotacional?
- dp₈ - a peça possui ao menos uma (1) *forma* volume-positiva não-rotacional cuja *linha de referência* está alinhada com a *linha de referência* de outra *forma* volume-positiva qualquer (rotacional ou não-rotacional)?

- dp₉ - a peça possui ao menos uma (1) *forma* volume-positiva não-rotacional cuja *linha de referência* é paralela à *linha de referência* de qualquer outra *forma* volume-positiva, sem que exista um plano perpendicular a essas linhas capaz de interceptá-las simultaneamente?
- dp₁₀ - a peça possui ao menos uma (1) *forma* volume-positiva não-rotacional cuja *linha de referência* é paralela à *linha de referência* de qualquer outra *forma* volume-positiva, existindo um plano perpendicular a essas linhas capaz de interceptá-las simultaneamente?
- dp₁₁ - a peça possui ao menos uma (1) *forma* volume-positiva não-rotacional cuja *linha de referência* é concorrente ou reversa em relação à *linha de referência* de qualquer outra *forma* volume-positiva?
- dp₁₂ - a peça não possui *formas características* do tipo volume-positivo *rotacionais*?

Note-se que o conceito de *rotacionalidade* de uma *forma característica* adoptado é o exposto no tópico 3.3.2.1. A existência de *formas* não-rotacionais na peça é, nalguma medida, um factor desfavorável à sua obtenção por processos que envolvam a sua rotação. Também as observações relativas à análise de *linhas de referência* das *formas explícitas* apresentadas naquele tópico permanecem válidas.

O facto de a peça ser construída a partir de *vergalhão* (de qualquer perfil, incluindo-se o *varão*) é um indicativo de que a mesma deverá possuir uma *forma geral* predominantemente longitudinal, e peças com esta forma apresentam uma razoável probabilidade de virem a ser fabricadas nas máquinas em que sofrem revoluções (tornos). Analogamente, peças que são concebidas para funcionarem em revolução também possuem um certo incremento na probabilidade de serem fabricadas nesse *tipo* de máquinas.

A análise da geometria da peça efectuada através da classificação proposta baseia-se em que a *forma geral* da peça, a presença de determinadas *formas características*, e o posicionamento relativo dessas *formas* são os principais factores a serem considerados na escolha do *tipo* de máquinas (e de processos).

Relativamente à *forma geral* da peça, deve-se observar que qualquer afastamento dessa em relação à classificação axissimétrica em termos das *formas* de *tipo* volume-positivo (conforme a análise efectuada para o dígito "dp₁"), representa uma diminuição da probabilidade de que a fabricação ocorra em máquinas da classe representada pelo *torno*.

Quanto à natureza das *formas* presentes, deve-se observar que as do *tipo* volume-positivo são aquelas que prioritariamente contribuem para a *forma geral* da peça, e, portanto, têm maior influência na selecção dos processos e tipos de máquinas de fabricação.

A análise da figura 4.12 exemplifica algumas das situações analisadas pela classificação efectuada. O quadro 4.2 apresenta as classificações parciais dessas peças. Observe-se que a análise das situações previstas pelas questões relativas aos dígitos 4, 5, 6 e 7 é análoga respectivamente à dos dígitos 8, 9, 10 e 11.

A questão relativa ao dígito 4 tem resposta afirmativa para a peça 7.1 devido ao alinhamento relativo das *formas* f1 e f2. Igualmente, para a peça 7.4, devido ao alinhamento das *formas* f2 e f3. A questão relativa ao dígito 5 é afirmativa para a peça 7.1 devido ao paralelismo entre as *linhas*

de referência das formas f1 e f3 (e também f2 e f3). Nos dois casos, o paralelismo não admite a existência de um plano capaz de interceptar as *linhas de referência* de ambas as formas simultaneamente. A questão relativa ao dígito 6 é afirmativa para a peça 7.2 devido ao paralelismo entre as formas f2 e f3, que admite a existência de um plano (P) capaz de interceptar as *linhas de referência* de ambas as formas simultaneamente. A questão relativa ao dígito 7 é afirmativa para a peça 7.3 devido às *linhas de referência* das formas f2 e f3 serem concorrentes. A questão relativa ao dígito 8 é afirmativa para a peça 7.4 devido ao alinhamento relativo entre as formas f1 e f2 (igualmente válido para f1 e f3).

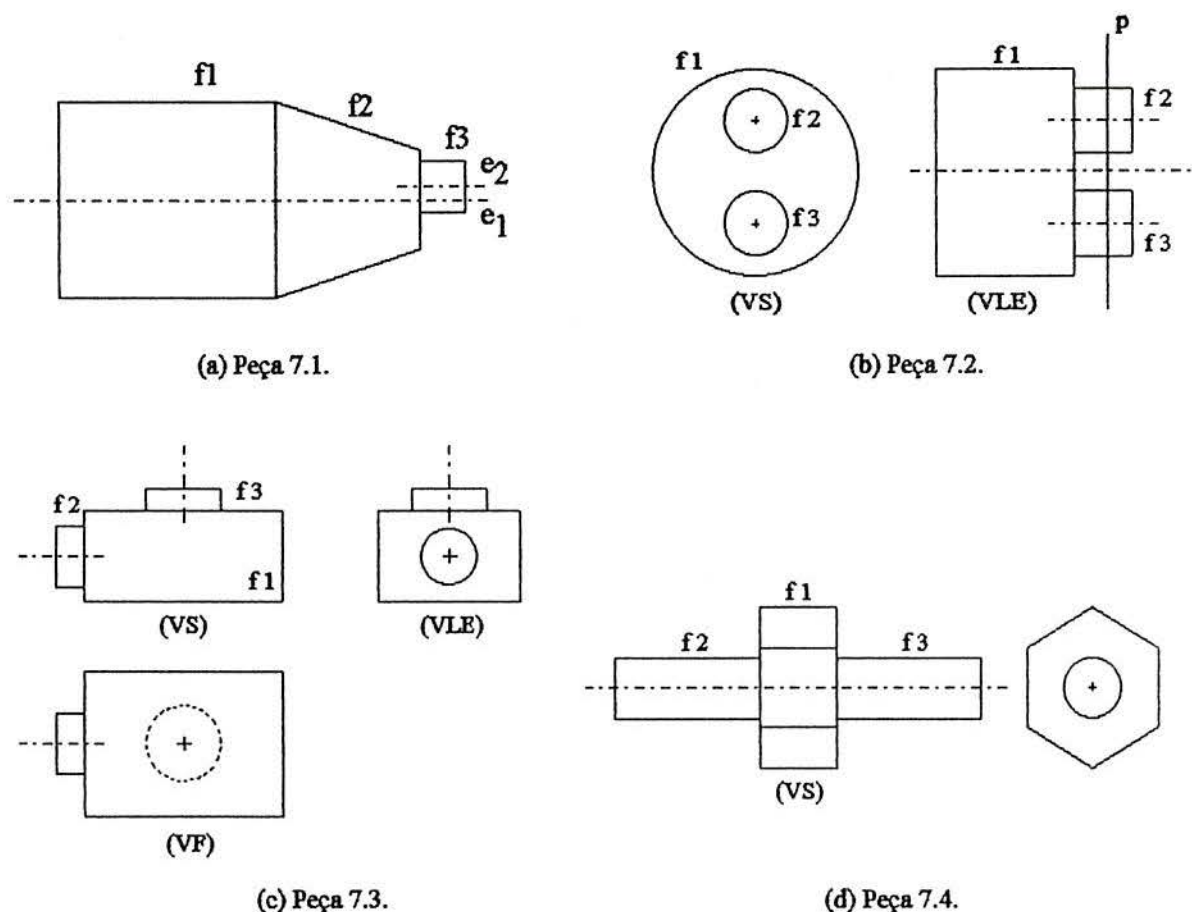


Figura 4.12 - Peças para análise pelo sistema de classificação orientado à seleção de processos.

Observe-se também que esta classificação e o código classificativo assim gerado também podem ser utilizados para fins de recuperação da informação e reconhecimento de similaridade entre peças, como efectuado relativamente à classificação destinada à análise da geometria das peças introduzida no tópico 4.2.

código → peça ↓	dp ₁	dp ₄	dp ₅	dp ₆	dp ₇	dp ₈	dp ₉	dp ₁₀	dp ₁₁	dp ₁₂
7.1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
7.2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
7.3	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
7.4	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0

Quadro 4.2 - Classificação (parcial) das peças apresentadas à figura 4.12.

4.3.3. Os procedimentos para a *Seleção de Processos* elaborados nesta investigação.

Uma das grandes vantagens introduzidas pelos modelos de representação de peças baseados na *Tecnologia de Características* consiste na maior facilidade de predição da utilização de processos de fabricação, o que está baseado na estreita relação existente entre as *formas* a construir na peça e os processos capazes de produzi-las. Assim, a existência de regras que estabeleçam a ligação entre *formas* e processos é usual em sistemas computacionais dedicados à escolha de processos de fabricação. Normalmente, tais regras aparecem numa forma basicamente determinística, com fiabilidade presumivelmente absoluta (como pode ser encontrado, por exemplo, no sistema *QTC* ¹⁰⁷). Não há margem para considerações sobre a possibilidade de utilização de processos alternativos. E, se, por acaso, a regra não tiver sido capaz de prever alguma situação específica, há o risco de se incorrer em completo erro quanto à escolha efectuada.

É muito difícil elaborar um conjunto de regras capazes de cobrir todas as situações possíveis em relação às diferentes alternativas de construção das *formas* nas peças. Isso é basicamente devido a duas razões:

- a) o conhecimento necessário à elaboração de tal sistema é extremamente vasto e complexo, especialmente se este se propuser a analisar situações especiais, como a geração de uma determinada *forma* determinar interferências na geração de outra ³⁶;
- b) a implementação computacional de um conjunto de regras e procedimentos capazes de efectuarem uma análise abrangente e eficiente de todas as alternativas existentes para a construção de cada *forma* seria muito provavelmente inviável para um universo razoavelmente grande de *formas* e de processos considerados.

Assim, a elaboração de sistemas computacionais para a *Seleção de Processos* deveria idealmente levar em consideração a incerteza relativa à predição de utilização dos processos e a possibilidade de contar com a capacidade de avaliação humana como elemento complementar ao conhecimento contido no sistema. Os procedimentos para a *Seleção de Processos* a serem introduzidos nesta investigação foram elaborados conforme essa perspectiva.

4.3.3.1. Utilização do sistema de classificação de peças na *Seleção de Processos*.

A *forma geral* da peça influencia a escolha das operações de fabricação da mesma, especialmente ao se considerar a classe de processos de maquinação como universo de opções. Nesta investigação, optou-se por não se recorrer a critérios de classificação da peça que possam determinar situações de ambiguidade, como as apresentadas no tópico 4.2.2. Portanto, as peças não serão classificadas como *prismáticas*, *revolutivas*, "*tipo chapa*", etc..

A classificação orientada à *Seleção de Processos* efectuada procurou identificar nas peças os factores capazes de determinarem a opção por um ou outro tipo de máquinas (e pelos processos

associados a esses). É necessário, então, definir uma maneira de se utilizar a classificação realizada, com o intuito de obter uma indicação razoavelmente fiável a respeito do tipo de máquina a adoptar na fabricação da peça.

Procurar-se-á adquirir essa fiabilidade através de uma abordagem probabilística a aplicar a esses referidos factores, traduzidos nas respostas às questões levantadas pelo sistema classificativo elaborado. Para que seja possível avaliar esta análise quantitativamente, será introduzida uma estimativa da probabilidade da peça vir a ser produzida em máquinas em que venha a sofrer revoluções. Conforme citado anteriormente, tipicamente a máquina representante desta classe é o *torno*, e, por isso, essa estimativa será denominada *índice de torneabilidade*. Um conceito semelhante a esse - e utilizador de denominação semelhante - é apresentado por Ames ¹⁰², sendo, porém, de natureza basicamente qualitativa. Registe-se que o *índice de torneabilidade* foi concebido principalmente com o intuito de vir a ser utilizado pelas regras destinadas à sugestão de processos de fabricação, vindo inclusivamente a afectar a elaboração das mesmas.

4.3.3.1.1. Procedimento para a estimativa do *índice de torneabilidade* da peça.

O cálculo do *índice de torneabilidade* da peça será realizado computando-se separadamente a contribuição combinada dos factores *favoráveis* e dos *desfavoráveis* à utilização de máquinas em que a peça sofre revoluções. Observe-se que as respostas afirmativas às questões 1 a 4 da classificação apresentada no tópico 4.3.2 determinarão uma maior probabilidade de que a peça venha a ser construída nesse tipo de máquinas, contrariamente às respostas afirmativas às questões 5 a 12.

A contribuição dos diversos elementos considerados é relativa e diferenciada, e, para fins de computação do *índice*, serão atribuídos *pesos* às respostas às questões. No caso das respostas aos dígitos 1 a 4, esses pesos indicarão a *provável medida* em que esses elementos contribuem para a utilização de tornos na fabricação. No caso das respostas aos demais dígitos, serão uma medida da tendência à utilização do outro tipo de máquinas. Observe-se ainda que, pelo modo como foi elaborada a classificação, a probabilidade de ocorrência de cada evento é independente da probabilidade da ocorrência dos demais para cada grupo de factores.

A probabilidade da ocorrência de um evento resultante da união de dois outros é definida como

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A) \cap P(B) \quad [\text{exp. 4.1}].$$

Se a probabilidade de ocorrência dos eventos A e B é mutuamente independente, a operação de intersecção fica reduzida ao produto das probabilidades de ocorrência de A e B:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B) \quad [\text{exp. 4.2}].$$

Observe-se ainda que

$$P(A \cup B) = P(B \cup A) \text{ [exp. 4.3].}$$

A expressão 4.2 aplica-se recursivamente para n eventos, observando-se que

$$P(A \cup B) \geq P(A) \wedge P(A \cup B) \geq P(B) \text{ [exp. 4.4].}$$

Observe-se também que, existindo factores favoráveis e desfavoráveis à ocorrência de um dado evento, estes devem ser agrupados separadamente para efeito de cálculo da probabilidade resultante, caso contrário resultaria que a simples inexistência de factores desfavoráveis à torneabilidade da peça contribuiria para torná-la torneável, o que não é verdadeiro.

Assim, no caso da investigação em curso, tem-se dois grupos de eventos a serem considerados: o dos favoráveis e o dos desfavoráveis ao incremento da probabilidade da peça vir a ser produzida em máquinas em que a peça sofre revoluções. Portanto, a computação dos eventos combinados deverá ser executada separadamente para cada grupo, sendo representadas respectivamente por " C_f " e " C_d ":

$$C_f = P(E_1 \cup E_2 \cup E_3 \cup E_4) \text{ [exp. 4.5]}$$

e

$$C_d = P(E_5 \cup E_6 \cup E_7 \cup E_8 \cup E_9 \cup E_{10} \cup E_{11} \cup E_{12}) \text{ [exp. 4.6].}$$

Estatisticamente, C_f e C_d também são conhecidos como *medida da crença* e *medida da descrença* associadas à ocorrência do evento resultante.

Observe-se que C_d também pode ser utilizado para a determinação da probabilidade de que a peça venha a ser construída em máquinas onde ocorre o movimento (de revolução) da ferramenta, através do cálculo de uma medida complementar, denominada C_f' , definida pela expressão:

$$C_f' = 1 - C_d \text{ [exp. 4.7].}$$

Observe-se que este equacionamento é comumente utilizado para a computação da probabilidade de ocorrência de eventos em *lógica inexacta*⁷¹. Na verdade, a implementação computacional desta análise será efectuada com o concurso desse tipo de lógica (C_f , C_d e C_f' foram implementados através dos predicados Coef-Favorável, Coef-Desfavorável e Coef-Favorável-2, cuja implementação é apresentada nos tópicos E.3.3.2, E.3.3.3 e E.3.3.4, Apêndice E). Uma explanação mais completa a respeito da utilização da *lógica inexacta* no contexto deste trabalho, particularmente importante para a perfeita compreensão dos procedimentos adoptados para a *Seleção de Processos*, é apresentada no Apêndice A. Os conceitos utilizados estão em conformidade com as definições adoptadas pelo ambiente computacional utilizado para desenvolvimento da implementação (*Intelligence Compiler*).

A implementação do cálculo do *índice de torneabilidade* foi feita avaliando-se a resposta a cada um dos dígitos do código de classificação (dp_i) através de uma regra baseada em *lógica inexacta*. O *factor de confiança* atribuído a essas regras corresponde ao peso com que cada evento pode afectar a ocorrência do evento resultante. Caso a resposta a uma questão relativa a um dígito seja afirmativa (ver a implementação efectuada através dos predicados dproc1 a dproc12 no Apêndice E, tópico E.3.3.1), o evento relativo a essa questão passa a contribuir com o seu peso relativo para a ocorrência do evento resultante.

Os procedimentos de raciocínio baseados em *lógica inexacta* são dependentes da escolha dos pesos (denominadas *factores de confiança*) a serem atribuídos às regras. Assim, a medida de confiança resultante da aplicação dos predicados será afectada pela existência de imprecisão ou inexactidão inerentes à atribuição de valores aos pesos relativos. Procurando contornar este problema, tem sido proposto que sistemas baseados em *lógica inexacta* contemplem a possibilidade de que os *factores de confiança* atribuídos a regras e factos existentes nas *bases de conhecimento* possam ter seus valores periodicamente e progressivamente reavaliados e modificados. Esta correcção seria baseada na verificação da precisão e exactidão das *regras e factos* existentes nessas *bases* obtida pela sua experimentação. Poderiam, assim, ser constituídos sistemas com uma realimentação contínua dos valores dos pesos atribuídos às regras.

Observe-se ainda que a imprecisão na atribuição de valores aos *factores de confiança* é inerente à dificuldade de se mensurar a importância com que um ou outro evento contribuem para a ocorrência do evento resultante. Essa dificuldade reside no facto desse conhecimento não ser de natureza determinística. Por isso, os resultados obtidos com a utilização da técnica de *lógica inexacta* devem ser compreendidos no contexto desta limitação. Isso torna a hipótese de se proceder à correcção progressiva dos valores dos *coeficientes de confiabilidade* desejável para a melhoria dos resultados obtidos.

Assim, um ponto crucial para a determinação do cálculo do *índice de torneabilidade* será efectivamente a atribuição de valores aos *factores de confiança*. Como uma primeira aproximação aos valores dos *factores de confiança* a serem utilizados (representados por "FC"), foram escolhidos os valores apresentados a seguir:

FC (dp_1) = 0,30,	FC (dp_2) = 0,60,	FC (dp_3) = 0,15,
FC (dp_4) = 0,15,	FC (dp_5) = 0,20,	FC (dp_6) = 0,60,
FC (dp_7) = 0,35,	FC (dp_8) = 0,50,	FC (dp_9) = 0,55,
FC(dp_{10})= 0,95,	FC(dp_{11})=0,70,	FC(dp_{12})=1,00.

O *índice de torneabilidade* da peça (representado por "T") será obtido através da expressão abaixo, implementada através do predicado *torneabilidade* (ver tópico E.3.3.4, Apêndice E):

$$T = \min (C_f, C_f) \quad [\text{exp. 4.8}].$$

A opção pelo valor mínimo deve-se a que o *potencial de utilização* das máquinas em que a peça *sofre revoluções* na obtenção de *formas características* é inferior ao apresentado por máquinas onde a peça *permanece fixa*. Assim, a fresadora, por exemplo, admite a execução de peças que o torno não pode produzir, mas a situação inversa é improvável. Portanto, optar-se-á sempre pelo menor valor obtido favorável à torneabilidade (entre C_f e C_f'), o que implica uma maior segurança na estimativa do *índice de torneabilidade*.

Observe-se que o máximo valor possível do *índice de torneabilidade*, considerando-se os *factores de confiança* escolhidos é 0,80. Isto significa que, mesmo estando presentes todas as condições favoráveis à utilização de tornos, ainda é possível contar em alguma medida com o outro tipo de máquinas para executar a fabricação da peça, o que também é condizente com a realidade.

Note-se que o valor do índice será mínimo (0) quando C_f ou C_f' forem nulos. Isto ocorrerá em duas situações: se todas as *formas* do tipo volume-positivo da peça forem não-rotacionais (resposta afirmativa à questão relativa ao dígito 12), ou na ausência total de factores que contribuam para que a peça possa ser fabricada em máquinas onde ocorre a sua rotação (C_f igual a 0).

Observe-se ainda que, sendo C_f nulo, mesmo que C_f' não o seja, o valor do índice é nulo. Isto significa que não basta inexistirem elementos desfavoráveis à torneabilidade para que exista alguma possibilidade de a peça vir a ser construída em máquinas onde venha a sofrer revoluções. É necessário que existam factores favoráveis à torneabilidade para que o *índice de torneabilidade* não seja nulo.

Devido à imprecisão dos valores dos *factores de confiança*, deve-se ter em conta que o valor obtido para o *índice de torneabilidade* somente deve ser considerado como uma aproximação às possibilidades da efectiva utilização de máquinas em que ocorre a revolução da peça. Assim, havendo uma pequena diferença entre os valores do *índice de torneabilidade* de duas peças, por exemplo, da ordem de 5% à 10%, ela não pode ser considerada muito significativa. Porém, uma diferença de grau mais elevado poderá ser considerada significativa.

Observe-se também que o código classificativo pode ser obtido unicamente através da análise da informação armazenada sobre a peça mecânica presente no modelo. A avaliação sobre a torneabilidade da peça pode ser efectuada sem haver a necessidade da complementação da informação por parte do projectista, o que também será válido para o restante do procedimento de sugestão de escolha de processos. Caberá então confirmar ou rejeitar as sugestões propostas pelo sistema apenas em última instância. Essa característica dos procedimentos elaborados contribuirá para a minimização da possibilidade de existência de erros provocados pela intervenção humana durante a realização dos procedimentos de análise, ficando a seu cargo apenas o julgamento em fase final. Isso difere do procedimento convencionalmente utilizado na *Seleção de Processos* baseada na utilização da informação presente unicamente em sistemas de classificação de peças, em que erros efectuados na classificação da peça poderão ser determinantes de importantes desvios na escolha dos processos a utilizar.

Assim sendo, o conhecimento humano será preservado para a etapa da tomada de decisões que se faz necessária, o que caracteriza os procedimentos elaborados para esta investigação como uma *ferramenta de apoio à decisão*.

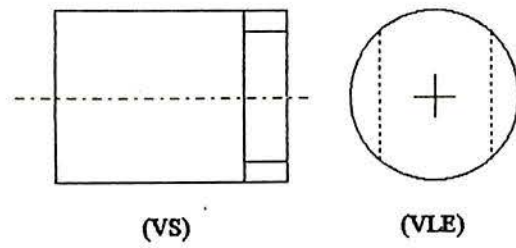
A seguir, serão analisados alguns exemplos de peças discretas (ver figuras 4.12 e 4.13) cuja classificação orientada à *selecção de processos* e o *índice de torneabilidade* são fornecidos (ver quadro 4.3), para exemplificação da análise acima efectuada. A aplicação da classificação de peças apresentados no tópico 4.3.2 permite observar em que medida cada factor contribui para incrementar ou decrementar o valor do *índice de torneabilidade*. Algumas conclusões mais relevantes relativas aos resultados obtidos são apresentadas a seguir:

- a) a forma comercial do material de que é obtida a peça é um factor de considerável influência na escolha do processo a utilizar, e isso fica reflecte-se, por exemplo, na análise comparativa dos resultados apresentados às linhas 1, 2, 3 e 4; a progressiva diminuição da presença de factores favoráveis ao incremento do índice é determinante da perda de torneabilidade da peça;
- b) note-se que as peças 7.1, 7.5, 7.6 tendem a apresentar *índices de torneabilidade* mais elevados, o que seria efectivamente esperado; tenha-se em conta, porém, a observação feita à alínea "a";
- c) note-se ainda que as peças 7.10 e 7.11 apresentam valores absolutamente mínimos para os índices, também como seria de se esperar;
- d) em termos de sua torneabilidade, peças como a 7.2, 7.3, 7.8 e a 7.9 são afectadas por sua configuração geométrica (em maior ou menor medida), devendo-se recomendar, portanto, a utilização de processos a decorrerem em máquinas onde a peça não experimenta revoluções para a obtenção da *forma* desejada;
- e) exclusivamente a partir da análise da geometria, os casos de mais difícil definição seriam, certamente, o de peças como a 7.4 e a 7.7, que apresentam valores intermediários para o índice; da análise dos valores máximos encontrados (0,50), pode-se concluir que é viável a construção da peça em máquinas em que essa sofre revoluções, mas a escolha de processos ligados à outra *classe* de máquinas constitui provavelmente alternativa igualmente plausível, o que parece efectivamente de acordo com a realidade considerando-se unicamente a geometria das peças;
- f) comparando-se as linhas 1 e 13, pode-se observar como a ocorrência de factores menos e mais desfavoráveis ao incremento do índice torna-se reflectido no valor final deste, pois a excentricidade apresentada pela peça 7.1 é considerada um factor menos capaz de afectar a torneabilidade da peça do que a presença da *forma* não revolutiva na peça 7.4.

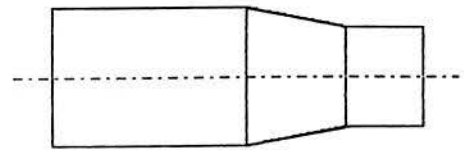
Pela observação da classificação efectuada, que reflecte a *análise de torneabilidade* para peças de *forma geral* bastante diversificada, pode-se considerar que o *índice de torneabilidade* seja uma medida suficientemente confiável do padrão de máquinas (e processos a essas associados) a utilizar na construção de peças exclusivamente por maquinação. Assim, esse índice será utilizado nos procedimentos relacionados com a *Selecção de Processos* no contexto desta investigação.

Código/FC		dp ₁	dp ₂	dp ₃	dp ₄	dp ₅	dp ₆	dp ₇	dp ₈	dp ₉	dp ₁₀	dp ₁₁	dp ₁₂	C _f	C' _f	T
linha	peça	(0,30)	(0,60)	(0,15)	(0,15)	(0,20)	(0,60)	(0,35)	(0,50)	(0,55)	(0,95)	(0,70)	(1,00)			
1	7.1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,71	0,80	0,71
2		0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,66	0,80	0,66
3		0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0,80	0,28
4		0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0,80	0,15
5	7.2	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0,66	0,40	0,40
6		0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0,60	0,40	0,40
7		0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0,15	0,40	0,15
8		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0,00	0,40	0,00
9	7.3	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0,66	0,33	0,33
10		0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0,60	0,33	0,33
11		0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0,15	0,33	0,15
12		0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0,00	0,33	0,00
13	7.4	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0,71	0,50	0,50
14		0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0,66	0,50	0,50
15		0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0,28	0,50	0,28
16		0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0,15	0,50	0,15
17	7.5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,76	1,00	0,76
18		1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,72	1,00	0,72
19		1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,41	1,00	0,41
20		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,30	1,00	0,30
21	7.6	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,80	1,00	0,80
22		1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,76	1,00	0,76
23		1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,49	1,00	0,49
24		1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,41	1,00	0,41
25	7.7	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0,71	0,50	0,50
26		0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0,66	0,50	0,50
27		0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0,28	0,50	0,28
28		0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0,15	0,50	0,15
29	7.8	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0,60	0,12	0,12
30		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0,00	0,12	0,00
31	7.9	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0,66	0,36	0,36
32		0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0,60	0,36	0,36
33		0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0,15	0,36	0,15
34		0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0,00	0,36	0,00
35	7.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,00	0,30	0,00
36	7.11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,60	0,00	0,00
37		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,00	0,00	0,00

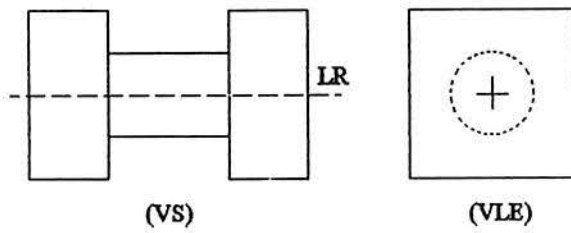
Quadro 4.3 - Classificação das peças apresentadas às figuras 4.12 à 4.13 (quanto à selecção de processos) - considerando-se diversas situações alternativas.



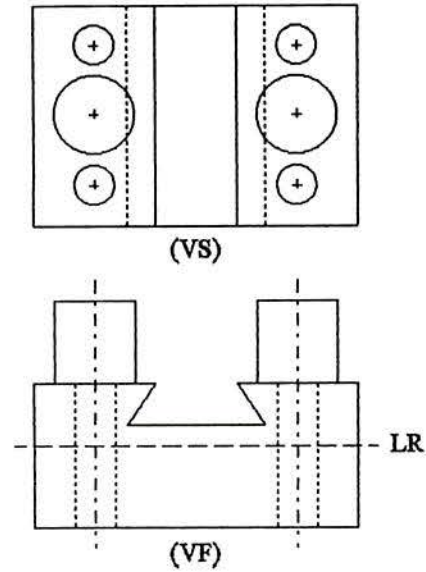
(a) Peça 7.5.



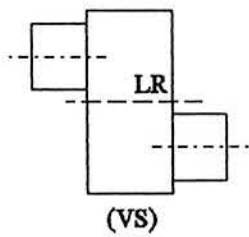
(b) Peça 7.6.



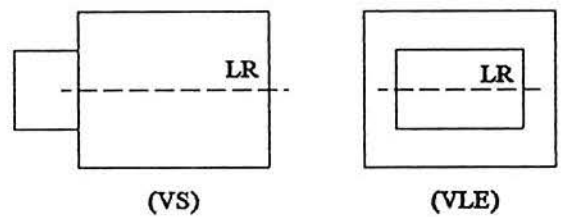
(c) Peça 7.7.



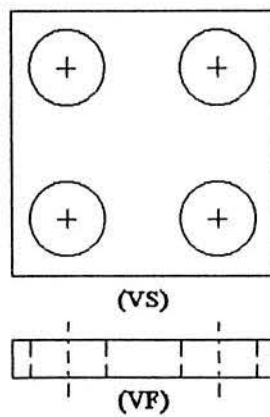
(d) Peça 7.8.



(e) Peça 7.9.



(f) Peça 7.10.



(g) Peça 7.11.

Figura 4.13-Peças a classificar quanto ao índice de torneabilidade (linhas de referência indicadas como LR).

4.3.3.2. A *Seleção de Processos* baseada na *Tecnologia de Características* e em regras de conhecimento.

Existe uma relação directa entre as *formas características* e os processos de maquinação que podem ser utilizados para a sua obtenção; portanto, os conjuntos de regras a serem elaborados para a *Seleção de Processos* deverão contemplar esta relação. Por outro lado, a *forma geral* da peça contribui fortemente para a determinação do tipo de máquinas a serem utilizadas na sua fabricação, e a escolha dessas afecta a escolha dos processos. Assim, este aspecto, já discutido no tópico anterior, também deve ser considerado na elaboração dos conjuntos de regras para a *Seleção de Processos*.

Outro ponto a ser considerado é o da existência de diferentes possibilidades de escolha de processos para a obtenção de *formas características* nas peças. Normalmente, isso depende de uma série de factores de ordem diversa, desde a existência de diferentes alternativas de processos de obtenção para uma *forma* (com a precisão dimensional requerida), até a disponibilidade dos recursos para a produção.

Como a definição do plano de fabricação não é tarefa do projectista, é necessário que este tenha conhecimento das diversas possibilidades de construção da peça antes de submetê-la à análise baseada nas *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*. A utilização de diferentes processos requer que a peça seja projectada segundo considerações e cuidados diversos. Portanto, preferencialmente deve-se procurar ter em conta o maior número possível de possibilidades de fabricação da peça.

Assim, nesta investigação, procurar-se-á contemplar o maior número possível de possibilidades de obtenção das *formas* nas peças para se proceder à análise do projecto considerando-se tal diversidade, pois isso permitirá que a análise do projecto face às *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação* seja mais eficaz.

De qualquer modo, deve-se ter em conta que a filosofia de aplicação da metodologia subjacente a este trabalho reside em que o projectista tem à sua responsabilidade o processo decisório dentro da sua actividade. Assim, dependerá dele também efectuar a opção relativamente à escolha de alternativas de processos para fins de realização da análise em *Projecto Orientado à Fabricação*.

Note-se, também, que o facto de se contar com as diferentes possibilidades de fabricação da peça para fins de geração de planos de fabricação alternativos para a mesma pode trazer eventuais benefícios para o *Planeamento da Produção*. Isso porque, se esta actividade puder ser efectuada com base na existência de diferentes alternativas, pode-se obter uma alocação eventualmente mais eficiente dos recursos de fábrica. Isso ocorre porque, em algumas situações específicas, o plano de fabricação tecnicamente mais optimizado pode vir a ser preterido para que a produção global da fábrica venha a ser circunstancialmente racionalizada, considerando-se as possibilidades de alocação de recursos em tempo real, necessidades de cumprimento de prazos, qualidade da produção, etc..

4.3.3.2.1. A elaboração de regras para auxílio à *Seleção de Processos*.

A elaboração de regras para *Seleção de Processos* nesta investigação estará baseada na existência de relações directas entre as *formas características* e os processos de maquinação a serem utilizados para a sua obtenção. Neste contexto, serão indicados todos os processos que tenham alguma possibilidade de virem a ser utilizados na construção de cada *forma* da peça.

Esta indicação estará essencialmente baseada na capacidade que os processos tenham de permitir a obtenção de uma dada geometria, não se fazendo, neste ponto, a análise de obtenção de tolerâncias, que será estudada dentro da análise em *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*. A etapa de indicação dos processos a serem utilizados é necessária para se proceder à análise em *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*, pois esta baseia-se no estudo da adequação do projecto face ao requerido pelos diversos processos tecnológicos a serem utilizados na fabricação da peça.

Como não se propõe o estabelecimento de planos de fabricação completos, que é objecto de estudo da área de *Planeamento de Processos*, não é prioritário ser definida a sequência em que esses irão decorrer. De qualquer modo, é aceitável supor que este procedimento poderia vir a constituir um ponto de partida para a actividade de *Planeamento de Processos*, com ênfase na obtenção de planos de fabricação alternativos.

As regras a serem desenvolvidas para a *Seleção de Processos* terão em consideração, pelas razões anteriormente apontadas, a *forma geral* da peça, avaliando-se a contribuição deste factor para a escolha de processos através da análise do *índice de torneabilidade* da peça. Como a sugestão de utilização de processos é dependente da existência de informação menos ou mais completa (ou precisa), optou-se por utilizar a programação através de *lógica inexacta* também para a implementação deste procedimento.

Assim, serão atribuídos *factores de confiança* às regras desenvolvidas para a análise em *Seleção de Processos*. Os valores a serem escolhidos para estes factores irão representar a confiança que se tem na sugestão fornecida e estarão relacionados com a especificidade e a quantidade de informação presente na regra.

As regras para *Seleção de Processos* relacionadas com a associação dos processos às *formas características* foram implementadas através do predicado *maquinável-por*, possuindo aproximadamente a forma geral apresentada nos exemplos a seguir (a implementação efectivamente utilizada para todas as regras é apresentada no tópico E.3.3.7 do Apêndice E). Observe-se que os parâmetros denominados *fc* e *peça* são passados às regras, representando respectivamente a *forma característica* em análise e a peça a que essa pertence, e que os parâmetros *classe.fc* e o nome do processo sugerido são encontrados pela aplicação da regra.

Seguem-se alguns exemplos de regras elaboradas nesta investigação (implementadas no protótipo computacional construído para validação dos conceitos desenvolvidos):

a) regra "T-1":

FC=45 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', torneamento

Se 'fc' classe-objecto 'classe.fc' &

torneabilidade 'peça' &

(rotacionalidade de 'fc') = "rotacional" &

(tipo de forma característica de 'fc') = "volume-positivo";

b) regra "T-2":

FC=70 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', torneamento

Se 'fc' classe-objecto 'classe.fc' &

torneabilidade 'peça' &

(simetria de 'fc') = "axissimétrica" &

(tipo de forma característica de 'fc') = "volume-positivo";

c) regra "T-3":

FC=29 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', torneamento

Se 'fc' classe-objecto 'classe.fc' &

torneabilidade 'peça' &

(rotacionalidade de 'fc') = "rotacional" &

(tipo de forma característica de 'fc') = "volume-negativo";

d) regra "T-4":

FC=44 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', torneamento

Se 'fc' classe-objecto 'classe.fc' &

torneabilidade 'peça' &

(simetria de 'fc') = "axissimétrica" &

(tipo de forma característica de 'fc') = "volume-negativo";

e) regra "T-5":

FC=8 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', torneamento

Se torneabilidade 'peça' &

'classe.fc' := "cilindro circular recto" &

'fc' classe-objecto 'classe.fc' &

(tipo de forma característica de 'fc') = "volume-positivo";

f) regra "T-6":

FC=10 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', torneamento

Se torneabilidade 'peça' &

'classe.fc' := "furo cilíndrico" &

'fc' classe-objecto 'classe.fc' &

(comprimento de 'fc') <= 3;

g) regra "F-1":

FC=45 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', fresamento

Se 'fc' classe-objecto 'classe.fc' &
NÃO torneabilidade 'peça' &
(rotacionalidade de 'fc') = "não-rotacional" &
(tipo de forma característica de 'fc') = "volume-positivo";

h) regra "F-2":

FC=70 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', fresamento

Se 'fc' classe-objecto 'classe.fc' &
NÃO torneabilidade 'peça' &
(simetria de 'fc') = "não-axissimétrica" &
(tipo de forma característica de 'fc') = "volume-positivo";

i) regra "F-3":

FC=40 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', fresamento

Se 'fc' classe-objecto 'classe.fc' &
NÃO torneabilidade 'peça' &
(rotacionalidade de 'fc') = "rotacional" &
(tipo de forma característica de 'fc') = "volume-positivo";

j) regra "F-4":

FC=65 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', fresamento

Se 'fc' classe-objecto 'classe.fc' &
NÃO torneabilidade 'peça' &
(simetria de 'fc') = "axissimétrica" &
(tipo de forma característica de 'fc') = "volume-positivo";

l) regra "F-7":

FC=29 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', fresamento

Se 'fc' classe-objecto 'classe.fc' &
NÃO torneabilidade 'peça' &
(rotacionalidade de 'fc') = "não-rotacional" &
(tipo de forma característica de 'fc') = "volume-negativo";

m) regra "F-8":

FC=44 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', fresamento

Se 'fc' classe-objecto 'classe.fc' &
NÃO torneabilidade 'peça' &
(simetria de 'fc') = "não-axissimétrica" &
(tipo de forma característica de 'fc') = "volume-negativo";

n) regra "F-9":

FC=15 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', fresamento

Se NÃO torneabilidade 'peça' &
'classe.fc' := "furo cilíndrico" &
'fc' classe-objecto 'classe.fc' &
'diâmetro' := 2 * (raio de 'fc') &
'diâmetro' >= 70;

Observe-se que o predicado denominado classe-objecto foi implementado utilizando-se a *lógica inexata*, na forma exposta a seguir:

FC=100 'objecto' classe-objecto 'classe'

Se 'objecto' é-objecto-da-classe 'classe' &
NÃO 'objecto' é-objecto-da-classe *forma explícita*;

FC=25 'objecto' classe-objecto 'classe'

Se 'objecto' possui-campo *classe presumível da forma característica* &
'classe' = (*classe presumível da forma característica de 'objecto'*);

Por ter sido implementado deste modo (ver tópico E.3.3.5, Apêndice E), o predicado classe-objecto permite que mesmo *formas explícitas* possam ser avaliadas por regras destinadas à análise das *formas implícitas*. Introduce-se, porém, um decréscimo de 75% na confiança depositada na avaliação obtida, representado pelo *factor de confiança* de 25% imputado ao predicado quando a *forma* analisada for uma *forma explícita*.

Conforme pode ser observado, o predicado torneabilidade está presente como parte das premissas das regras de sugestão de processos. Isso significa que o *índice de torneabilidade* da peça está directamente relacionado com a determinação da fiabilidade existente na sugestão de processos.

Observe-se também que a sugestão de processos de fabricação difere ligeiramente da determinação do *índice de torneabilidade* quanto ao tipo de resultado obtido ao final da aplicação dos procedimentos baseados em *lógica inexata*. Na determinação do *índice de torneabilidade* obtém-se ao final uma (única) medida de probabilidade relativa a uma propriedade da peça discreta. Na sugestão de processos, obtém-se a sugestão de *todas* as opções de processos potencialmente aplicáveis à obtenção de cada *forma característica* da peça discreta, *ordenadas* pela medida da confiança que a *base de conhecimento* permite depositar na sugestão efectuada. Evidentemente, uma vez mais emerge a questão da atribuição de valores aos *factores de confiança*, pois essa será fundamental para que as sugestões sejam o mais correctamente indicadas, com o máximo nível de fiabilidade possível.

Por exemplo, suponhamos que se esteja a sugerir processos de maquinação para uma *forma característica* da classe *cilindro circular recto* de *tipo* volume-positivo (axissimétrica e rotacional, portanto) de uma peça discreta cujo *índice de torneabilidade* valha 0,50. Utilizando-se a regra apresentada à alínea "a", seria sugerido o processo de torneamento para a obtenção desta *forma*,

com medida de confiança de 22,5% (resultante da multiplicação de 0,50 por 0,45). A utilização da regra apresentada em "b" sugeriria o mesmo processo, mas com confiabilidade de 35,0%, ao passo que a regra proposta em "c" sugeriria ainda o torneamento com confiabilidade de 4,0%. A confiança resultante da combinação desses valores é de 51,6% na sugestão do processo de *torneamento* para a obtenção da *forma* analisada, aplicando-se recursivamente a expressão 4.2. Observe-se que, como o valor do *índice de torneabilidade* da peça é intermediário, não seria razoável que a sugestão do processo tivesse um índice de confiança fora da faixa de valores intermediários.

Observe-se ainda que o conhecimento acerca da classe da *forma* (neste caso, *cilindro circular recto*) contribui para um pequeno aumento na confiabilidade da sugestão efectuada, mas a maior contribuição neste sentido advém do facto de a *forma* ser axissimétrica e rotacional, nesta ordem. Assim, se por hipótese estivéssemos a analisar uma *forma explícita*, apenas a informação relativa à sua simetria e à sua rotacionalidade seriam suficientes para se atingir um índice de confiabilidade de 49,6% nas mesmas condições de avaliação expostas acima para a *forma* da classe *cilindro circular recto*.

Por outro lado, observe-se que os *factores de confiança* das regras às alíneas "c" e "d" sofrem um decréscimo da ordem dos 65% em relação às regras "a" e "b" respectivamente. Isso ocorre porque a predição de processos de obtenção de *formas* do tipo volume-negativo é considerada, em princípio, mais complexa, suscitando a necessidade de uma quantidade maior de informações para permitir a sugestão com maior grau de confiança. A regra à alínea "f" ilustra essa situação.

As regras às alíneas "g" à "n" indicam a sugestão do processo de *fresamento* para *formas características*. Comparando-se as regras apresentadas em "g" e "h" com as regras presentes em "i" e "j", observa-se que tanto *formas* rotacionais, como não-rotacionais (e tanto as axissimétricas, como as não-axissimétricas) são sugeridas para fresamento. Porém, considera-se mais provável a utilização desse processo na ocorrência de *formas* não-rotacionais e não-axissimétricas, pois para essas não é indicada a utilização de processos baseados na rotação da peça em construção.

As opções de escolha de processos são ordenadas pelos valores atribuídos à confiança obtida na sugestão dos diferentes processos. Em termos de implementação computacional esta ordenação é executada pelo predicado *select-best-of* provido directamente pelo *Intelligence Compiler*, utilizado dentro do predicado *sugerir-operação-básica* (ver tópico E.3.3.8, Apêndice E).

A utilização dos procedimentos acima apresentados para a *Seleção de Processos* será demonstrada no Capítulo 5.

4.4. As Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação.

O estudo da utilização das *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação* possivelmente constitui o tema mais extenso e de mais difícil sistematização entre os relacionados com a aplicação do *Projecto Orientado à Fabricação* ao *Projecto Assistido por Computador*. Isso se deve a que essas regras normalmente são baseadas em informação com origem na compilação do conhecimento de natureza empírica acumulado sobre a fabricação de peças mecânicas.

Assim, a informação frequentemente não é encontrada em modo estruturado, organizado, o que contribui para que a aplicação do conhecimento seja incompleta ou insuficiente dentro do *projecto*. É comum, por exemplo, que a transmissão desse conhecimento ocorra em carácter unicamente informal, transmitida pelos projectistas e engenheiros de processo mais experientes aos menos experientes.

O modo de transmissão do conhecimento sobre as *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação* contribui para a diminuição da qualidade global do *projecto* de peças mecânicas por ser relativamente precária, fazendo que a aplicação desse conhecimento não possa atingir em toda a sua amplitude, profundidade e potencialidade a área do *projecto* nos ambientes industriais. Procurando tornar factível a aplicação das *recomendações* e de outros temas relacionados com o *Projecto Orientado à Fabricação*, diversas metodologias têm sido propostas ^{8,111,112}, observando-se que a aplicação das regras de *projecto* deve ser entendida como uma complementação a outras metodologias propostas. Mesmo que focalizando diferentes perspectivas, essas metodologias visam à sistematização do *projecto* de componentes mecânicos ^{18,113}, havendo algumas mais ligadas à formalização de princípios, como, por exemplo, a *Teoria Axiomática de Projecto* ¹¹⁴.

4.4.1. A aplicação das *Recomendações de Projecto* no âmbito desta investigação.

Nesta investigação, será estudada a aplicação das *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação* ao *Projecto Assistido por Computador* conforme definido no tópico 3.2 do Capítulo 3, procurando-se utilizar o modelo de informação elaborado de modo a se provar ser possível a aplicação de regras seleccionadas à análise do *projecto mecânico*. Observe-se que a selecção, compilação e estruturação das regras a estarem presentes na *base de conhecimento* orientada a essa aplicação constituem actividades típicas da área de *Engenharia do Conhecimento*. A avaliação sobre a representatividade ou a precisão do conhecimento modelizado apenas poderá ser elucidada pela experimentação da *base de conhecimento* elaborada.

Observe-se também que, no âmbito das *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*, há alguns tópicos que se aplicam mais directamente à elaboração de *ferramentas de simulação*, ao passo que outros se aplicam preferencialmente à elaboração de análises baseadas na utilização de *bases de regras* e de *bases de factos*.

Como exemplo típico do primeiro caso, com relação aos processos de *maquinação*, tem-se a análise da configuração geométrica das peças objectivando evitar situações em que a *existência* ou a *posição* das *formas características* na peça obstaculiza ou dificulta a progressão das ferramentas de corte na trajectória. Na verdade, nestes casos, a configuração geométrica da peça em si não é propriamente a causa dos problemas, pois esses efectivamente ocorrem devido às *interferências geométricas* entre a peça e a ferramenta de corte. As posições relativas da peça e da ferramenta cortante não são fixas, mas incertas dentro de algum grau de alcatoriedade. Por isso, torna-se muito difícil analisar através da utilização de regras todas as possibilidades de interferências que tenham possibilidade de virem a ocorrer.

Assim, será preferível efectuar a análise de interferências através de sistemas computacionais que permitam a construção dos modelos geométricos da peça e das ferramentas de corte e de fixação, com simulação (por animação) das trajectórias dos elementos móveis. Esses sistemas são relativamente comuns actualmente, e basicamente são desenvolvidos utilizando-se ferramentas providas pela *Computação Gráfica*. Observe-se que genericamente é usual, na existência de uma certa aleatoriedade associada à ocorrência de um determinado evento, utilizarem-se *ferramentas de simulação* na tentativa de predição da sua ocorrência.

Como exemplo de tópicos que se aplicam à análise através de regras, temos a avaliação das especificações gerais (incluindo a geométrica) das peças discretas e das montagens face aos processos tecnológicos de fabricação. Essa espécie de análise manipula toda a informação descritiva relativa ao projecto, e pode ser efectuada através da elaboração de conjuntos de regras destinados à análise dessa informação, pois não é afectado por qualquer aspecto de aleatoriedade. E, pelo tipo de conhecimento utilizado, fragmentado e fracamente baseado em formulação matemática, extraído de observações obtidas pela prática e experiência, as aplicações a serem elaboradas caracteristicamente envolverão análise baseada em *Engenharia do Conhecimento*.

No âmbito desta investigação, serão analisadas apenas as *recomendações de projecto* implementáveis através de *bases de regras*, pois, conforme visto, aquelas que envolvem aleatoriedade são analisáveis através de ferramentas de simulação, as quais encontram-se suficientemente desenvolvidas. Para além disso, tais ferramentas prescindem da informação relativa ao *projecto* baseada na definição proposta pelo modelo de representação da informação desenvolvido para esta investigação, uma vez que o tipo de análise aqui efectuada é basicamente desenvolvida sobre informação descritiva e documental (especificações de projecto) sobre as peças mecânicas.

Observe-se ainda que aqui também não se incluem as ferramentas de assistência ao desenvolvimento do *projecto* baseadas na análise efectuada por métodos determinísticos - como os métodos numéricos aplicados à *Análise Estrutural* ou aos estudos em *Transmissão de Calor*. Essas ferramentas, das quais os exemplos mais conhecidos talvez sejam aquelas baseadas na utilização do *Método dos Elementos Finitos*, são instrumentos de apoio à concepção de produto, baseadas em aspectos passíveis de formulação matemática. Portanto, a abordagem utilizada nesse tipo de ferramentas é de natureza diferente da utilizada nesta investigação, precedendo a avaliação da adequação do *projecto* face à *fabricação*.

Observe-se também que o conhecimento relativo às *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação* é caracteristicamente fragmentado, o que torna difícil a sua formalização e estruturação. Por isso, sendo este um trabalho de investigação científica, procurar-se-á basicamente tomar exemplos relativamente representativos das classes de problemas que podem ser atingidos pela análise efectuada sobre o modelo de representação da informação introduzido, com o intuito de demonstrar como a concepção deste, quando manipulada por uma análise adequadamente efectuada, pode ser útil na implementação de sistemas computacionais para aplicação do *Projecto Orientado à Fabricação* ao *Projecto Assistido por Computador*.

4.4.2. Tópicos abordados referentes às *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*.

A fim de se proceder à elaboração da investigação e inclusivamente à construção do modelo de representação da informação, diversos tópicos relacionados com as *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação* foram pesquisados em literatura básica sobre a fabricação de componentes mecânicos. Os seguintes tópicos foram considerados passíveis de serem estudados dentro da abordagem proposta nesta investigação:

- a) análise relativa à *existência de formas características*,
- b) análise relativa à *posição de formas características*,
- c) análise relativa ao *dimensionamento das formas características*,
- d) análise da especificação de tolerâncias em peças discretas (*tolerâncias dimensionais, tolerâncias geométricas e especificações de rugosidade superficial*);
- e) análise de *características* relacionadas com *atributos físicos* das peças discretas;
- f) análise da *selecção de materiais* de construção;
- g) análise relativa às possibilidades de utilização dos *recursos de produção*.

Para além destes tópicos, relacionados com a análise da fabricação de peças discretas, alguns outros temas relacionados com o *Projecto Orientado à Fabricação*, como o *Projecto Orientado à Montagem*, também foram pesquisados, sendo apresentados alguns resultados no tópico 5.5.9, apesar de não constituírem objecto principal da investigação realizada, pois, devido à complexidade desse tema, esta investigação restringiu-se prioritariamente à análise de adequação à fabricação de peças discretas, conforme definido no tópico 2.7.1.

A apresentação e discussão dos procedimentos elaborados para a realização da análise referente a cada um dos tópicos supracitados será efectuada em simultâneo com a apresentação de resultados introduzida no Capítulo 5, para uma maior facilidade de compreensão dos mesmos. Note-se que a implementação desses procedimentos é relativamente simples e directa, não exigindo a introdução de uma discussão mais geral, como a efectuada para os procedimentos relacionados com a aplicação da *Tecnologia de Grupo* e da *Selecção de Processos*. Além do mais, esses procedimentos são específicos em relação a cada um dos tópicos a serem analisados referentes às *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*.

Capítulo 5

5. Exemplos de Utilização do Modelo de Representação da Informação e dos Procedimentos em *Projecto Orientado à Fabricação*.

5.1. A apresentação da experimentação efectuada.

A experimentação do modelo teórico concebido nesta investigação foi efectuada através da concepção e implementação de um protótipo de sistema computacional baseado na aplicação da *Tecnologia das Características* à modelação de peças. A avaliação dos resultados obtidos com a utilização do modelo deu-se através da construção de modelos de peças mecânicas seguida da análise proporcionada pela aplicação dos diversos tópicos relacionados com o *Projecto Orientado à Fabricação*.

Portanto, para se obter a validação experimental do modelo, existe a necessidade de serem apresentados e discutidos tanto o modo de representação de peças mecânicas através do mesmo, como a sua adequação à efectiva utilização dos procedimentos relacionados com a aplicação da *Tecnologia de Grupo*, da *Seleção de Processos* e das *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*.

5.2. Exemplos de implementação da representação de peças.

A análise dos principais aspectos relativos à modelação e à implementação computacional da representação das peças mecânicas deve ser efectuada considerando-se os conceitos introduzidos pelo modelo teórico apresentado no Capítulo 3. Aqui serão apresentados os desenhos das diversas peças mecânicas estudadas e então serão discutidas as representações dessas através do modelo proposto. A ênfase nesta análise irá recair sobre a avaliação da capacidade do modelo em armazenar a informação pertinente ao projecto de componentes mecânicos, tendo-se em vista a sua aplicabilidade à análise em *Projecto Orientado à Fabricação*. Observe-se ainda que, para uma melhor compreensão dos conteúdos dos campos dos *objectos* referidos ao longo do texto, deve-se consultar o Apêndice D.

5.2.1. A representação de peças discretas.

Com relação às *peças discretas*, serão apresentados três casos ilustrativos, referentes a uma peça *axissimétrica*, a uma peça *não-axissimétrica* e a uma peça de simetria intermediária entre esses casos. Essas peças serão utilizadas ainda para fins de demonstração da aplicabilidade da análise relacionada com o *Projecto Orientado à Fabricação*.

5.2.1.1. Exemplo de representação de *peça discreta não-axissimétrica com linhas de referência das formas características não-alinhadas.*

A peça 5.1, cuja representação gráfica é introduzida à figura 5.1, constitui um exemplo de peça discreta não-axissimétrica. As *linhas de referência* das *formas características* não estão alinhadas. A seguir, será discutida a sua representação através do modelo de descrição da informação. Note-se que a classificação da peça discreta segundo os critérios baseados em *Tecnologia de Grupo* e relacionados com a *Seleção de Processos* está em conformidade com o introduzido no Capítulo 4. A implementação computacional da representação da peça 5.1 é apresentada no Apêndice F, tópico F.1.1.

A representação da informação de carácter não-geométrico sobre o produto é efectuada através do *objecto* denominado *peça.5.1*, descendente das entidades *informação sobre peça discreta* (directamente) e *informação sobre especificação de produto*. Note-se que a peça 5.1 será obtida a partir de um bloco de material de construção do tipo aço Ck45.

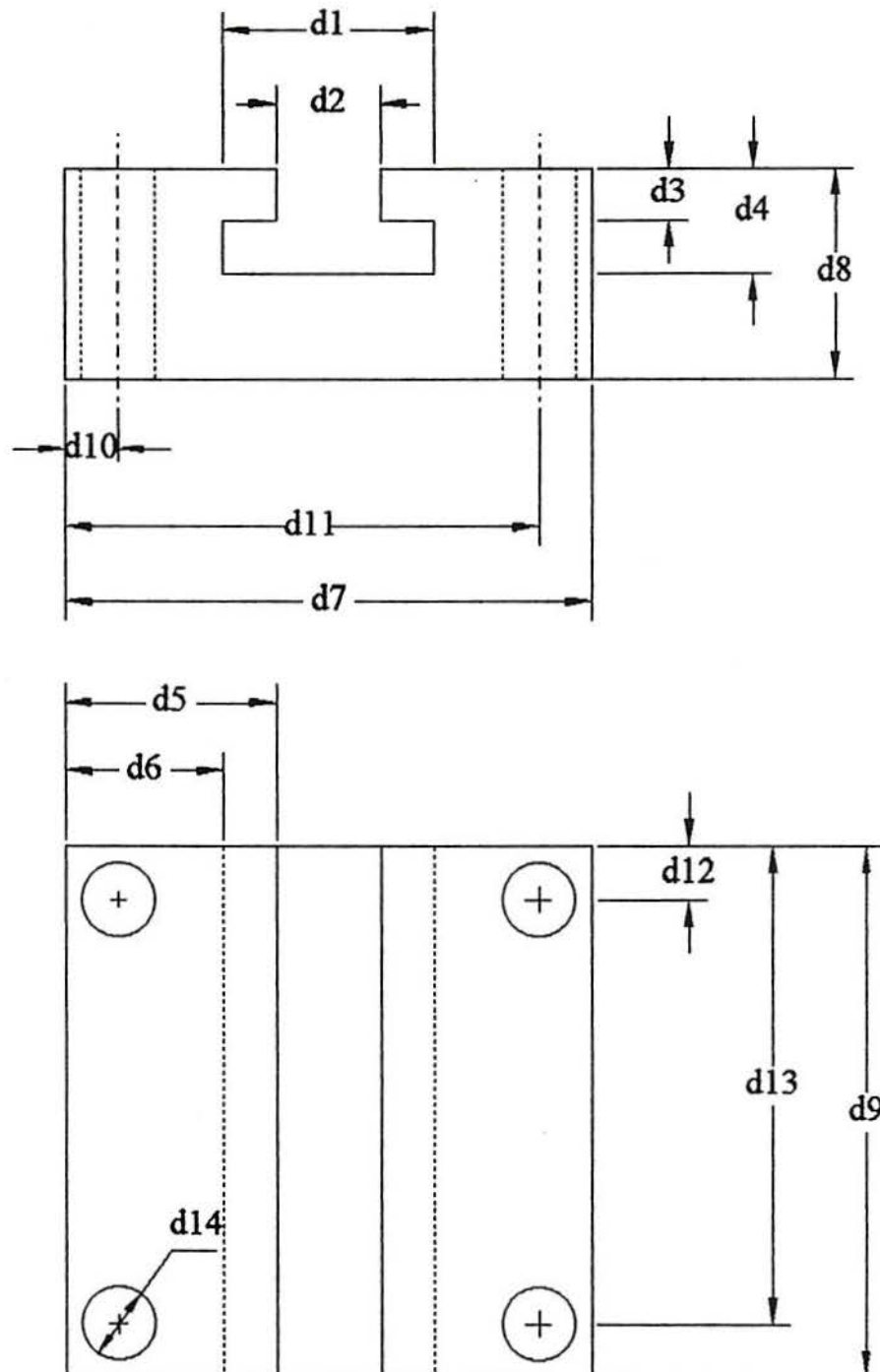
A descrição da informação de carácter geométrico sobre o produto é efectuada através da composição de descendentes daqueles relacionados com a *informação sobre geometria de peça*. A modelação da peça em termos de *formas características* deve ser efectuada escolhendo-se preferencialmente aquelas *formas* que possuam significado mais completo e específico em termos de *projecto mecânico*. Assim, é preferível representar o *entalhe* existente na peça através da instanciação do *objecto entalhe em forma de Tê*, bem como os *furos*, através da instanciação do *objecto furo cilíndrico* (ver também a discussão introduzida no Capítulo 4, tópico 4.1.2). Os *objectos* relativos às *formas características* utilizadas na modelação da peça foram denominados fc.5.1.1 (*paralelepípedo rectangular*), fc.5.1.2 (*entalhe em forma de Tê*), fc.5.1.3, fc.5.1.4, fc.5.1.5 e fc.5.1.6 (*furos cilíndricos*).

A figura 5.2 apresenta algumas dessas *formas características* isoladamente representadas. A figura 5.3 apresenta as posições relativas das *formas* no modelo geométrico da peça, notando-se que o referencial global (da peça) coincide com o referencial da *forma* fc.5.1.6. A *forma de encadeamento* utilizada para a composição do modelo foi o *encadeamento múltiplo* (conforme exposto no Capítulo 3, tópico 3.2), sendo a *forma* fc.5.1.1 inicialmente posicionada no espaço e posteriormente as demais *formas* localizadas com relação a essa. Evidentemente, a forma de encadeamento irá determinar os valores dos campos relativos à *transformação homogénea*, como as coordenadas do *ponto de base* (ponto O) e a matriz de cossenos directores ($l_1, l_2, l_3, n_1, n_2, n_3, m_1, m_2, m_3$).

Note-se também o seguinte: as dimensões d_7, d_8 e d_9 serão utilizadas na parametrização dimensional da *forma* fc.5.1.1 (*paralelepípedo*); as dimensões d_1, d_2, d_3, d_4 e d_9 serão utilizadas na parametrização da *forma* fc.5.1.2 (*entalhe*); e as dimensões d_8 e d_{14} serão utilizadas na parametrização das *formas* fc.5.1.3 a fc.5.1.6 (*furos cilíndricos*). As demais dimensões não podem ser associadas a nenhuma dimensão implicitamente definida nas *formas características* escolhidas para a representação da peça 5.1.

Pode-se verificar as posições relativas dos *elementos de união* entre *formas características* na peça 5.1 através da figura 5.4. Observe-se que, *exclusivamente para fins de implementação*, todos os casos de união *entre superfícies* de *formas* encontrados na peça foram representados através de

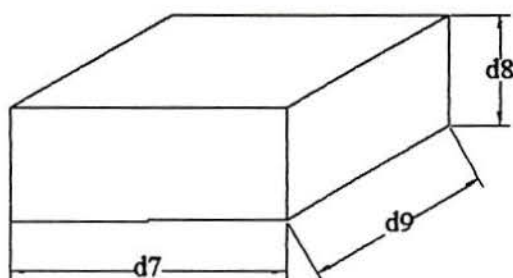
instâncias do objecto *elemento de união*. Isso facilitará a manipulação pelas regras implementadas para a análise relativa às *recomendações de projecto*. De qualquer modo, permanece válida a definição introduzida a respeito da entidade *elemento de união* (tópico 3.3.2.2.1, Capítulo 3), devendo-se notar que a forma de representação computacional implementada constitui unicamente um artifício para facilitar a manipulação da informação armazenada. Note-se ainda que, no caso da peça 5.1, o *tipo de união* indicado será sempre "meio contínuo".



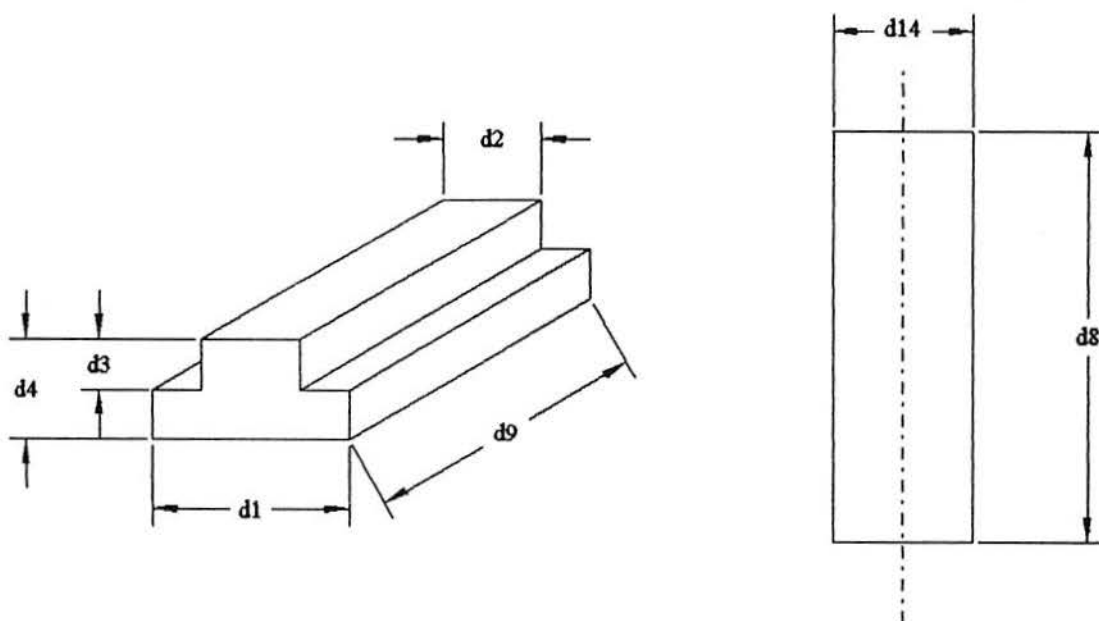
Especificação dimensional (nominal): $d_1 = 200$ mm, $d_2 = 100$, $d_3 = 50$, $d_4 = 100$, $d_5 = 200$, $d_6 = 150$, $d_7 = 500$, $d_8 = 200$, $d_9 = 500$, $d_{10} = 50$, $d_{11} = 150$, $d_{12} = 50$, $d_{13} = 450$, $d_{14} = \phi 70$

Figura 5.1 - Especificação geométrica da peça 5.1.

As dimensões d_5 , d_6 , d_{10} , d_{11} , d_{12} e d_{13} não podem ser associadas a nenhuma dimensão implicitamente definida nas *formas características*, por isso, foram definidas como *dimensões explícitas*. As dimensões d_5 e d_6 dizem respeito ao posicionamento do *entalhe*, enquanto que as dimensões d_{10} , d_{11} , d_{12} e d_{13} referem-se ao posicionamento dos *furos*. Em termos de implementação, note-se que o *objecto* d.5.1.d5 diz respeito à dimensão d_5 ; o *objecto* d.5.1.d6, à dimensão d_6 ; os *objectos* d.5.1.d10.a e d.5.1.d10.b dizem respeito à dimensão d_{10} ; os *objectos* d.5.1.d11.a e d.5.1.d11.b, à dimensão d_{11} ; os *objectos* d.5.1.d12.a e d.5.1.d12.b, à dimensão d_{12} ; os *objectos* d.5.1.d13.a e d.5.1.d13.b, à dimensão d_{13} .



(a) Forma característica fc.5.1.1 (paralelepípedo rectangular volume-positivo)



(b) Forma característica fc.5.1.2 (entalhe em Tê)

(c) Furos cilíndricos (formas fc.5.1.3, fc.5.1.4, fc.5.1.5 e fc.5.1.6)

Figura 5.2 - Dimensionamento das *formas características* constituintes da *peça* 5.1.

Observe-se que, para cada uma das dimensões relacionadas ao posicionamento dos furos, há dois pares distintos de elementos geométricos a serem identificados. Para a dimensão indicada por d_{10} , por exemplo, um par de elementos geométricos é formado pela superfície S_5 da *forma* fc.5.1.1 (paralelepípedo) e pela *linha de referência* da *forma* fc.5.1.3 (furo); o outro par é formado pela superfície S_5 da *forma* fc.5.1.1 (paralelepípedo) e pela *linha de referência* da *forma* fc.5.1.4 (furo). Por

essa razão, foram criados dois *objectos* da classe *dimensão explícita* para cada uma dessas dimensões lineares (d.5.1.d10.a e d.5.1.d10.b).

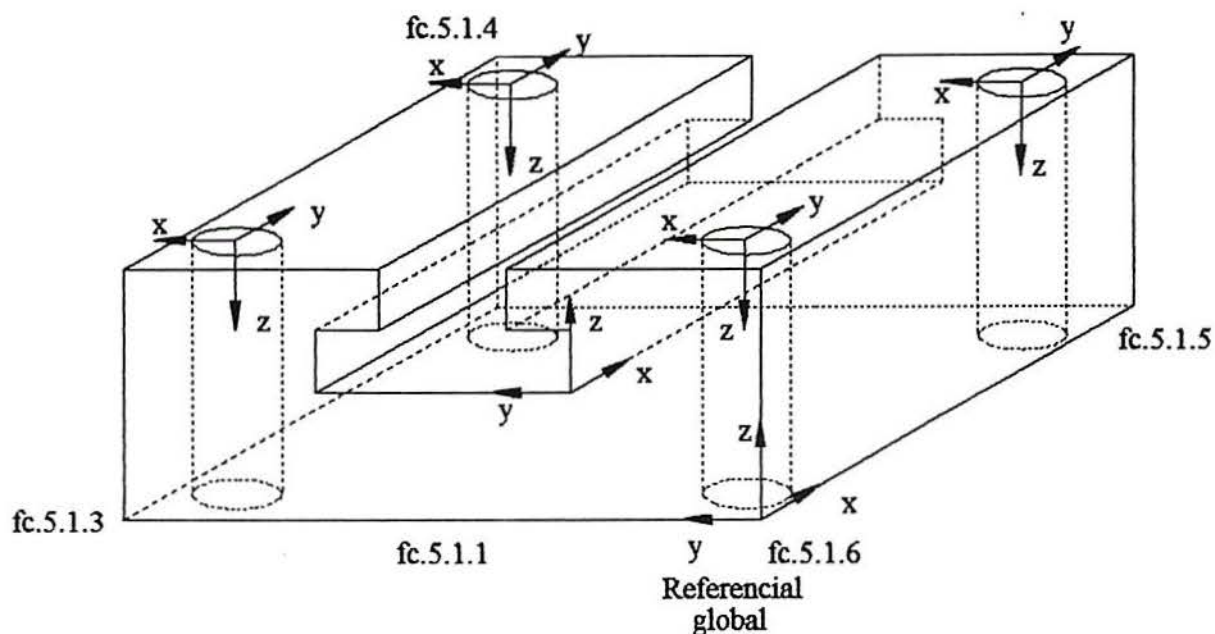


Figura 5.3 - Posições relativas das formas características na peça 5.1.

A partir da figura 5.1, também se pode observar que a superfície S_5 da forma fc.5.1.1 é tomada como referência para o estabelecimento das dimensões d_5 , d_6 , d_{10} e d_{11} , sendo este facto indicado pelo campo *elemento.de.ref* nos *objectos* correspondentes. O mesmo ocorre com relação à superfície S_2 da forma fc.5.1.1 e as dimensões d_{12} e d_{13} .

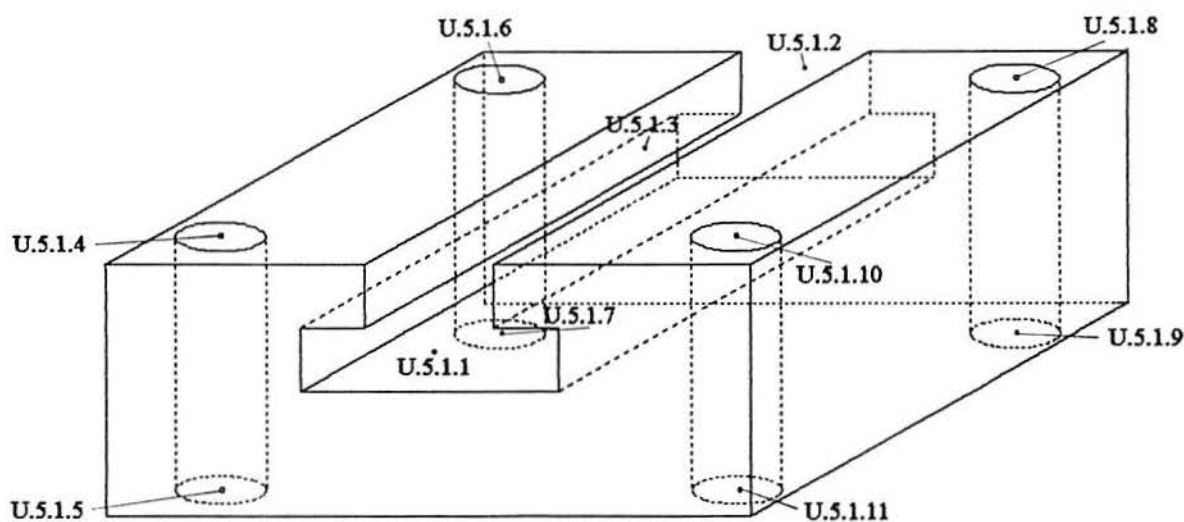


Figura 5.4 - Posições relativas das entidades referentes à representação dos elementos de união na peça 5.1.

A figura 5.5 apresenta as *tolerâncias geométricas* especificadas para a peça 5.1. Observe-se que a *tolerância de planicidade* especificada aplica-se directamente à superfície S_4 da forma

fc.5.1.1, e estará relacionada indirectamente às duas dimensões da *forma característica* relacionadas com essa superfície (denominadas *compr* e *lado*). Portanto, a *zona de tolerância* especificada (0,01mm) irá incidir sobre essas dimensões. O *objecto* relativo a essa especificação de *tolerância geométrica* indica a superfície e as dimensões afectadas. A *tolerância de paralelismo* aplica-se directamente às superfícies S_3 e S_5 da *forma* fc.5.1.1, e irá afectar indirectamente as dimensões denominadas *lado* e *lado.2*, associadas a essas superfícies. Assim, o valor especificado pela *zona de tolerância* irá incidir sobre essas dimensões.

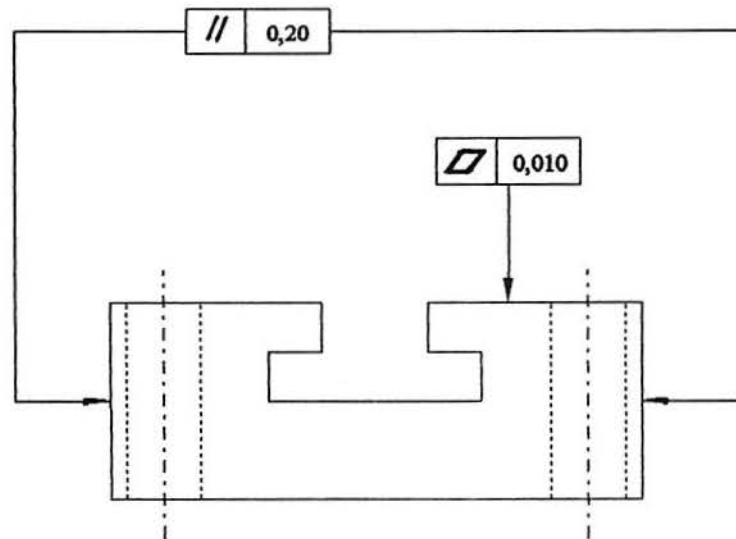


Figura 5.5 - Especificação de tolerâncias geométricas para a peça 5.1.

A escolha da *forma comercial* do material a ser utilizado na construção da peça 5.1 é representada por um *objecto* que especifica as dimensões do bloco a ser utilizado (505mm x 505mm x 205mm). Observe-se que o nome desse *objecto* foi previamente indicado no *objecto* relativo à informação de carácter não-geométrico sobre especificação de produto (denominado *peça.5.1*), através do campo denominado *identificador.forma.comercial*.

Com relação à especificação das *operações de fabricação* estabelecidas para a peça 5.1, deve-se ter em conta que a especificação dos processos de fabricação deverá suceder a utilização dos procedimentos de *Seleção de Processos* introduzidos no tópico 5.4.1, pois esses é que irão sugerir a utilização dos processos a serem escolhidos.

É fundamental que se compreenda que a especificação das operações de fabricação utilizadas nesta investigação não guardam *necessariamente* estreita relação com as operações *efectivamente* estabelecidas pelos *planos de processos* formalmente estabelecidos para as peças. Isso verifica-se basicamente de duas maneiras diferentes. Primeiramente, o nível de pormenorização atingido pelas especificações aqui não é tão exigente quanto o requerido para a definição do *plano de fabricação*, restringindo-se ao condizente com o exigido para a realização da investigação. Assim, no caso das operações de maquinação, a especificação de ferramentas (de corte e de fixação) e a definição de parâmetros de maquinação não será representada, por não se fazerem necessárias para as demonstrações a serem discutidas nos tópicos que se seguem.

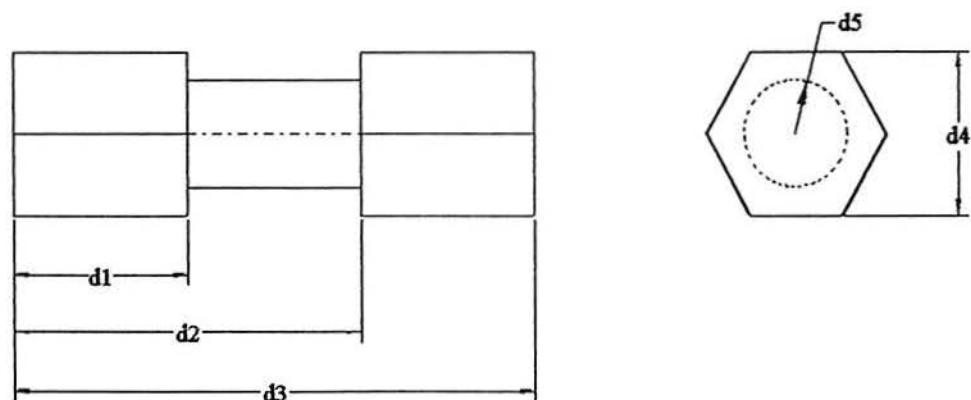
Em segundo lugar, não é necessário que cada operação de maquinação a ser executada seja individualmente especificada ao nível dos *objectos*, a menos que a sequência de operações venha a ser relevante para a análise a ser efectuada no *Projecto Orientado à Fabricação*. Para a peça 5.1, a definição de cada operação foi efectuada separadamente para cada *forma característica* afectada, para maior facilidade de compreensão da representação da informação. Assim, o *objecto* p.5.1.1 refere-se às operações de fresamento a serem executadas para a obtenção da *forma* fc.5.1.1; da mesma maneira, o *objecto* p.5.1.2 diz respeito à *forma* fc.5.1.2, e assim sucessivamente até à operação descrita pelo *objecto* p.5.1.6.

Para todas as operações de maquinação especificadas (*objectos* p.5.1.1 à p.5.1.6), deve-se notar a indicação de todas as *dimensões implícitas* afectadas pela execução da operação, devidamente relacionadas à cada *forma* a que pertencem, o que também é válido para as *dimensões explícitas* e as *tolerâncias geométricas* especificadas afectadas.

A especificação de uma operação de tratamento térmico (têmpera) objectivando atingir um determinado valor de dureza para a peça ($R_C 55$) é representada através do *objecto* denominado p.5.1.7. Essa operação deve ser executada posteriormente a *todas* as operações de maquinação necessárias (o que é indicado). Neste caso, não são indicados os elementos geométricos a serem afectados, pois as considerações relativas às operações de tratamento da peça comumente não se referem a esses elementos de modo específico.

5.2.1.2. Exemplo de representação de peça discreta não-axissimétrica com *linhas de referência* das *formas características* alinhadas.

A peça 5.2, cuja representação gráfica é apresentada à figura 5.6, constitui um exemplo de peça discreta não-axissimétrica cujas *formas características* estão alinhadas pelas suas *linhas de referência*. A seguir, será discutida a sua representação através do modelo de descrição da informação. A implementação computacional da representação da peça 5.2 é apresentada no Apêndice F, tópico F.1.2.



Especificação dimensional: $d_1 = 20 \pm 0,10$ mm, $d_2 = 40 \pm 0,20$, $d_3 = 60 \pm 0,30$, $d_4 = 20 \pm 0,15$, $d_5 = R 8 \pm 0,10$

Figura 5.6 - Configuração geométrica da peça 5.2.

Deve-se observar que se pretende obter a peça a partir de um vergalhão de perfil sextavado da liga denominada *aço X7Cr13*. O valor de *peso específico* considerado foi de 7,85 g/cm³ para essa liga, tendo a peça um volume de 0,0000179 m³ e massa de 0,140 kg.

A modelação da peça em termos de *formas características* foi efectuada através da parametrização de entidades da classe *forma discreta*, pela instanciação dos *objectos* das classes *prisma hexagonal regular* (criando-se os *objectos* denominados fc.5.2.1 e fc.5.2.3) e *cilindro circular recto* (fc.5.2.2). A figura 5.7 apresenta as posições relativas das *formas* no modelo geométrico da peça. A *forma de encadeamento* utilizada na composição do modelo foi o *encadeamento simples* (conforme exposto no Capítulo 3, tópico 3.2), sendo a *forma* fc.5.2.1 primeiramente posicionada no espaço e então a *forma* fc.5.2.2 posicionada com relação a essa; finalmente, a *forma* fc.5.2.3 foi posicionada com relação à fc.5.2.2. Observe-se que a *forma de encadeamento* irá determinar os valores dos campos relativos à *transformação homogénea* - coordenadas do *ponto de base* (ponto O) e matriz de cossenos directores ($l_1, l_2, l_3, n_1, n_2, n_3, m_1, m_2, m_3$).

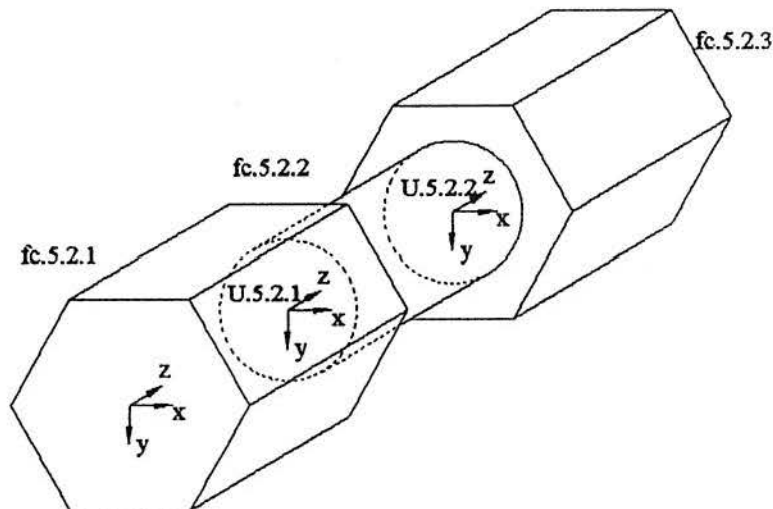


Figura 5.7 -Posições relativas de entidades representativas das formas e dos elementos de união da peça 5.2.

Note-se também o seguinte: as dimensões d_1 e d_4 serão utilizadas na parametrização dimensional da *forma* fc.5.2.1; a dimensão d_4 será utilizada na parametrização da *forma* fc.5.2.3; a dimensão d_5 será utilizada na parametrização da *forma* fc.5.2.2. As demais dimensões não podem ser associadas directamente a nenhuma dimensão implicitamente definida nas *formas características* da peça 5.2. Porém, a parametrização do volume correspondente a uma *forma característica* é imprescindível para o seu próprio processo de criação (por instanciação) e, por isso, deve-se obter os valores de comprimentos das *formas* fc.5.2.2 e fc.5.2.3 indirectamente, utilizando-se a informação relativa às dimensões d_2 e d_3 .

Os *elementos de união* entre *formas características* tem as posições relativas apresentadas à figura 5.7. Observe-se também que as dimensões d_2 e d_3 não podem ser associadas a nenhuma dimensão implicitamente definida nas *formas características*, por isso, foram definidas como *dimensões explícitas*, representadas respectivamente pelos *objectos* d.5.2.d2 e d.5.2.d3. Pela análise da figura 5.6, pode-se observar que a superfície S_7 da *forma* fc.5.2.1 é tomada como referência para o

estabelecimento das dimensões d_2 e d_3 , sendo esse facto indicado pelo campo *elemento.de.ref* nos *objectos* correspondentes.

A *forma comercial* do material a ser utilizado na construção da peça 5.2 é representada através do *objecto* denominado *vergalhão.perfil.hexagonal.peça.5.2*, que especifica as dimensões do vergalhão a ser utilizado (de tamanho igual a 25mm), a ser cortado em segmentos de 65mm para ser trabalhado.

5.2.1.3. Exemplo de representação de peça discreta axissimétrica.

A peça 5.3, cuja representação gráfica é introduzida à figura 5.8, constitui um exemplo de peça discreta axissimétrica. Pretende-se construir a peça a partir de um *varão de bronze*. Essa peça possui volume de $0,000052 \text{ m}^3$, massa de 0,459 kg e peso de 4,51 N. O valor de *peso específico* considerado foi de $8,8 \text{ g/cm}^3$ para esse material. A seguir, será discutida a sua representação através do modelo de descrição da informação. A implementação computacional da representação da peça 5.3 é apresentada no Apêndice F, tópico F.1.3.

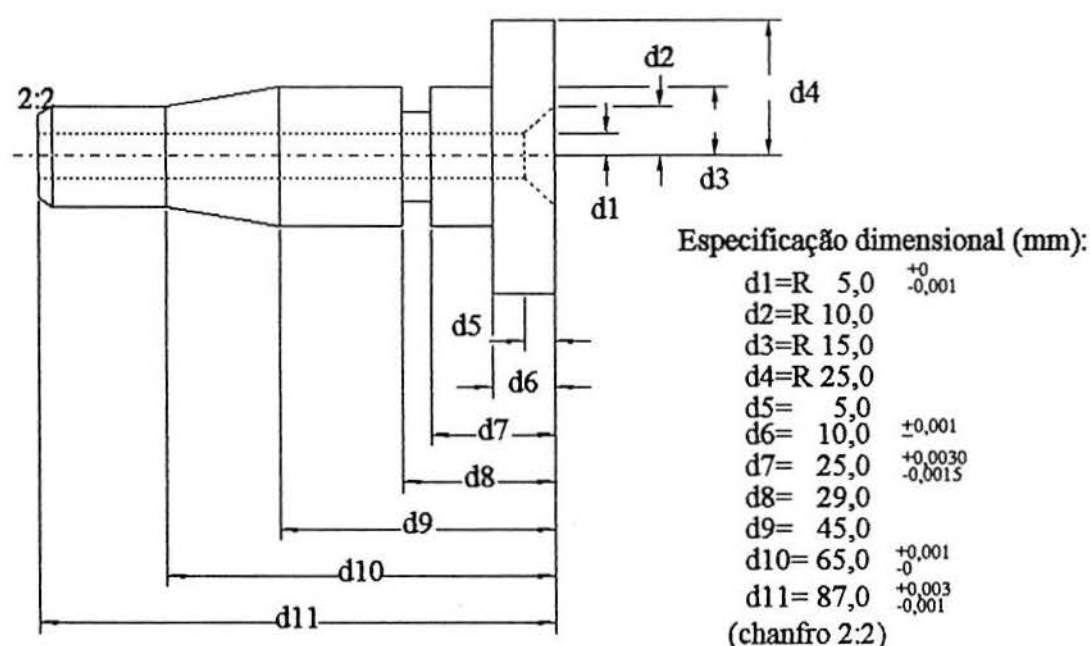
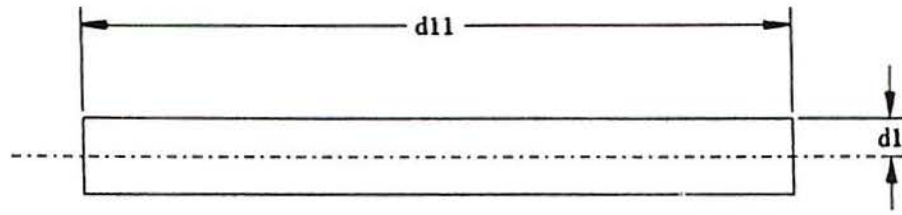
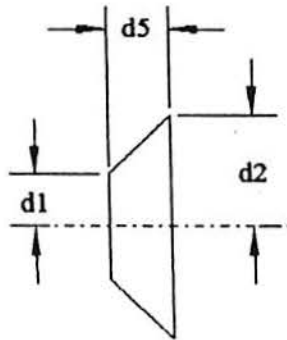


Figura 5.8 - Configuração geométrica da peça 5.3.

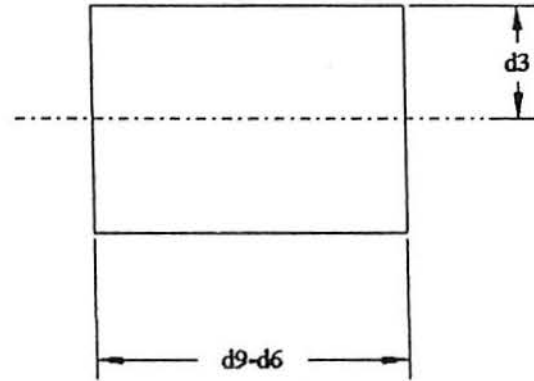
A composição do modelo da peça em termos das *formas características* foi efectuada através da utilização de entidades da classe *primitiva geométrica de volume*, pela instanciação de *objectos* das classes *cilindro circular recto* (para as *formas* fc.5.3.1, fc.5.3.3, fc.5.3.6 e fc.5.3.8) e *tronco de cone circular recto* (fc.5.3.5), e pela utilização de entidades da classe *elementos de forma*, pela instanciação de *objectos* das classes *chanfro tipo 1* (fc.5.3.4), aplicado sobre a *forma* fc.5.3.3, *furo cilíndrico* (fc.5.3.1), *entalhe revolutivo* (fc.5.3.2) e *rebaixamento cónico* (fc.5.3.2). A figura 5.9 apresenta essas *formas características* individualmente representadas, e a figura 5.10 apresenta as *posições relativas* dessas na peça (note-se que o referencial da peça coincide com a da *forma* fc.5.3.8).



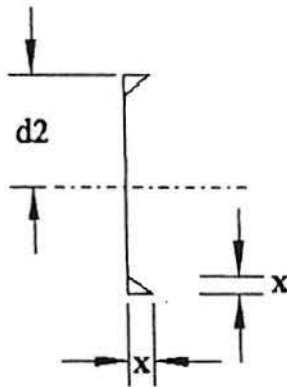
(a) Forma característica fc.5.3.1 (furo cilíndrico)



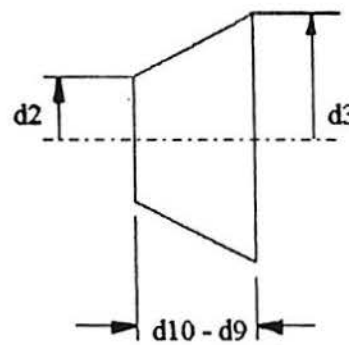
(b) Forma característica fc.5.3.2 (rebaixamento cónico)



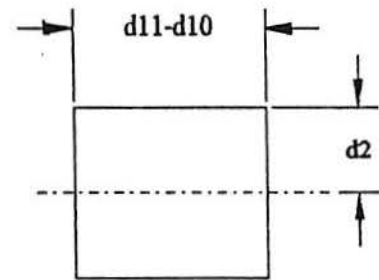
(c) Forma característica fc.5.3.3 (cilindro circular recto volume-positivo)



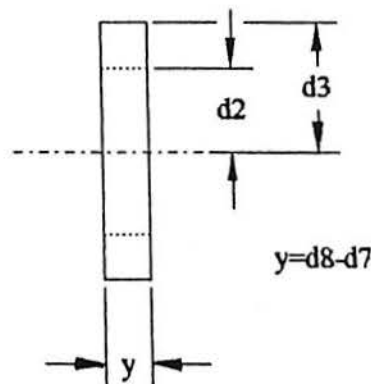
(d) Forma característica fc.5.3.4 (chanfro tipo 1)



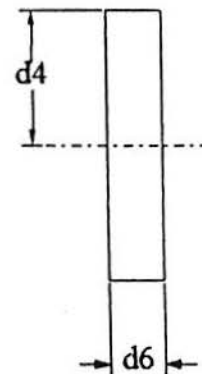
(e) Forma característica fc.5.3.5 (tronco de cone circular recto)



(f) Forma característica fc.5.3.6 (cilindro volume-positivo)



(g) Forma característica fc.5.3.7 (entalhe revolutivo)



(h) Forma característica fc.5.3.8 (cilindro volume-positivo)

Figura 5.9 - Dimensionamento das formas características da peça 5.3.

A *forma de encadeamento* utilizada para a composição do modelo foi o *encadeamento múltiplo* (ver Capítulo 3, tópico 3.2), sendo que a representação gráfica desse encadeamento pode ser vista na figura 5.11.

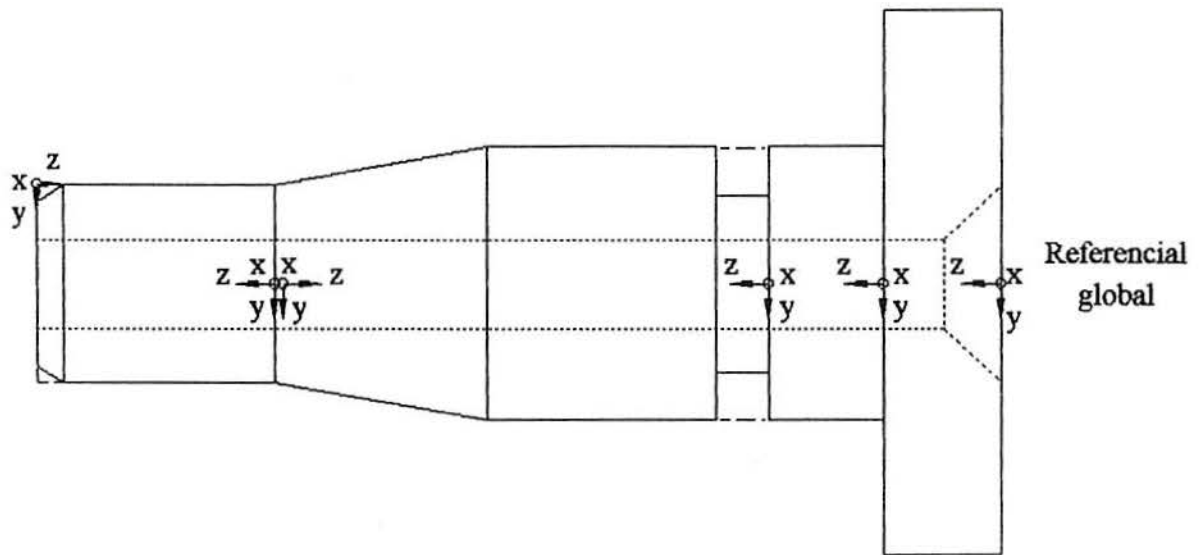


Figura 5.10 - Posições relativas das *formas características* na peça 5.3.

Observe-se que as tolerâncias dimensionais da peça apresentadas na forma observada à figura 5.8 têm o propósito de servirem adequadamente à aplicação dos procedimentos de análise das mesmas apresentados no tópico 5.5.3.

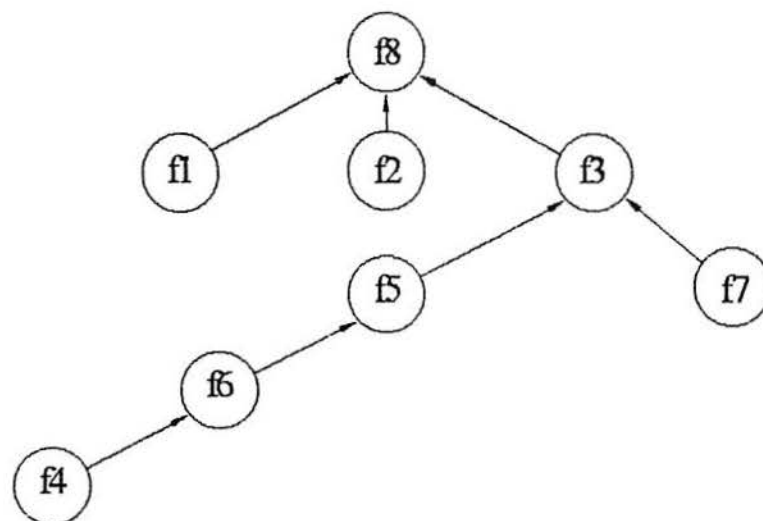


Figura 5.11 - Representação do esquema de *encadeamento múltiplo* de *formas* para a peça 5.3.

Os *objectos* relativos aos *elementos de união* entre *formas características* podem ter suas posições relativas na peça verificadas através da figura 5.12. Deve-se ter em conta que a representação dos *elementos de união*, em termos de implementação, considera todas as ocorrências de *superposições* de pares de superfícies pertencentes a *formas características* diversas.

As dimensões d_7 , d_8 , d_9 e d_{10} não podem ser directamente associadas a nenhuma dimensão implicitamente definida nas *formas características* da peça 5.3, sendo então representadas como *dimensões explícitas*. A dimensão d_{11} pode ser associada ao comprimento da *forma* fc.5.3.1 e também ao comprimento total da peça, sendo preferível representá-la opcionalmente também como *dimensão explícita*, dada a importância de se ter disponível essa medida para a análise de peças axissimétricas. Note-se que isso é facultado ao projectista, conforme exposto no Capítulo 3, tópico 3.3.2.2.2.

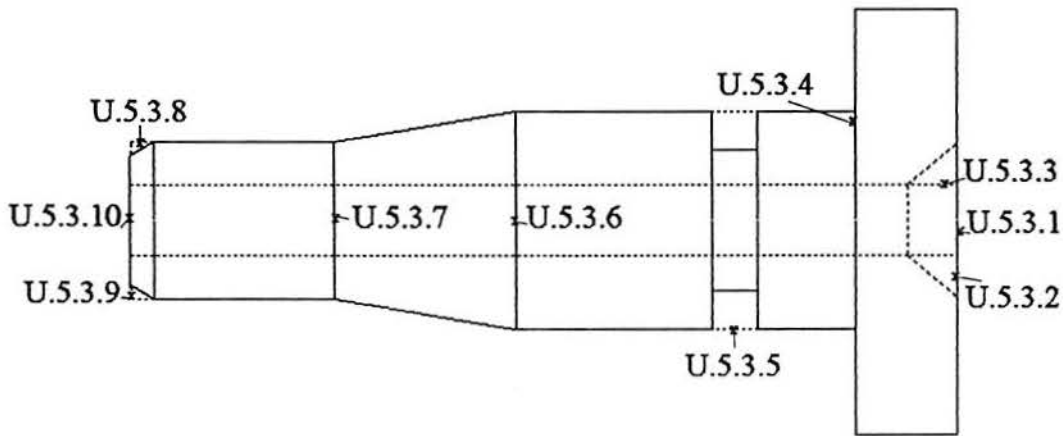


Figura 5.12 - Posições relativas das entidades representativas dos elementos de união da peça 5.3.

A partir das figuras 5.8 e 5.10, também se pode observar que a superfície S_3 da *forma* fc.5.3.8 é tomada como referência para o estabelecimento das dimensões d_7 , d_8 , d_9 , d_{10} e d_{11} , sendo esse facto indicado pelo campo *elemento.de.ref* nos *objectos* correspondentes.

Eventualmente será necessário eleger uma das duas superfícies apontadas num objecto relativo aos *elementos de união* como o *elemento geométrico* a ser utilizado como referência para o estabelecimento de uma *dimensão explícita*. Neste caso, deve-se escolher preferencialmente superfícies pertencentes a *formas* do *tipo* volume-positivo, porque, ao se efectuar uma operação de medição da *dimensão explícita* especificada, naturalmente serão consideradas como referência as superfícies pertencentes às *formas* do *tipo* volume-positivo. Essa é a maneira preferível para a representação dessa informação no caso de ser necessária a sua recuperação para utilização na especificação de uma *operação de fabricação*, por exemplo. Assim, preferiu-se a superfície S_3 da *forma* fc.5.3.8 para a especificação da *dimensão explícita* $d_{5.3.d7}$, tendo sido preteridas as superfícies S_{topo} da *forma* fc.5.3.1 e S_{topo} da *forma* fc.5.3.2.

Se a opção tiver de ser efectuada entre duas superfícies ambas pertencentes a *formas* do *tipo* volume-positivo, deve-se dar preferência às superfícies cujos *estados* sejam *reais* e *parciais* - nesta ordem - pelas mesmas razões já apontadas. Não havendo qualquer hipótese de se preferir uma dada superfície pelos critérios apresentados (caso, por exemplo, das superfícies S_3 da *forma* fc.5.3.5 e S_3 da *forma* fc.5.3.6 na especificação da *dimensão explícita* d_{10}), qualquer das superfícies poderá ser escolhida, porque os *elementos de união* estabelecem univocamente a existência de superposição física entre as superfícies como um facto perfeitamente estabelecido com relação à geometria da peça.

A figura 5.13 apresenta as *tolerâncias geométricas* especificadas para a peça 5.3. Observe-se que a *tolerância de perpendicularismo* (que se aplica à superfície S_3 da *forma* 5.3.8) e a *tolerância de movimento* (que se aplica à superfície S_2 da *forma* fc.5.3.3) referem-se a um mesmo elemento geométrico, que é a *linha de referência* da *forma* fc.5.1.1 (coincidente com o eixo de simetria da peça). Observe-se também que a existência da *tolerância de perpendicularismo* relaciona-se com a obtenção do raio da *forma* fc.5.3.8, enquanto que a existência da *tolerância de movimento* relaciona-se com o raio da *forma* fc.5.3.3, sendo essas as dimensões sobre as quais as especificações de *zonas de tolerâncias* irão incidir. A *tolerância de circularidade* diz respeito a elementos geométricos *isolados* - no caso, a superfície S_2 da *forma* fc.5.3.6 - e diz respeito ao raio da mesma.

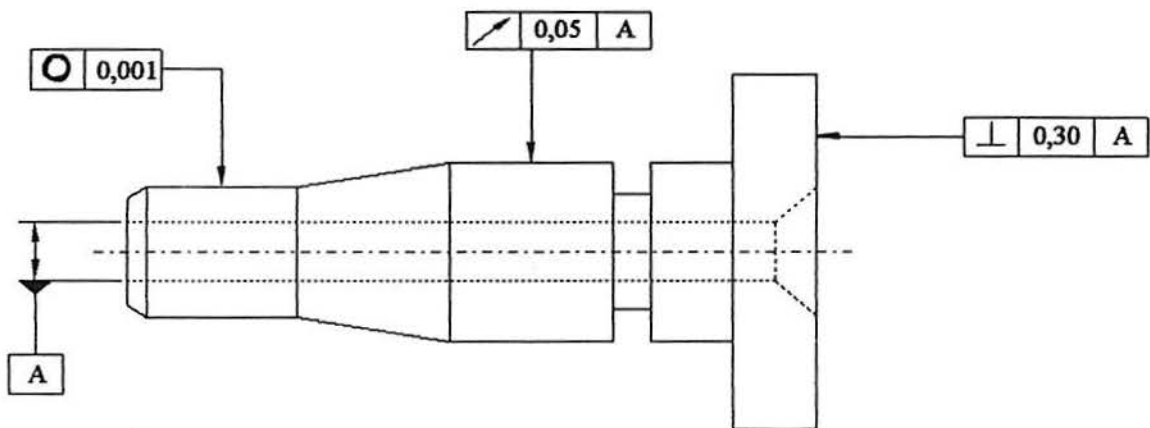


Figura 5.13 - Especificação de *tolerâncias geométricas* para a peça 5.3.

A escolha da *forma comercial* do material a ser utilizado na construção da peça 5.3 especifica as dimensões do varão a ser utilizado (de 55mm de diâmetro), a ser cortado em segmentos de 90mm para ser trabalhado.

Com relação à especificação das *operações de fabricação* estabelecidas para a peça 5.3, observe-se, uma vez mais, que a especificação dos mesmos deve suceder à utilização dos procedimentos de *Seleção de Processos* a serem introduzidos no tópico 5.4.3. Adicionalmente, há duas operações de fabricação que estão relacionadas com a análise introduzida no tópico 5.5.4.

As observações gerais relativas a esta investigação introduzidas na análise da especificação das operações de fabricação anteriormente efectuadas ao longo da discussão da representação da peça 5.1 permanecem válidas. No caso da peça 5.3, porém, ocorre uma situação em que o sequenciamento inerente à execução de duas diferentes operações de *torneamento cónico* obriga à declaração de duas operações diversas, denominadas respectivamente p.5.3.3 e p.5.3.6. Isso se deve a que a operação de *torneamento cónico* relacionada com a obtenção da *forma* fc.5.3.5 deverá ser executada após a operação de *torneamento cilíndrico* inerente à obtenção das *formas* fc.5.3.6, fc.5.3.3, fc.5.3.7 e fc.5.3.8. A operação de *torneamento cónico* relacionada com a obtenção do rebaixamento do furo, porém, é dependente da furação desse, representada pelo *objecto* denominado p.5.3.5.

Assim, para a peça 5.3 (diferentemente do efectuado para a peça 5.1), a definição de cada operação de fabricação procurou relacionar o conjunto das *formas características* afectadas em sua

especificação individualmente, ilustrando assim outra possibilidade de representação da informação. Deste modo, o *objecto* p.5.3.1 refere-se às *formas* fc.5.3.8, fc.5.3.3, fc.5.3.6 e fc.5.3.7; o *objecto* p.5.3.2, às *formas* fc.5.3.8 e fc.5.3.6; o *objecto* p.5.3.3, às *formas* fc.5.3.4 e fc.5.3.5; o *objecto* p.5.3.4, à *forma* fc.5.3.7; o *objecto* p.5.3.5, às *formas* fc.5.3.1 e fc.5.3.2; o *objecto* p.5.3.6, à *forma* fc.5.3.2; o *objecto* p.5.3.7, à *forma* fc.5.3.3; e o *objecto* p.5.3.8, à *forma* fc.5.3.1. Para todas as operações de maquinação especificadas, observe-se que todas as dimensões implícitas afectadas das *formas características* são indicadas, o mesmo sendo válido para as *dimensões explícitas* e as *tolerâncias geométricas*.

5.2.1.4. Exemplo de representação de peça discreta com utilização de *forma explícita*.

Neste tópico é introduzido um exemplo de peça discreta cujo modelo de representação geométrica contém uma *forma explícita*. Observe-se que a peça 5.3-b, apresentada à figura 5.14, é basicamente a mesma peça discreta 5.3, cuja representação foi discutida no tópico 5.2.1.3, diferindo quanto à constituição geométrica pela substituição da *forma* fc.5.3.5 pela *forma explícita* fc.5.3.5.b (apresentada à figura 5.15). Assim, a representação da peça 5.3-b através de *objectos* é basicamente a mesma da peça 5.3, sendo apresentados neste tópico apenas os pormenores diferenciadores mais relevantes.

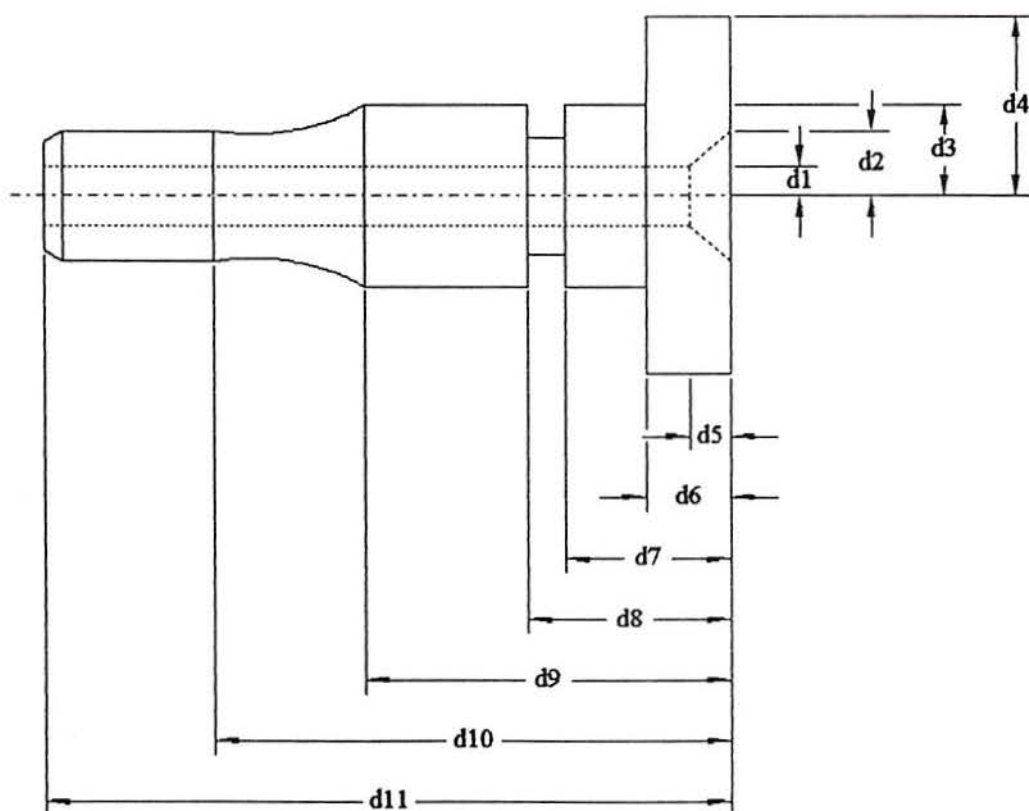
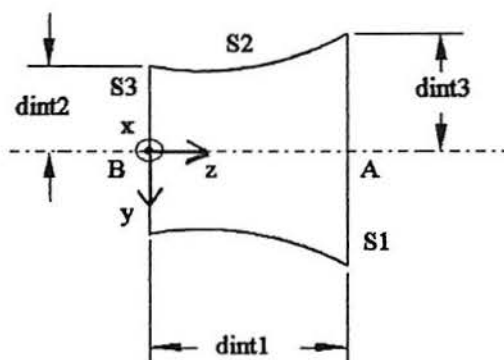
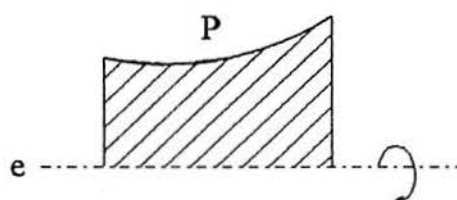


Figura 5.14 - Configuração geométrica da peça 5.3-b.

A implementação computacional da representação da peça 5.3-b é apresentada no Apêndice F, tópico F.1.5. A informação de carácter não-geométrico sobre essa peça é basicamente a mesma da peça 5.3, por isso não será aqui discutida a sua representação.



(a) Dimensionamento, definição de superfícies e posições do referencial próprio e da linha de referência.



(b) Obtenção da forma pelo processo de revolução de perfil (P) em torno de eixo (e) por 360°.

Figura 5.15 - Representação da *forma explícita* fc.5.3.5.b.

Quanto à representação da geometria da peça, observe-se que a *forma explícita* fc.5.3.5.b (ver figura 5.15) é obtida pelo processo de construção geométrica de revolução de um perfil em torno de um eixo (num ângulo de 360°). A definição da posição do referencial e as denominações de superfícies da *forma* podem ser aleatoriamente definidas aquando de sua criação e incorporação ao modelo geométrico da peça. A localização da *linha de referência*, porém, não o é, pois esta deve estar em conformidade com as condições exigidas para posicionamento de *linhas de referência* de *formas características*, discutidas no Capítulo 3, no tópico 3.3.2.1.1. Neste caso, a *linha de referência* da *forma* coincide com a *linha de base* utilizada na sua construção. Note-se que os pontos A e B podem ter as suas posições mutuamente intercambiadas. Observe-se que a *forma* fc.5.3.5.b é axissimétrica e rotacional. A análise sobre a simetria da *forma* poderia ter sido automaticamente inferida pelo processo de construção geométrica utilizado, pois a *forma* foi obtida pela revolução completa de um perfil gerador curvo.

A similaridade quanto à geometria entre essa *forma explícita* e a *forma implícita* da classe *tronco de cone circular recto* conduzem a que se possa considerar a existência de uma certa relação

entre as mesmas, indicando-se a última como a "*classe presumível*" da primeira (a discussão relativa a esse assunto também é efectuada no Capítulo 3, tópico 3.3.2.1.1).

Observe-se ainda que a definição da geometria de uma *forma explícita* deve ser obtida através da representação da sua configuração geométrica em ficheiros armazenados no *módulo gráfico* do sistema computacional (ver Capítulo 4, tópico 4.1). Porém, essa definição é também complementada pela definição do dimensionamento da *forma* através das *dimensões explícitas*, pois a mesma não possui definição dimensional implícita. Assim, três *dimensões explícitas* são criadas para representação das dimensões básicas da *forma*, conforme apresentado na figura 5.15. Na *dimensão explícita* $d_{int\Omega}$, observe-se que o segundo elemento geométrico referenciado no *objecto* é o limite entre as superfícies denominadas S_2 e S_3 da *forma* fc.5.3.5.b (esse limite possui forma circular). Analogamente, para a *dimensão explícita* $d_{int\beta}$, o segundo elemento geométrico referenciado é o limite entre as superfícies denominadas S_1 e S_2 da *forma* fc.5.3.5.b.

Quanto à especificação de operações de fabricação, observe-se que a operação indicada para a *forma* fc.5.3.5.b no tópico 5.4.4 é uma combinação do *torneamento cónico* com o *perfilamento axial*. A operação de *torneamento cónico* é praticamente a mesma definida através do *objecto* p.5.3.3 (tópico 5.2.1.3), apenas considerando-se o facto de que é a *forma* fc.5.3.5.b que estará sendo trabalhada (em lugar da *forma* fc.5.3.5). Deve-se adicionar, porém, a informação relativa à operação de *perfilamento axial*.

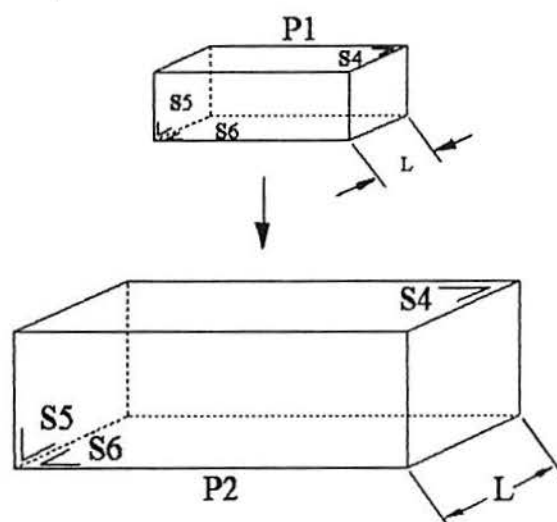
5.2.2. A representação de peças discretas agrupadas.

A seguir será discutido um exemplo de representação de uma peça da classe *peça composta*, para melhor compreensão da análise da representação de *peças discretas agrupadas*. Apenas as entidades relativas exclusivamente à representação do *agrupamento* em si serão discutidas, pois a representação de peças discretas (isto é, dos componentes a serem montados) já foi discutida nos tópicos anteriores. Observe-se que a representação de uma peça da classe *agregado de peças discretas* é inteiramente análoga à das peças da classe *peça composta*. A implementação computacional da representação da peça 5.4 é apresentada no Apêndice F, tópico F.2.

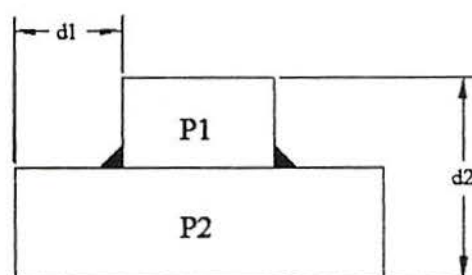
A peça 5.4 é composta pela união física entre duas *peças discretas* (denominadas P_1 e P_2), supostamente obtida através de um processo de *soldadura contínua à resistência*, conforme indicado na figura 5.16. Por uma questão de simplicidade, as peças discretas serão formadas, cada uma, por uma única *forma característica*, da classe *paralelepípedo rectangular*, denominadas respectivamente fc.P.1.1 e fc.P.2.1. Observe-se que a união das duas peças ocorrerá pela união da superfície denominada S_6 da *forma* constituinte da peça P_1 com a superfície S_4 da *forma* constituinte da peça P_2 . A peça P_1 é construída com *bronze* e a peça P_2 é construída a partir de uma *liga de alumínio*.

A informação sobre os *elementos de união* entre as *formas características*, causada pela operação de soldadura, é um elemento relacionado unicamente com a descrição da peça 5.4 (e não das peças P_1 e P_2), sendo representada por um *objecto* (denominado u) pertencente apenas à descrição da peça composta. Observe-se que o *tipo de união* indicado é a "*ligação permanente*". Caso, por hipótese,

a peça P₁ fosse constituída por mais de uma *forma característica*, os *elementos de união* relacionados com a descrição da peça composta 5.4 não seriam incluídos na descrição dessa, mas exclusivamente na descrição da peça P₁ (evidentemente o mesmo é válido para a peça P₂).



(a) Peças discretas P₁ e P₂, a serem unidas por soldadura, conforme indicado.



$$d1 = 50,00 \pm 0,10$$

$$d2 = 30,00 \pm 0,15$$

(b) Representação da soldadura a ser efectuada.

Figura 5.16 - Representação esquemática da peça composta 5.4.

Com relação à descrição das *dimensões explícitas*, observe-se que ambas as dimensões apresentadas na figura 5.16-b devem ser representadas como dimensões pertencentes à peça 5.4 (os *objectos* correspondentes foram denominados *d.1* e *d.2*), pois ambas referem elementos geométricos localizados nas diferentes peças discretas.

As operações de fabricação das peças discretas P₁ e P₂ não irão pertencer à descrição das especificações da peça 5.4, ao contrário da representação do processo de soldadura entre ambas. Observe-se que a descrição das superfícies a estarem envolvidas na operação é efectuada de modo indirecto, através do próprio *elemento de união* que representa a adesão de superfícies relacionada com a criação da peça composta. A *dimensão explícita* *d*₁ está efectivamente relacionada com a operação de soldadura (a *dimensão* *d*₂ é independente da mesma).

5.3. A aplicação dos procedimentos elaborados com base na utilização da *Tecnologia de Grupo*.

No Capítulo 4, foram introduzidas algumas funções para a recuperação da informação existente nas entidades representadas na *base de dados* do modelo introduzido nesta investigação (ver tópico 4.2.2.2). Essas funções tanto podem ser utilizadas para pesquisar directamente a informação armazenada nos *objectos*, quanto para a formação de grupos de peças com critérios mais elaborados e complexos, o que pode ser obtido efectuando-se sucessivas operações de consulta. A seguir serão discutidas diversas possibilidades de utilização dessas funções.

Se o projectista desejar determinar quais das peças armazenadas na *base de dados* possuem conteúdo correspondente à resposta afirmativa para o primeiro dígito do código de classificação geométrica, por exemplo, basta utilizar a *função 5*, fornecendo o campo *d.1* como dado para a pesquisa (na *base de dados*, o dígito "*d₁*" do código de classificação da geometria é representado pelo campo *d.1*) e o conteúdo esperado a ser encontrado ("1").

Observe-se que, havendo alguma dúvida quanto a se ter seleccionado unicamente *objectos* da classe *peça discreta* nesse grupo (porque um *objecto* de outra classe poderia eventualmente também possuir um campo com o mesmo nome "*d.1*"). Então, formar-se-ia um grupo contendo todas as peças discretas da *base de dados* (utilizando-se a *função 3*, tendo "*peça.discreta*" como nome do *objecto-pai*) e posteriormente seria determinada a intersecção entre os dois grupos através da *função 10*. O grupo então gerado seria a solução do problema.

Se o projectista desejar encontrar todas as peças armazenadas na *base* que possuam um certo valor para o código classificativo, será necessário utilizar a *função 5* oito vezes, fornecendo como nomes dos campos de pesquisa "*d.1*", "*d.2*", ... "*d.8*" e, como conteúdo a encontrar para esses campos, respectivamente cada um dos valores classificativos desejados. A intersecção entre os oito grupos formados é a solução desse problema.

Para se encontrar todas as peças axissimétricas presentes na *base*, seria necessário proceder do seguinte modo (tendo em conta as condições que devem ser obedecidas para que uma peça seja considerada axissimétrica, expostas no Capítulo 4, tópico 4.2.2.1):

- a) utilizando-se a *função 5*, formar três grupos de peças tais que respectivamente "*d.1 = 1*", "*d.2 = 1*" e "*d.3 = 1*"; determinar o *conjunto-intersecção* entre esses três conjuntos (através da *função 10*).
- b) novamente utilizando-se a *função 5*, formar outros três grupos tais que "*d.1 = 1*", "*d.6 = 0*" e "*d.8 = 0*"; determinar o *conjunto-intersecção* entre esses três conjuntos (através da *função 10*).
- c) determinar o *conjunto-união* entre os conjuntos resultantes das intersecções anteriormente efectuadas (utilizando-se a *função 11*); este conjunto será a solução do problema.

Utilizando-se a *função 5*, também poderiam ser encontrados, por exemplo, grupos de peças construídas com o mesmo *tipo de material*. Desejando-se formar um grupo com todas as peças construídas com o aço *Ck15*, seria fornecido como identificador de campo para pesquisa *tipo.de.material.de.construção* e, como conteúdo a ser pesquisado para o campo, *aço.Ck15* (que é o nome do *objecto* que contém a informação relativa a esse aço na *base de dados*).

Sendo necessário formar um grupo com todas as peças construídas com o aço *Ck15* a partir de *varões*, inicialmente seria criado um novo grupo utilizando-se a *função 5*, fornecendo como

campo de pesquisa *forma.do.material.de.construção* e, como conteúdo a ser pesquisado, *vergalhão.perfil.circular*. Ter-se-ia a solução do problema ao se fazer a intersecção desse grupo com o das peças construídas com o aço *Ck15* (previamente estabelecido) através da utilização da *função 10*.

Se quiséssemos formar grupos de peças discretas cuja *massa* está compreendida entre determinados limites (exclusive estes), utilizar-se-iam as *funções 6 e 7*. Admitamos que esses valores sejam, por exemplo, 0,5 e 1,5 kg. Através da *função 6*, pode-se determinar o grupo de *objectos* possuidores do campo *massa* com valor acima de 0,5 (kg). Semelhantemente, utilizando-se a *função 7*, determinar-se-ia o grupo de *objectos* em que o campo *massa* tem valor inferior a 1,5 (kg). Determina-se então a intersecção entre esses dois grupos através da *função 10*, e, finalmente, a intersecção entre esse grupo e o grupo das peças discretas existentes na *base* (a fim de garantir que todos os *objectos* encontrados sejam peças discretas).

Admitamos agora que, dentre as peças armazenadas na *base de dados*, algumas contenham um determinado campo descritor. Este campo poderia ter sido anexado à descrição da peça por decisão do projectista, por conveniência, quando da incorporação da peça à *base*. Pode-se encontrar o conjunto dessas peças através da utilização da *função 4*, fornecendo-se o nome desse campo. Observe-se que essa situação torna-se factível na medida em que pode ser facultada a inclusão de campos nos *objectos* presentes na *base de objectos*. A quais *objectos* se poderão anexar campos ou a quem isso seria permitido são decisões que poderiam ser tomadas inclusivamente ao nível da gestão do ambiente industrial. De qualquer modo, os *objectos-instâncias* seriam os mais provavelmente abrangidos por essa situação.

As funções de pesquisa à *base de objectos* apresentadas podem ser úteis não apenas na formação de grupos de peças, mas também de outros classes de *objectos*. Este tipo de operação não é convencional dentro da aplicação da *Tecnologia de Grupo*, mas, de qualquer modo, sendo uma possibilidade facultada pela utilização das funções apresentadas, também deve ser examinada.

Se, por hipótese, o projectista desejasse conhecer quais materiais estão, em princípio, disponíveis para escolha, poderia formar grupos desses com a utilização das funções apresentadas. Logicamente, seria necessário que todos os materiais passíveis de escolha - ao menos dentro do ambiente industrial em que o projectista está a operar - estivessem representados na *base de dados*.

Por exemplo, suponhamos que fosse necessário conhecer as classes de aços à disposição dos projectistas. Utilizando-se a *função 2*, pode-se formar um grupo com todos os *descendentes directos* do *objecto* denominado *aço* (*aço de construção, aço de ferramenta, aço especial*). Se, porém, desejássemos conhecer todas as classes de aços disponíveis, tornar-se-ia necessário então conhecer toda a estrutura da árvore a partir do *objecto* denominado *aço*. Neste caso, proceder-se-ia da seguinte maneira:

- a) seria formado um grupo com todos os descendentes do *objecto* denominado *aço*, utilizando-se a *função 1*;
- b) seria formado um grupo dos descendentes do *objecto* denominado *aço* ao nível de nós-folhas, pela utilização da *função 3*;
- c) utilizando-se a *função 9* (fornecendo como parâmetros respectivamente os grupos criados no primeiro e segundo passos do procedimento) seria encontrado o grupo desejado.

Seguindo-se o mesmo raciocínio, poderiam ser formados também grupos de máquinas ou de processos de fabricação, provavelmente em consultas gerais de interesse informativo por parte do projectista.

Se fosse necessário encontrar todas as peças fabricadas com uma determinada classe de materiais - por exemplo, aços - utilizar-se-ia a *função 8*, fornecendo como parâmetros *tipo.de.material.de.construção* (nome de campo) e *aço* (conteúdo de campo). Neste caso, a função analisará se o conteúdo naquele campo é o nome de um *objecto* descendente (em qualquer nível) do *objecto* denominado *aço*. A intersecção deste grupo com o grupo formado pelos *objectos* da classe *peça discreta* é a solução desta questão.

Finalmente, se quiséssemos formar grupos de peças discretas possuidoras de um certo número mínimo de *formas características* de uma dada classe, utilizaríamos a *função 12*, fornecendo como parâmetros esse *número* e essa *classe* de *formas*. Observe-se que assim é possível criar grupos de peças possuidoras de *formas características* consideradas em diferentes níveis de abstracção, porque tal classe tanto pode ser uma *forma* propriamente dita, como o *cilindro circular recto* ou o *entalhe em topo de cilindro*, quanto uma categoria de *formas*, como *furo*, *forma discreta* ou *forma explícita*.

Assim, poder-se-ia, por exemplo, formar o grupo das peças possuidoras de ao menos uma (1) *forma explícita*. Também seria possível encontrar o grupo das peças discretas compostas unicamente por *formas implícitas* (subtraindo-se do grupo formado por todas as peças discretas o grupo de peças possuidoras de ao menos uma *forma explícita*, através da *função 9*). Do mesmo modo, poder-se-ia determinar o grupo das *formas* possuidoras de ao menos 5 furos (de qualquer classe de furos).

5.3.1. Apresentação de um caso de utilização das funções de recuperação da informação.

A fim de complementar a discussão exposta no tópico anterior, será analisado aqui um caso mais completo de recuperação do projecto de uma peça. Suponha-se que seja necessário encontrar entre as peças armazenadas na *base* aquelas que satisfaçam às seguintes condições:

- a) serem *não-axissimétricas*,
- b) possuírem pelo menos *três furos cilíndricos*,
- c) todos os furos cilíndricos dessas peças possuírem *diâmetros* num *intervalo* de 40 a 70 mm.

Neste caso, temos um problema que irá requerer uma solução mais elaborada, a qual será pormenorizada, passo a passo, a seguir.

Inicialmente, deve-se determinar todos os *objectos-instâncias* relativos aos *furos cilíndricos* armazenados na *base* que possuam diâmetros iguais ou superiores a 40 mm. Determina-se o grupo dos *furos cilíndricos* com diâmetro igual a 40 mm, através da *função 5*, fornecendo-se o nome de campo "r" e o valor a ser pesquisado "20". Observe-se que os *furos* estão representados pelos seus *raios* e não por *diâmetros*. Forma-se o grupo dos furos cilíndricos com diâmetro maior que 40 mm, através da *função 6*, fornecendo-se o nome de campo "r" e o valor a ser pesquisado "20". Determina-se então a

intersecção entre os dois grupos, através da *função 10*, encontrando-se o grupo de *objectos* da classe *furo cilíndrico* com diâmetros iguais ou superiores a 40 mm.

Após, determina-se o grupo dos *furos cilíndricos* possuidores de diâmetros iguais ou inferiores a 70 mm. Inicialmente, determina-se o grupo dos *furos cilíndricos* com diâmetro igual a 70 mm (*função 5*, campo "r" e valor a ser pesquisado "35"). Determina-se, após, o grupo dos *furos cilíndricos* com diâmetro menor que 70 mm (*função 7*, campo "r" e valor a ser pesquisado "35"). A intersecção entre esses dois grupos é o conjunto de *furos cilíndricos* com diâmetros iguais ou inferiores a 70 mm armazenados na *base*.

Então determina-se a intersecção entre o grupo dos *furos cilíndricos* com diâmetros iguais ou superiores a 40 mm e o grupo daqueles com diâmetros iguais ou inferiores a 70 mm.

Após, será necessário encontrar o conjunto de peças não-axissimétricas armazenadas. Isto pode ser feito, por exemplo, eliminando-se todas as peças axissimétricas do universo de peças armazenadas. Para tanto, basta encontrar todas as peças axissimétricas existentes - conforme procedimento já exposto no tópico anterior - e efectuar a operação de *diferença lógica* entre o grupo formado por todas as peças discretas armazenadas e o grupo das peças discretas axissimétricas (através da *função 9*).

A seguir, deve-se encontrar o grupo de peças discretas constituídas com pelo menos três *furos cilíndricos*. Para tanto, utiliza-se a *função 12*, fornecendo como parâmetros o *número mínimo* de ocorrências ("3") e a classe da *forma característica* a ser encontrada ("*furo.cilíndrico*"). O *tipo da forma* não chega a ser solicitado pela função, por estar pré-definido para os *furos* (volume-negativo).

Determina-se então a intersecção entre o grupo formado pelas peças discretas não-axissimétricas e o grupo de peças constituídas com pelo menos três *furos cilíndricos*.

Após, para cada peça listada no grupo formado na etapa anterior, gera-se um grupo formado por um subconjunto das *formas características* encontradas nessa peça. Tais subconjuntos serão formados por todas as *formas* da classe *furo.cilíndrico* presentes nas peças exclusivamente. Para formar esses grupos, utiliza-se a *função 13*, fornecendo, a cada vez, o nome dessa classe de *forma característica* e o nome da peça discreta (possuidora de ao menos três *furos cilíndricos*).

A seguir, determina-se a intersecção de cada um dos grupos formados na etapa anterior (primeiros operandos) com o grupo formado pelos *objectos* da classe *furo cilíndrico* com diâmetros entre 40 e 70 mm (segundo operando). Se os resultados dessas operações forem conjuntos equivalentes aos primeiros operandos, isso significará que aquelas peças possuem ao menos três *furos cilíndricos* e todos com diâmetros entre 40 e 70 mm.

Este exemplo ilustra um caso relativamente complexo de pesquisa à informação existente na *base*. Note-se que seria difícil existir um *sistema de classificação* de peças que contivesse toda a informação necessária à solução da questão levantada. Isso não se deve a possíveis dificuldades na elaboração de um código dedicado a permitir tal consulta, o qual poderia ser efectivamente elaborado. Deve-se, sim, ao facto de a consulta efectuada requerer a existência de um *código classificativo* de alto grau de especificidade e volume de informação, sendo a elaboração de códigos capazes de responderem a solicitações com essa ordem de exigência praticamente inviável.

5.4. Exemplos de aplicação dos procedimentos para *Seleção de Processos*.

A seguir serão fornecidos exemplos de aplicação dos procedimentos utilizados para a *Seleção de Processos* de fabricação de peças discretas baseados em *regras de conhecimento*. Esses procedimentos foram introduzidos no Capítulo 4, tópico 4.3.3. Observe-se que as indicações fornecidas pelas regras implementadas nesta investigação devem ser consideradas como exemplos ilustrativos de uma metodologia a ser introduzida, não sendo objectivo, evidentemente, esgotar a discussão sobre o tema. Isto é especialmente válido no que diz respeito ao ajuste dos *factores de confiança* atribuídos às *regras de conhecimento* baseadas em *lógica inexata*.

Serão aqui utilizadas as peças discretas descritas nos tópicos 5.2.1.1, 5.2.1.2 e 5.2.1.3. Essas peças foram escolhidas de modo a apresentarem *índices de torneabilidade* consideravelmente diversos, o que facilita a exemplificação da aplicação das regras. Todas as regras elaboradas e utilizadas para a obtenção dos resultados apresentados a seguir podem ser encontradas no Apêndice E, possuindo aproximadamente a forma geral apresentada no Capítulo 4, tópico 4.3.3.2.1.

5.4.1. Exemplo de aplicação das regras para *Seleção de Processos* no caso de uma peça de baixo *índice de torneabilidade*.

A peça discreta 5.1 (figura 5.1) é uma peça tipicamente classificada como "*prismática*" em literatura, pertencendo a uma classe de peças a que se aplicam processos como fresamento, furação em engenhos de furar, aplainamento e entalhamento (dentro dos processos de maquinação). Consequentemente, deve-se esperar a indicação de processos como estes pela aplicação das regras elaboradas.

A fim de ser possível efectuar a aplicação dessas regras, deve-se proceder inicialmente à classificação da peça para fins de análise em *Seleção de Processos*, conforme apresentado no Capítulo 4, tópico 4.3.2. A classificação resultante é apresentada a seguir, sendo que as respostas afirmativas às questões pertinentes à classificação serão representadas pelo dígito 1, e as negativas pelo dígito 0:

dp₁- "0" (a peça não é axissimétrica quanto às *formas características* do tipo volume-positivo);

dp₂- "0" (a peça não é construída a partir de vergalhão);

dp₃- "0" (a peça não possui função rotativa);

dp₄- "0" (a peça não possui *formas* do tipo volume-positivo);

dp₅- "0" (a peça não possui *formas* do tipo volume-positivo);

dp₆- "0" (a peça não possui *formas* do tipo volume-positivo);

dp₇- "0" (a peça não possui *formas* do tipo volume-positivo);

dp₈- "0" (a peça possui somente uma *forma* volume-positiva não-rotacional);

dp₉- "0" (a peça possui somente uma *forma* volume-positiva não-rotacional);

dp₁₀- "0" (a peça possui somente uma *forma* volume-positiva não-rotacional);

dp₁₁- "0" (a peça possui somente uma *forma* volume-positiva não-rotacional);

dp₁₂- "1" (a peça não possui *formas* do tipo volume-positivo rotacionais);

Assim, o *índice de torneabilidade* da peça 5.1 tem valor nulo, e as sugestões de processos efectuadas para a mesma foram as seguintes (para cada *forma característica*):

a) fc.5.1.1 (paralelepípedo rectangular):

- fresamento, com *índice de confiança* de 83%; regras utilizadas (predicado maquinável-por, apresentado no Apêndice E, tópico E.3.3.7): F-1 e F-2;
- aplainamento, com *índice de confiança* de 79%; regras utilizadas: P-1 e P-2.

b) fc.5.1.2 (entalhe em forma de Tê):

- fresamento, com *índice de confiança* de 60%; regras utilizadas: F-7 e F-8;
- aplainamento, com *índice de confiança* de 55%; regra utilizada: P-3.

c) fc.5.1.3, fc.5.1.4, fc.5.1.5 e fc.5.1.6 (furos cilíndricos):

- fresamento, com *índice de confiança* de 63%; regras utilizadas: F-5, F-6 e F-9;
- pré-furação seguida de alargamento do furo, com *índice de confiança* de 45%; regra utilizada: A-1.

Observe-se que efectivamente foram sugeridos processos basicamente aplicáveis a peças de baixo *índice de torneabilidade*. Também é possível afirmar que o fresamento da peça é a hipótese predominante, extraída da análise dos resultados obtidos em conjunto para todas as *formas características*.

Alternativamente, o aplainamento da *forma* fc.5.1.1 é sugerido, após a verificação de que *pelo menos* uma das dimensões da mesma possui valor superior ao mínimo exigido para a utilização desse processo. Observe-se que o predicado existe-dimensão-adequada-para-aplainamento, implementado dentro das regras denominadas "P-1" e "P-2" (ver tópico E.3.3.6, Apêndice E), permite a análise de todas as dimensões de *formas* de geometria de definição implícita classificadas como não-rotacionais, seleccionando-se aquelas que possuem um valor mínimo para obtenção por aplainamento. Também a *forma* fc.5.1.2 foi considerada passível de obtenção por aplainamento, como segunda opção.

O diâmetro dos furos (70mm) das *formas* fc.5.1.3, fc.5.1.4, fc.5.1.5 e fc.5.1.6 tornou desaconselhável a utilização do processo de *furação em cheio* para a obtenção dos mesmos, e por isso a pré-furação complementada pela obtenção do diâmetro final com ferramenta de alargar tornou-se apenas uma segunda alternativa a ser indicada para os furos cilíndricos.

5.4.2. Exemplo de aplicação das regras para *Seleção de Processos* no caso de uma peça de *índice de torneabilidade intermediário*.

A peça discreta 5.2 (figura 5.6) é uma peça cujo *índice de torneabilidade* tem valor intermediário. Isso significa que tanto os processos baseados na revolução da *peça de trabalho* (com ferramenta fixa), quanto os processos baseados na fixação da peça (com revolução da ferramenta de corte) devem ser *potencialmente* utilizáveis na fabricação da peça. Especificamente no caso dessa peça, considerando-se estritamente a informação disponível relativamente à geometria, poder-se-ia pensar em três hipóteses de fabricação:

- a) utilizar um vergalhão de perfil hexagonal como material de construção, torneando-se então a *forma característica* denominada fc.5.2.2;
- b) utilizar um vergalhão de perfil qualquer (preferencialmente, circular) e obter as *formas* fc.5.2.1 e fc.5.2.3 por fresamento; a *forma* fc.5.2.2 também seria obtida por fresamento, a fim de se evitar a mudança de máquina ou de fixação da peça;
- c) partindo-se de um varão, seria possível obter as *formas* fc.5.2.1 e fc.5.2.3 por fresamento e a *forma* fc.5.2.2 por torneamento.

Assim, dentro da classe dos processos de maquinação, deve-se esperar que as indicações de processos efectuadas para a peça 5.2 sugiram alternativas de processos de fabricação que tanto considerem a peça fresável, quanto torneável.

Observe-se que não se estão tecendo considerações relativamente ao tipo de material de construção ou à optimização do emprego de máquinas ou do plano de fabricação da peça neste ponto. Todavia, é evidente que melhoramentos no sentido de que esses aspectos também venham a ser contemplados nas regras podem ser viabilizados através da metodologia proposta. Para tanto, torna-se necessário enriquecer a informação constante na *base de conhecimento* utilizada, o que seria aconselhável para uma aplicação efectiva em ambiente industrial.

A classificação orientada à *Seleção de Processos* efectuada para a peça 5.2 é a seguinte:

- dp₁ - "0" (a peça possui duas *formas características* do tipo volume-positivo não-axissimétricas);
- dp₂ - "1" (a peça é construída a partir de vergalhão de perfil hexagonal);
- dp₃ - "0" (*por hipótese*, considerou-se que a peça não possuiria função rotativa);
- dp₄ - "0" (a peça possui somente uma *forma* volume-positiva rotacional);
- dp₅ - "0" (a peça possui somente uma *forma* volume-positiva rotacional);
- dp₆ - "0" (a peça possui somente uma *forma* volume-positiva rotacional);
- dp₇ - "0" (a peça possui somente uma *forma* volume-positiva rotacional);
- dp₈ - "1" (a peça possui duas *formas* do tipo volume-positivo não-rotacionais - fc.5.2.1 e fc.5.2.3 - cujas *linhas de referência* estão alinhadas com as *linhas de referência* de outras *formas* do tipo volume-positivo - no caso, quaisquer das demais *formas* da peça);
- dp₉ - "0" (todas as *formas* estão alinhadas por suas *linhas de referência*);
- dp₁₀ - "0" (todas as *formas* estão alinhadas por suas *linhas de referência*);
- dp₁₁ - "0" (todas as *formas* estão alinhadas por suas *linhas de referência*);
- dp₁₂ - "0" (porque a peça possui uma *forma* do tipo volume-positivo rotacional).

Assim, o *índice de torneabilidade* da peça 5.2 tem valor intermediário (0,50), e as sugestões de processos efectuadas para a mesma foram as seguintes:

- a) fc.5.2.1 e fc.5.2.3 (prismas hexagonais regulares):
 - fresamento, com *índice de confiança* de 49%; regras utilizadas: F-1 e F-2.
- b) fc.5.2.2 (cilindro circular recto):
 - torneamento, com *índice de confiança* de 51%; regras utilizadas: T-1, T-2 e T-5;
 - fresamento, com *índice de confiança* de 45%; regras utilizadas: F-3 e F-4.

Observe-se que os *índices de confiança* obtidos para as sugestões efectuadas situam-se em valores intermediários, o que é condizente com o facto de a peça apresentar um *índice de torneabilidade* de valor também intermediário. Também neste caso é possível concluir que o fresamento da peça é provavelmente a hipótese mais indicada para a fabricação da mesma, analisando-se em conjunto os resultados obtidos para todas as *formas características*.

Note-se também que os valores dos *índices de confiança* obtidos para as duas opções sugeridas para a *forma* fc.5.2.2 são intermediários e relativamente próximos, o que sugere a possibilidade de que a escolha deva ser cautelosa entre uma e outra opção.

Observe-se que, levando-se em consideração a discussão relativa às diferentes possibilidades de fabricação da peça 5.2 realizada no princípio deste tópico, e considerando a opção pela construção da peça a partir de vergalhão de perfil hexagonal, temos que, se a *forma comercial do material* é compatível com a especificação de requisitos dimensionais e de acabamento superficial da peça, pode-se prescindir das operações de fresamento a executar sobre as *formas* de secção transversal hexagonal, e apenas o torneamento da *forma* de secção transversal circular será efectuado.

Considerando-se, porém, que cabe ao engenheiro de processos definir o plano de fabricação da peça, é razoável que, por norma, o projectista efectuasse a análise relativa às *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação* considerando *todas* as hipóteses de fabricação da mesma potencialmente passíveis de aplicação.

5.4.3. Exemplo de aplicação das regras para *Seleção de Processos* no caso de uma peça de elevado *índice de torneabilidade*.

A peça discreta 5.3 (ver figura 5.8) é uma peça cujo *índice de torneabilidade* tem valor elevado. Isso significa que os processos baseados na revolução da *peça de trabalho* com ferramenta de corte em posição fixa devem vir a ser escolhidos para a sua fabricação. Segue-se a classificação da peça para a *Seleção de Processos*:

- dp₁ - "1" (a peça é axissimétrica quanto às *formas características* do tipo volume-positivo);
- dp₂ - "1" (a peça é construída a partir de varão);
- dp₃ - "0" (por hipótese, considerou-se que a peça não possuiria função rotativa);
- dp₄ - "1" (as *linhas de referência* de todas as quatro *formas* do tipo volume-positivo rotacionais estão alinhadas);
- dp₅ - "0" (as *linhas de referência* de todas as quatro *formas* do tipo volume-positivo rotacionais estão alinhadas);
- dp₆ - "0" (as *linhas de referência* de todas as quatro *formas* do tipo volume-positivo rotacionais estão alinhadas);
- dp₇ - "0" (as *linhas de referência* de todas as quatro *formas* do tipo volume-positivo rotacionais estão alinhadas);

- dp₈ - "0" (a peça não possui *formas* do *tipo* volume-positivo não-rotacionais);
 dp₉ - "0" (a peça não possui *formas* do *tipo* volume-positivo não-rotacionais);
 dp₁₀ - "0" (a peça não possui *formas* do *tipo* volume-positivo não-rotacionais);
 dp₁₁ - "0" (a peça não possui *formas* do *tipo* volume-positivo não-rotacionais);
 dp₁₂ - "0" (a peça possui *formas* do *tipo* volume-positivo rotacionais).

Assim, o *índice de torneabilidade* da peça 5.3 tem valor elevado (0,76), e as sugestões de processos efectuadas para a mesma foram as seguintes:

a) fc.5.3.1 (furo cilíndrico):

- furação em cheio executada em torno, com *índice de confiança* de 72%; regra utilizada: D-2;
- pré-furação seguida de mandrilamento do furo numa mandriladora, com *índice de confiança* de 57%; regra utilizada: M-2;
- torneamento, com *índice de confiança* de 47%; regras utilizadas: T-3 e T-4;
- furação em cheio em engenho de furar, com *índice de confiança* de 22%; regra utilizada: D-1;
- fresamento, com *índice de confiança* de 15%; regras utilizadas: F-5 e F-6.

b) fc.5.3.2 (rebaixamento cónico do furo cilíndrico):

- rebaixamento executado no torno, como complemento da operação de furação, com *índice de confiança* de 57%; regra utilizada: R-2;
- torneamento, com *índice de confiança* de 47%; regras utilizadas: T-3 e T-4;
- rebaixamento executado em engenho de furar, com *índice de confiança* de 19%; regra utilizada: R-1;
- fresamento, com *índice de confiança* de 15%; regras utilizadas: F-5 e F-6;

c) fc.5.3.3, fc.5.3.6 e fc.5.3.8 (cilindros circulares rectos):

- torneamento (cilíndrico, devido às *formas* serem cilíndricas), com *índice de confiança* de 69%; regras utilizadas: T-1, T-2 e T-5;
- fresamento, com *índice de confiança* de 22%; regras utilizadas: F-3 e F-4;

d) fc.5.3.4 (chanfro *tipo 1*):

- torneamento (cónico, devido à *forma* ser um chanfro cónico), com *índice de confiança* de 47%; regras utilizadas: T-3 e T-4;
- fresamento, com *índice de confiança* de 15%; regras utilizadas: F-5 e F-6;

e) fc.5.3.5 (tronco de cone circular recto):

- torneamento (cónico, devido à *forma* ser cónica), com *índice de confiança* de 70%; regras utilizadas: T-1, T-2 e T-8;
- fresamento, com *índice de confiança* de 22%; regras utilizadas: F-3 e F-4;

f) fc.5.3.7 (entalhe revolutivo):

- torneamento executado com ferro de sangrar, com *índice de confiança* de 68%; regra utilizada: T-7;
- torneamento (cilíndrico externo), com *índice de confiança* de 47%; regras utilizadas: T-3 e T-4;
- fresamento, com *índice de confiança* de 15%; regras utilizadas: F-5 e F-6.

Observe-se que efectivamente foram sugeridos processos basicamente aplicáveis a peças de elevado *índice de torneabilidade*. Também é possível afirmar que o torneamento da peça é o processo que prevalece, extraído da análise dos resultados obtidos em conjunto para todas as *formas características*. Pelos resultados obtidos, pode-se dizer que a peça provavelmente será inteiramente executada em torno mecânico, o que é condizente com o esperado para a peça 5.3.

5.4.4. Outros exemplos de aplicação das regras para *Seleção de Processos* de maquinação.

Essencialmente para efeito de comparação com os resultados expostos nos tópicos anteriores, alguns outros casos serão analisados. A peça 5.1-b (cuja representação é discutida no Capítulo 4, tópico 4.1.2) difere da peça 5.1 pela utilização de *formas* da classe *cilindro circular recto* do tipo volume-negativo em lugar de *formas* da classe *furo cilíndrico*. Neste caso, a análise em *Seleção de Processos* da peça 5.1-b para as *formas* fc.5.1.3.b, fc.5.1.4.b, fc.5.1.5.b e fc.5.1.6.b seria a seguinte:

- fresamento, com *índice de confiança* de 57%; regras utilizadas: F-5 e F-6;
- pré-furação seguida de alargamento do furo, com *índice de confiança* de 45%; regra utilizada: A-1.

Observe-se que o resultado obtido para as *formas* fc.5.1.3.b, fc.5.1.4.b, fc.5.1.5.b e fc.5.1.6.b foi afectado por um decréscimo de 63% para 57% na confiança relativa à sugestão efectuada, se comparado com o obtido respectivamente para as *formas* fc.5.1.3, fc.5.1.4, fc.5.1.5 e fc.5.1.6, pois não foram utilizadas as mesmas regras em ambos os casos, pois a regra F-9 exige que as *formas* em estudo sejam da classe *furo cilíndrico*. Mesmo assim, a *base de conhecimento* também foi capaz de oferecer sugestões aplicáveis à peça 5.1-b.

Um outro caso a analisar diz respeito à presença de *formas explicitas* na peça. A peça 5.3-b (apresentada no tópico 5.2.1.4) difere geometricamente da peça 5.3 apenas pela substituição da *forma* fc.5.3.5 pela *forma explicita* fc.5.3.5.b. Neste caso, o resultado obtido para essa *forma* (obtida a partir do processo de construção gráfica de revolução de um perfil em torno de um eixo) será o seguinte:

- torneamento, com *índice de confiança* de 22%; regras utilizadas: T-1, T-2 e T-8;
- fresamento, com *índice de confiança* de 6%; regras utilizadas: F-3 e F-4.

Observe-se que o resultado obtido para a fc.5.3.5.b foi afectado por um decréscimo de 70% para 22% na confiança relativa à sugestão efectuada, se comparado com o obtido para a *forma* fc.5.3.5, tendo sido utilizadas as mesmas regras em ambos os casos. Isso se deve a que a regra T-8 utiliza o predicado *classe-objecto* (cuja *forma geral* foi exposta no Capítulo 4, tópico 4.3.3.2.1), que é substancialmente sensível ao facto de a *forma explicita* ter sido considerada similar ao *tronco de cone circular recto* por definição do projectista (esta informação está registada no campo *classe.presuntvel.da.fc* do *objecto* fc.5.3.5.b). Observe-se ainda que, no caso da *forma* fc.5.3.5.b, dentre as possíveis operações de torneamento a serem definidas, uma combinação do *torneamento cónico* com o *perfilamento axial* poderiam ser aconselhados.

5.5. Exemplos de aplicação dos procedimentos sobre as *Recomendações de Projecto*.

Os procedimentos relacionados com a aplicação das *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*, estão em conformidade com a análise exposta no Capítulo 4, tópico 4.4.2, sendo composta pela análise dos seguintes temas: *existência, posição e dimensionamento de formas características*; especificação de tolerâncias em peças discretas (*tolerâncias dimensionais, tolerâncias geométricas e rugosidade superficial*); adequação dos *atributos físicos* das peças discretas; *selecção de materiais* de construção; utilização dos *recursos de produção*.

5.5.1. Análise sobre a *existência de formas características*.

Conforme os processos de fabricação a serem utilizados na fabricação de uma peça discreta, pode vir a tornar-se conveniente optar pela inclusão, supressão ou substituição de certas *formas* na configuração geométrica da peça. Por exemplo, suponhamos que se quisesse executar através de fresamento um *entalhe em forma de chaveta* sobre uma superfície cilíndrica de uma *forma* e que fosse possível adoptar qualquer uma das três *formas* apresentadas na figura 5.17. A opção pela *forma* apresentada à figura 5.17-a é pouco recomendável, pelas dificuldades de acesso da ferramenta de corte. Nas outras duas situações ilustradas (figuras 5.17-b e 5.17-c), torna-se possível utilizar ferramentas capazes de obter a *forma* desejada produzindo-se numa única operação os lados e as extremidades da mesma (ao contrário do primeiro caso). Este é um exemplo ilustrativo de uma situação em que a própria escolha da *forma* deve ser aconselhada. A implementação desta análise foi obtida através do predicado *projecto-orientado-à-fabricação-6* (ver tópico E.3.4.16, Apêndice E).

Utilizando-se o modelo de informação estabelecido nesta investigação, torna-se relativamente simples estudar este tipo de situação. Pela pesquisa aos processos tecnológicos definidos para a fabricação da peça discreta, encontrar-se-iam aqueles relacionados com a construção da *forma* a ser analisada (da classe *chaveta de extremidades planas aplicada à superfície cilíndrica convexa*) e seria verificado se algum deles pertence à classe *fresamento*. Note-se que tanto a especificação da operação de fabricação, quanto a da configuração geométrica da peça encontram-se adequadamente disponíveis para análise pelo modo como essa informação foi armazenada no modelo.

Contudo, relativamente à análise da necessidade ou utilidade da presença de determinadas *formas* na composição da peça, existem outras situações que irão requerer uma análise mais pormenorizada da informação contida no modelo geométrico da peça. Isso é concretamente o que ocorre com relação ao estudo da necessidade de utilização de *concordâncias* e *chanfros* ligando superfícies da peça. Existem principalmente duas situações a serem tratadas:

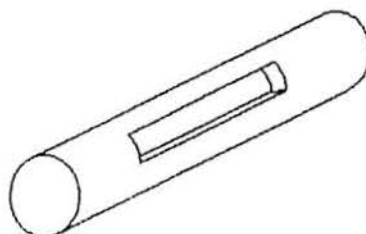
- a) *chanfros* e *concordâncias* a ligarem superfícies de duas *formas* do mesmo tipo;
- b) *chanfros* e *concordâncias* a ligarem duas superfícies de uma mesma *forma característica*.

Note-se que a recomendação quanto à adequação da utilização de *chanfros* ou de *concordâncias* também diz respeito à adequação às operações de fabricação especificadas para a obtenção da forma da peça.

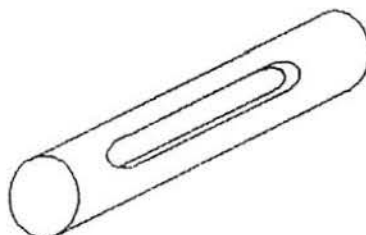
No primeiro caso, para se descobrir a ocorrência da situação em que potencialmente se deve ponderar a necessidade de se utilizar um *chanfro* ou *concordância*, é necessário verificar o *estado* das superfícies indicadas nos *objectos* relativos aos *elementos de união* entre *formas características*. Deve-se procurar identificar as duas hipóteses em que a situação possivelmente ocorra, a fim de serem tratadas as situações existentes:

- a) uma das superfícies é *inexistente* e a outra é *parcialmente existente*;
- b) ambas são *parcialmente existentes*.

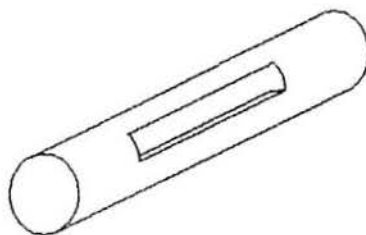
Isso deve-se a não ser necessário considerar na análise a situação em que as superfícies em contacto são simultaneamente *inexistentes* pois então ambas são *virtuais*.



(a) Solução inadequada - chaveta de extremidades planas aplicada à superfície cilíndrica convexa



(b) Solução adequada - chaveta de extremidades curvas aplicada à superfície cilíndrica convexa



(c) Solução adequada - chaveta de fundo curvo aplicada à superfície cilíndrica convexa

Figura 5.17 - Escolha de entalhes em forma de chaveta em peças a serem obtidas por fresamento.

Como exemplo do caso referente à *ligação de superfícies unindo duas formas do mesmo tipo*, temos a situação resultante da união entre as superfícies S_1 da *forma* fc.5.3.8 e S_3 da *forma* fc.5.3.3 na peça 5.3, descrita no tópico 5.2.1.3 (ver também figura 5.18). Neste caso, a recomendação de utilização de *concordância* (ou *chanfro*) ocorre porque assim torna-se facilitada a retirada (saida) da ferramenta de corte ao término da operação de torneamento cilíndrico a executar sobre a superfície S_2

da forma fc.5.3.3. Adicionalmente, na hipótese da opção por uma *concordância*, a adoção de um valor adequado para o *raio de concordância*, de acordo com o *raio de ponta* da ferramenta cortante, eliminaria a necessidade de se ter de recorrer a operações complementares para a obtenção das dimensões requeridas com precisão. A análise relativa a essa situação foi implementada através do predicado *projecto-orientado-à-fabricação-1* (ver implementação no tópico E.3.4.11, Apêndice E).

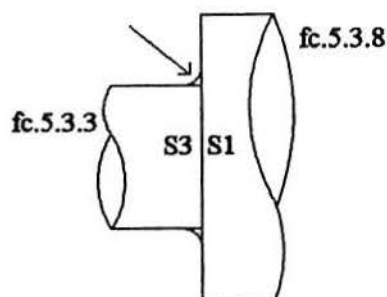


Figura 5.18 - Ligação da superfície S_3 da forma fc.5.3.3 à superfície S_1 da fc.5.3.8 por *concordância*.

Como exemplo do caso referente à *ligação de duas superfícies de uma mesma forma característica*, deve-se proceder à análise do estado dos limites físicos entre as superfícies da *formas características* (as arestas dos sólidos correspondentes às *formas*). Caso exista a possibilidade das arestas constituírem regiões em que a presença de *concordância* ou *chanfro* venha a viabilizar ou facilitar a fabricação por um determinado processo, a presença dessas *formas* deve ser recomendada.

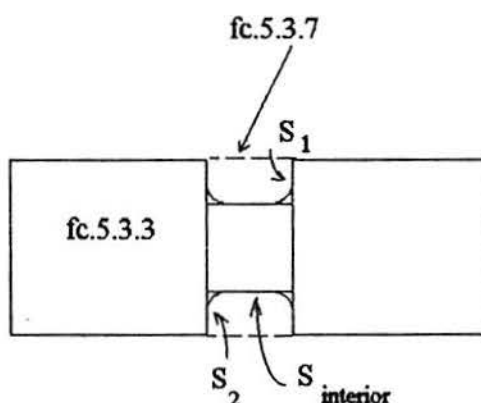


Figura 5.19 - Ligação de superfícies entre as *formas características* fc.5.3.3 e fc.5.3.7 por *concordâncias*.

Como exemplo deste caso, temos a situação da *forma característica* fc.5.3.7 na peça 5.3, em que é recomendável a utilização de *chanfros* ou *concordâncias* ligando seus pares de superfícies $S_1 - S_{interior}$ e $S_2 - S_{interior}$ (ver ilustração à figura 5.19). Neste exemplo, a recomendação deve-se às mesmas razões apontadas no exemplo anterior. Um outro exemplo deste caso relaciona-se com a ligação entre todos os pares de superfícies laterais da *forma característica* da classe *entalhe hexagonal regular* na peça 8.1, supondo-se ser essa construída unicamente por fresamento (figura 5.20). Note-se que essa

peça é constituída por um *entalhe hexagonal* posicionado sobre um *paralelepípedo rectangular*, adicionando-se a essas *formas* 6 outras, de *tipo* volume-positivo, todas da classe *concordância tipo 2* com superfície principal côncava.

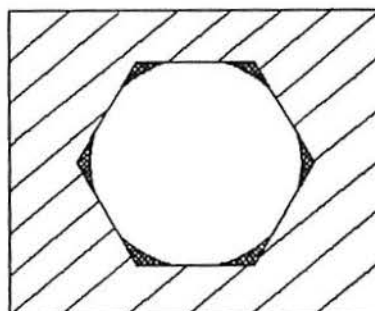


Figura 5.20 - Vista superior da peça 8.1.

Observe-se que, nessa situação, a recomendação prende-se às dificuldades de obtenção dos cantos vivos no *entalhe* com geração unicamente por operação de fresamento. A análise relativa a essa situação foi implementada através do predicado *projecto-orientado-à-fabricação-2* (ver implementação no tópico E.3.4.12, Apêndice E), devendo-se observar que foi utilizada a *base de factos* com informação de natureza declarativa relativa à existência dos limites entre pares de superfícies de cada *forma* (ver Capítulo 3, tópico 3.3.2.1.2, predicado *aresta*).

5.5.2. Análises relativas à posição e ao dimensionamento de formas características.

Eventualmente, modificações no dimensionamento ou no posicionamento de *formas características* podem evitar situações que seriam potencialmente problemáticas para a execução de determinadas operações de fabricação. No primeiro caso, normalmente bastará efectuar a análise das dimensões implicitamente definidas na *forma*, e, no segundo, será necessário analisar o posicionamento da *forma* com relação às demais presentes na peça (como sugerido por Hayes³⁶, por exemplo).

Um exemplo típico do primeiro caso pode ser encontrado na peça 5.3, em que o furo (*forma* fc.5.3.1) possui um comprimento mais de 8 vezes superior ao seu diâmetro. Para furos a serem obtidos unicamente por furação em cheio, especialistas recomendam que a relação entre comprimento e diâmetro não seja superior a 3, podendo chegar a 8 em casos especiais, para se evitar problemas de flexão ou quebra da ferramenta de corte¹². A implementação dessa análise foi obtida através do predicado *projecto-orientado-à-fabricação-4* (ver tópico E.3.4.14, Apêndice E).

Um exemplo típico do segundo caso ocorre na peça 5.1, com relação ao posicionamento de furos. Observe-se que está sendo prevista aqui a realização de tratamento térmico para esta peça (*têmpera*, conforme descrito pela operação p.5.1.7). Em peças a serem termicamente tratadas, para se obter a equalização da distribuição de massa em torno do furo, é recomendável que a massa ocupe, pelo

menos, uma região radial de até duas vezes o diâmetro do furo, a contar do centro deste (ver figura 5.21 - extraída de literatura¹²). Assim, todos os 4 furos podem ser considerados inadequadamente localizados na peça 5.1 (figura 5.1). O estudo dessa situação foi efectuado através da implementação do predicado *projecto-orientado-à-fabricação-5* (ver tópico E.3.4.15, Apêndice E), que baseia-se na análise das *dimensões explícitas* utilizadas para posicionamento dos furos na peça, e que também verifica a existência de superfícies tomadas como referência para estabelecimento dessas dimensões. Assim, através da *dimensão explícita* d.5.1.d10.a, foi possível analisar a posição da *forma* fc.5.1.3; através de d.5.1.d10.b e de d.5.1.d12.a analisou-se a posição da *forma* fc.5.1.4; e através de d.5.1.d12.b analisou-se a posição da *forma* fc.5.1.5.

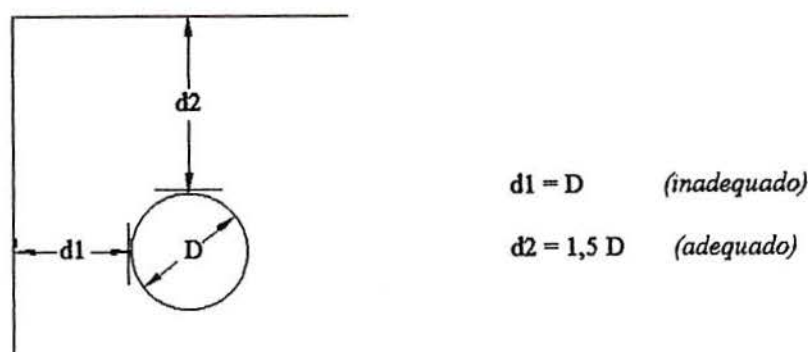


Figura 5.21 - Adequação do posicionamento de furos em peças a serem submetidas a tratamento térmico.

Observe-se, porém, que a análise da informação contida na *base de factos* sobre informação geométrica, através do predicado *dimensão-transversal-e-ligada-à* (cuja implementação é apresentada no Apêndice E, tópico E.2.1.2) torna possível identificar as dimensões perpendiculares às superfícies tomadas como referência para o posicionamento dos furos (isso é válido para a *forma* do tipo volume-positivo sobre que esses furos estão assentados). As comparações dessas dimensões (implícitas) com as *dimensões explícitas* utilizadas para o posicionamento dos furos permitem que se conclua que o furo fc.5.1.6 também está inadequadamente posicionado, conforme exposto a seguir.

A *dimensão explícita* d.5.1.d13.b utiliza como elemento geométrico de referência a superfície S_2 da *forma* fc.5.1.1. Analisando-se a *base de factos* de informação geométrica, obtém-se que a *dimensão lado* da *forma* fc.5.1.1 é perpendicular à essa superfície S_2 na classe de *formas características "paralelepípedo rectangular"*. Pela diferença entre o valor do *lado* para a *forma* fc.5.1.1 e o valor da *dimensão explícita* d.5.1.d13.b, obtém-se a distância a que o furo encontra-se da outra superfície perpendicular à *dimensão lado*, que é a superfície S_1 da *forma*. A existência desta superfície também é constatada pela consulta à informação descrita na *base de factos* relativa à geometria das peças pelo predicado *dimensão-transversal-e-ligada-à*. A análise dessa informação, face ao conhecimento relativo às peças a sofrerem tratamento térmico, permite concluir que a *forma* fc.5.1.6 encontra-se inadequadamente posicionada.

Observe-se ainda que a análise apresentada neste tópico não se prestaria à avaliação através de *ferramentas de simulação* da fabricação da peça. A utilização dessas não permitiria detectar a

existência de algum problema na posição dos furos na peça 5.1, pois o *conhecimento* que permite efectuar esse tipo de análise não está representado nessas ferramentas usualmente.

5.5.3. Análises relativas à especificação de *tolerâncias dimensionais*.

Existem muitos estudos comprovando a importância da especificação de valores para as tolerâncias dimensionais em termos da adequação do projecto à fabricação^{115,116}. A análise de tolerâncias de dimensões efectuada nesta investigação insere-se nesse contexto e está baseada na comparação entre os valores escolhidos pelo projectista com a gama de valores usualmente produzidos pelos processos utilizados na obtenção de cada dimensão. Basicamente, o objectivo desta análise é detectar aquelas situações em que o valor especificado para a tolerância não esteja contido no intervalo de valores usualmente associado ao processo.

Naturalmente, a situação mais indesejável é aquela em que existem especificações demasiadamente exigentes para os valores admissíveis de tolerâncias. Esse intervalo de valores admissíveis para as tolerâncias é encontrado em literatura^{6,12,117}. Do mesmo modo, as dimensões passíveis de análise são as descritas e utilizadas pelo modelo, sejam essas *dimensões explícitas* ou dimensões implicitamente definidas nas *formas características*. Portanto, a fim de ser possível executar a análise proposta, as dimensões devem aparecer ligadas às especificações das operações de fabricação da peça.

A implementação da análise relativa às tolerâncias de dimensões implicitamente definidas nas *formas características* foi efectuada através do predicado *analisa-tols-em-dims-implicitas*, e a análise relativa às *dimensões explícitas*, através do predicado *analisa-tols-em-dims-explicitas* (ver respectivamente os tópicos E.3.4.1 e E.3.4.2 do Apêndice E). Essa implementação baseia-se na comparação dos valores das tolerâncias (representadas pelas *diferença inferior* e *diferença superior* da medida tolerada), presentes nos *objectos-instâncias* da classe *forma característica*, com os valores admissíveis para essas tolerâncias. Esses valores variam consoante as classes de processos utilizados para a obtenção das *formas*, estando armazenados nos *objectos* referentes a essas classes.

A utilização do predicado *analisa-tols-em-dims-implicitas* na análise das peças 5.1 e 5.3 (ver definição da estrutura das peças efectuada nos tópicos 5.2.1.1 e 5.2.1.3) revela que alguns dos valores das dimensões implicitamente definidas nas *formas características* foram inadequadamente especificados. Os valores assim considerados inadequadamente especificados são apresentados no quadro 5.1 para ambas as peças.

Observe-se também que a utilização do predicado *analisa-tols-em-dims-explicitas* na análise das peças 5.1 e 5.3 também indica que alguns dos valores das *dimensões explícitas* foram inadequadamente especificados. Os valores inadequadamente especificados detectados são apresentados no quadro 5.2 para ambas as peças.

peça	forma característica	dimensão	especificação de tolerância efectuada (mm)		processo utilizado na obtenção da forma	valores mínimos para especificação de tolerância (mm)	
			dif. sup	dif. inf.		dif. sup	dif. inf.
5.1	fc.5.1.1	lado		-0,01	fresamento(p.5.1.1)		-0,05
	fc.5.1.2	largura menor	0,01	-0,01	fresamento(p.5.1.2)	0,05	-0,05
	fc.5.1.2	altura		0,00	fresamento(p.5.1.2)		-0,05
	fc.5.1.2	altura menor	0,00		fresamento(p.5.1.2)	0,05	
5.3	fc.5.3.8	comprimento	0,001	-0,001	torneamento(p.5.3.1)	0,05	-0,05

Quadro 5.1 - Tolerâncias dimensionais inadequadamente especificadas para dimensões implicitamente definidas em formas características das peças 5.1 e 5.3.

peça	dimensão explícita	especificação de tolerância (mm)		processo utilizados na obtenção da forma	valores mínimos admissíveis para especificação da tolerância (mm)	
		dif. sup.	dif. inf.		dif. sup.	dif. inf.
5.1	d.5.1.d5	0,02	-0,02	fresamento (p.5.1.2)	0,05	-0,05
	d.5.1.d6	0,02	-0,02	fresamento (p.5.1.2)	0,05	-0,05
	d.5.1.d10.a		0,00	fresamento (p.5.1.3)	0,05	-0,05
	d.5.1.d10.b		0,00	fresamento (p.5.1.4)		-0,05
	d.5.1.d11.a	0,02	-0,02	fresamento (p.5.1.5)	0,05	-0,05
	d.5.1.d11.b	0,02	-0,02	fresamento (p.5.1.6)	0,05	-0,05
	d.5.1.d12.a		0,00	fresamento (p.5.1.4)		-0,05
	d.5.1.d12.b		0,00	fresamento (p.5.1.5)		-0,05
	d.5.1.d13.a	0,02	-0,02	fresamento (p.5.1.3)	0,05	-0,05
	d.5.1.d13.b	0,02	-0,02	fresamento (p.5.1.6)	0,05	-0,05
5.3	d.5.3.d7	0,0030	-0,0015	sangramento radial (p.5.3.4)	0,05	-0,05
	d.5.3.d10	0,001	0,000	torneamento (p.5.1.2 e p.5.3.3)	0,05	-0,05
	d.5.3.d11	0,003	-0,001	facejamento (p.5.3.2)	0,05	-0,05

Quadro 5.2 - Tolerâncias dimensionais inadequadamente especificadas para dimensões explícitas das peças 5.1 e 5.3.

5.5.3.1. Análise das tolerâncias dimensionais em cadeias de dimensões.

A análise apresentada no tópico 5.5.3 não resolve, contudo, um problema relativo à análise de tolerâncias, que se configura quando alguma das tolerâncias de dimensões de uma *cadeia de dimensões* não está especificada. Observe-se que este caso difere da situação em que uma dimensão pode possuir valor livre para a tolerância dimensional.

A peça 8.2 (figura 5.22), a ser obtida por fundição em molde cerâmico seguida pelo torneamento, apresenta essas duas situações: as dimensões d_1 e d_2 possuem tolerâncias de medidas livres, ao passo que as dimensões d_3 , d_4 e d_6 estão com as suas tolerâncias especificadas. Observe-se que as dimensões d_3 e d_4 correspondem aos comprimentos das *formas* f_1 e f_2 , enquanto que a dimensão d_5 é o comprimento da *forma* f_3 . O valor da tolerância desta dimensão não está explicitamente especificado, sendo resultante da diferença entre os valores de d_6 e o da soma de d_3 com d_4 .

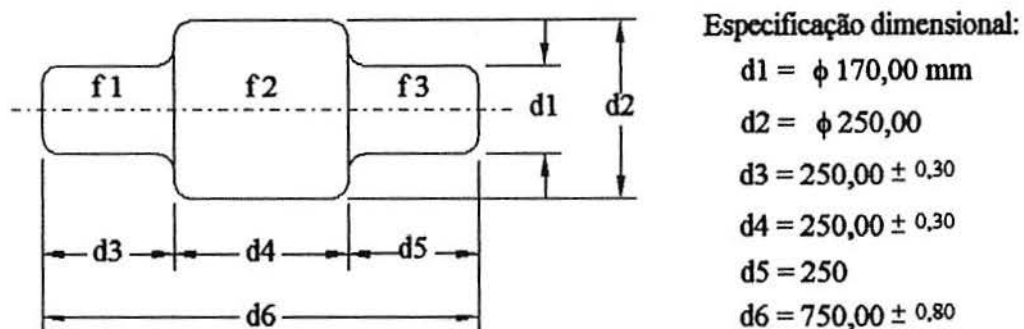


Figura 5.22 - Configuração da peça 8.2 (f_1 , f_2 e f_3 são cilindros circulares retos, aos quais são aplicadas formas características da classe concordância tipo 1).

No entanto, os comprimentos das três *formas* compõem uma *cadeia de dimensões*, fazendo que o comprimento da *forma* f_3 (e a sua respectiva especificação de tolerância) estejam condicionados aos valores das dimensões d_3 , d_4 e d_6 (e suas tolerâncias). Computando-se esses valores, verificaremos que a especificação para a tolerância de dimensão *comprimento* da *forma* f_3 será de $250,00 \pm 0,20$ (note-se que a dimensão foi apenas nominalmente especificada). Os valores especificados para as tolerâncias das medidas d_1 , d_2 , d_3 , d_4 e d_6 estão no intervalo considerado aceitável para o processo de *fundição em molde cerâmico* (0,25mm), mas o valor da tolerância do comprimento da *forma* f_3 não está. Se o valor dessa medida não houvesse sido analisado à luz do facto de pertencer a uma *cadeia de dimensões*, não teria sido possível detectar a ocorrência da situação indesejável, pois apenas os valores de tolerâncias de d_1 , d_2 , d_3 , d_4 e d_6 teriam sido avaliados, e estes são adequados.

Em termos de implementação computacional, basicamente dois predicados foram elaborados com o intuito de experimentar e validar o modelo de representação da informação quanto à análise de tolerâncias em *cadeias de dimensões*, denominados *cadeia-completa-de-dimensões* e *cadeia-equivalente-à-dimensão-explicita* (ver suas implementações computacionais nos tópicos E.3.4.4 e E.3.4.5, Apêndice E). O primeiro predicado é capaz de identificar todas as *cadeias de*

dimensões existentes numa peça discreta, identificando todas as dimensões pertencentes à cadeia e relacionando-as às suas respectivas *formas características*. O segundo predicado é capaz de fornecer apenas as dimensões encadeadas relacionadas com a especificação de uma determinada *dimensão explícita*.

Na peça 5.3 (figura 5.8), por exemplo, a *cadeia de dimensões* formada pelos comprimentos das *formas* fc.5.3.8, fc.5.3.3, fc.5.3.5 e fc.5.3.6 pode ser encontrada pela utilização do primeiro predicado, ao passo que o conjunto das dimensões encadeadas relativas à *dimensão explícita* d.5.3.d10 (composto pelos comprimentos das *formas* fc.5.3.8, fc.5.3.3 e fc.5.3.5) pode ser encontrado pela aplicação do segundo predicado. Observe-se que a dimensão d.5.3.d10 poderia referir indistintamente a superfície S_3 da *forma* fc.5.3.6 ou a superfície S_3 da *forma* fc.5.3.5 para fins da realização da análise proposta. Ambos os procedimentos mencionados baseiam-se em percorrer a estrutura da peça de uma *forma característica* para outra apoiando-se na informação existente sobre a *união* entre essas, que indica as *superfícies* ligadas. Para se percorrer a cadeia, também é necessário recorrer à informação existente na *base de factos* geométricos (predicado *dimensão-transversal-e-ligada-à*, Capítulo 3, tópico 3.3.2.1.2), que permite encontrar as *dimensões* ligadas àquelas *superfícies*. Foi abordado apenas o caso em que uma dimensão está ligada a uma superfície e é *simultaneamente* perpendicular à mesma, por simplificação da implementação.

Observe-se que, uma vez encontrada a cadeia, diversos métodos poderão ser aplicados às mesmas a fim de se obter valores adequados para as tolerâncias dimensionais, conforme proposto em literatura^{30,35,64,71}. De qualquer modo, este é um tema que deve ser tratado especificamente pela análise de *toleranciamento*. Para esta investigação, o facto relevante é que o modelo proposto pode ser efectivamente utilizado para fornecimento das *cadeias de dimensões* para a realização da especificação de tolerâncias dimensionais. Note-se que existem sistemas computacionais¹¹⁸ especificamente orientados à execução dessa tarefa. Também observe-se a existência de considerável esforço concentrado na obtenção de mecanismos para a identificação de *cadeias de dimensões*, a fim de se viabilizar o estudo do toleranciamento^{93,94,119,120}.

A importância da experimentação dos procedimentos propostos reside em que, através de sua utilização, verifica-se a consistência do modelo geométrico concebido nesta investigação. Deve-se observar ainda que o procedimento de análise desenvolvido para o estudo das tolerâncias dimensionais de peças discretas pode vir a sofrer novos desenvolvimentos a fim de poder ser aplicado à análise em toleranciamento de *peças discretas agrupadas*, em que as *dimensões explícitas* serão também incluídas nas dimensões encadeadas.

5.5.4. Análises relativas às especificações de *acabamento superficial*.

Os estudos relativos às especificações de *acabamento superficial* efectuados nesta investigação também comparam os valores especificados pelo projectista com os valores usualmente

produzidos pelos processos tecnológicos utilizados na fabricação da peça, detectando as situações em que os valores especificados pelo projectista não estejam contidos nos intervalos de valores usualmente associados aos processos.

A implementação da análise relativa às especificações de *rugosidade superficial* foi efectuada através do predicado *analisa-rugosidade-superficial* (apresentada no tópico E.3.4.13 do Apêndice E). As implementações baseiam-se na análise da informação presente respectivamente nos *objectos* da classe *informação sobre processo tecnológico* e nos *objectos* instâncias da classe *informação sobre forma característica* (através dos campos descritores da informação sobre *rugosidade superficial*) associados às *peças discretas*.

A análise efectuada revela que alguns dos valores de *rugosidade superficial* especificados não são passíveis de obtenção através das operações de fabricação especificadas para a obtenção das superfícies das *formas* da peça 5.3. Os valores admissíveis para *rugosidade superficial* variam de acordo com os processos de fabricação seleccionados. Assim, o predicado utilizará a informação definida ao nível dos *objectos* representativos das classes de processos para encontrar os valores aconselháveis para a *rugosidade superficial*.

Como resultante da análise efectuada para a peça 5.3, indica-se que devem ser incluídas algumas operações de acabamento (*rectificação*) de superfícies entre aquelas a serem utilizadas na fabricação da peça 5.3. Isso é válido, por exemplo, para a superfície S_2 da *forma* fc.5.3.3 (*rectificação cilíndrica de superfícies exteriores*) e para a superfície $S_{lateral}$ da *forma* fc.5.3.1 (*rectificação cilíndrica de superfícies interiores*). Os *objectos* representantes dessas operações de fabricação são denominados p.5.3.7 e p.5.3.8 (ver a definição da peça discreta 5.3 no Apêndice F, tópico F.1.3).

Observe-se que a indicação da necessidade de definição de novas operações de fabricação está, na verdade, estreitamente relacionada com a análise em *Seleção de Processos*. Porém, a indicação aqui efectuada somente foi realizada ao se constatar que algum dos valores especificados para *rugosidade superficial* das superfícies das *formas* não poderiam ser obtidos utilizando-se apenas os processos então definidos para a fabricação da peça, o que constitui uma análise tipicamente efectuada dentro das *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*.

Também deve ser observado que, após a redefinição do conjunto de processos aplicáveis à construção da peça, a análise relativa às *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação* deve ser novamente efectuada, pois evidentemente as modificações introduzidas poderão determinar a ocorrência de novas implicações para a análise de fabricação da peça.

5.5.5. Análises relativas às *características* relacionadas com atributos físicos das peças.

A análise relativa às *características* relacionadas com atributos sobre a natureza física das peças pode ser virtualmente aberta a todas as áreas relacionadas com a análise do projecto mecânico, como, por exemplo, a análise em *Resistência de Materiais*, *Transmissão de Calor*, etc. O desenvolvimento de ferramentas computacionais para análises específicas que venham a utilizar a informação suportada pelo modelo é perfeitamente cabível, portanto. Será apresentado aqui um exemplo

para elucidação do potencial de análise em *Projecto Orientado à Fabricação* que utilize com alguma profundidade a estrutura de informação desenvolvida.

A análise dos processos definidos para a peça 5.3, revela a existência de processos de rectificação superficial, definidos pelos *objectos* p.5.3.7 e p.5.3.8, introduzidos na definição dos processos para a peça, elaborada a partir da análise apresentada no tópico 5.5.4. Como as operações de rectificação exigem um nível mínimo de dureza superficial para a sua realização, deve-se proceder a uma avaliação do tipo de material a ser utilizado na construção da peça, pois, se este material encontra-se entre aqueles considerados macios (no seu estado usual de fornecimento), é aconselhável que seja especificada uma operação de tratamento térmico para obtenção de endurecimento superficial da peça (que anteceda operações de rectificação).

Assim, a análise implementada nesta investigação (através do predicado *sugerir-operações-TT*) verificará inicialmente se o material de construção a ser utilizado é do tipo macio, e então verificará a existência de operação de tratamento térmico para endurecimento da peça. Inexistindo a especificação de tal operação, a sua inclusão no plano de fabricação definido para a peça será aconselhada. A informação sobre o tipo de material de construção está definida ao nível do *objecto-instância* representativo da peça discreta, e a informação relativa à característica física dos materiais (conforme utilizado pelo predicado acima referido) encontra-se definida na *base de factos* sobre materiais de construção.

No caso da peça 5.3, o material especificado é o *bronze*, que é uma *liga de cobre*, que é considerado um material macio. Assim, é aconselhada a especificação de uma operação de tratamento térmico que resulte no endurecimento da superfície da peça.

Observe-se que a indicação da necessidade de especificação de uma operação de tratamento térmico também está, na verdade, efectivamente relacionada com a análise em *Seleção de Processos*. Porém, essa indicação foi efectuada porque a análise de *rugosidade superficial* havia determinado a inclusão de uma operação de rectificação entre as utilizadas para a construção da peça, e a partir disso é que tornou-se importante a análise do tipo de material da peça. E esta é uma consideração tipicamente efectuada dentro das *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação*.

5.5.6. Análises relativas à *selecção de materiais* de construção.

O tema da *selecção de materiais de construção* é amplamente investigado pela *Engenharia de Materiais*, e não é objectivo desta investigação aprofundá-lo, mas apenas fornecer uma perspectiva de sua aplicação ao *Projecto Orientado à Fabricação*. Especificamente interessa o tópico dessa investigação relacionado com o estudo da adequação de materiais às condições de trabalho impostas aos componentes. Nesta investigação, contudo, foram analisadas apenas as situações em que a escolha de materiais determina a ocorrência de problemas para a fabricação dos componentes. Basicamente, procurou-se compilar a informação existente acerca da adequação de utilização dos diversos tipos de materiais conforme os processos tecnológicos definidos para a fabricação das peças.

A implementação efectuada utilizou-se da elaboração da *base de factos* relativos aos materiais de construção (ver apêndice E, tópicos E.2.2.4, E.2.2.5 e E.2.2.6), tendo sido criados três predicados na forma exposta a seguir:

<T> existe-em-forma-de <F>

<T> material-usual-em <P>

<T> material-inadequado-para <P>

em que

T - é um tipo de material ou uma classe de materiais de construção;

F - é uma forma comercial ou classe de formas comerciais de materiais de construção;

P - é um processo ou uma classe de processos tecnológicos de construção.

A construção de predicados que manipulem a informação declarativa adequadamente permite que se proceda à análise desejada, como foi realizado através da implementação efectuada. O predicado sugerir-tipo-mat-constr-processos (ver tópico E.3.4.7, Apêndice E) é dedicado à sugestão de tipos de materiais de construção consoante os processos de fabricação especificados para a peça discreta. Esse predicado também permite a verificação da adequação da escolha efectuada quanto ao tipo de material, se este já foi especificado.

Adicionalmente, outras questões práticas podem ser analisadas, como a da verificação da existência de um dado tipo de material numa certa forma comercial. O predicado tipo-versus-forma-comercial (ver tópico E.3.4.8, Apêndice E) verifica a disponibilidade de um determinado tipo de material numa determinada forma comercial requerida.

5.5.7. Análises relativas à utilização de recursos existentes na fábrica.

Nem sempre as peças projectadas num dado ambiente industrial podem ser executadas na própria fábrica, seja por razões de custo, seja pelo facto de a fábrica não possuir o equipamento necessário para efectuar o serviço. Se isso efectivamente ocorrer, haverá questões orçamentárias a serem consideradas antes de se tomar a decisão quanto à construção da peça. Para que a gama de opções de construção seja a maior possível, via de regra, será interessante que o projectista procure elaborar os projectos das peças de forma a que esses possam vir a ser executados dentro da própria fábrica, pois então será possível contar com a opção de fabricação em seu próprio ambiente industrial.

Contudo, frequentemente o projectista não tem a noção precisa dos recursos com que pode contar para a fabricação, seja em termos das máquinas ou do ferramental disponíveis. Neste contexto, um dos aspectos que pode ser focalizado dentro das *Recomendações de Projecto Orientado à Fabricação* é o da verificação de recursos disponíveis em nível de "chão de fábrica". A análise de máquinas ou de ferramentas disponíveis exigirá que estes entes estejam presentes no modelo utilizado como consulta à informação. A análise de máquinas pode eventualmente prescindir de recorrer ao plano de processos definido para a fabricação da peça. A análise do ferramental, contudo, está extremamente vinculada ao plano de processos.

No caso dos processos de maquinação, por exemplo, será necessário existir alguma definição quanto aos parâmetros de maquinação a utilizar na construção da peça para que se possa realizar uma escolha adequada da ferramenta de corte. A escolha de ferramentas de fixação é dependente da geometria da *peça de trabalho*, mas também da geometria da ferramenta de corte e das operações a serem executadas (incluindo-se eventualmente a própria sequência das mesmas). Por isso, pode-se dizer que tanto a escolha de ferramentas de corte, como a das ferramentas de fixação está estreitamente relacionada com a definição do plano de processos da peça.

Nesta investigação procurou-se focalizar a análise em *Projecto Orientado à Fabricação* unicamente na actividade de *projecto*, não se podendo contar com o fruto da actividade de Engenharia de Processos, portanto. Assim, a análise a ser efectuada levará em conta aquilo que pode ser concluído apenas a partir da informação existente sobre o *projecto* ou sobre os recursos de fábrica, independentemente da existência de uma fase posterior ao *projecto* que seja responsável pela definição do plano de processos de fabricação das peças. Observe-se que o objectivo fundamental desta investigação é exactamente a criação de uma base destinada à avaliação do *projecto* e que esteja unicamente concentrada na actividade do projectista. É evidente, porém, que a análise é potencialmente tanto mais precisa, quanto mais completa for a informação disponível. Assim, se essa fosse efectuada tomando-se como base a informação constante no *plano de processos* da peça, seguramente poderia vir a ser muito mais completa e específica. Contudo, isso não se enquadra no objectivo central desta investigação.

Para ilustração de conceitos, serão apresentados dois casos relativos à possibilidade de utilização de máquinas disponíveis no ambiente industrial. Observe-se que o modelo das máquinas concebido para esta investigação (ver Capítulo 3, tópico 3.4.3) contém, entre outras, a informação relativa ao *tamanho máximo* da *peça de trabalho* e ao seu *peso máximo* suportados pela máquina. Essa informação pode ser utilizada para se avaliar a possibilidade de utilização das máquinas existentes na fábrica ao ser confrontada com a informação sobre a definição da *peça de trabalho* (especificação dimensional da forma comercial do material de construção, conforme definido no Capítulo 3, tópico 3.4.1).

Os predicados *peso-da-forma-comercial* e *dims-máquinas* (ver implementação nos tópicos E.3.4.9 e E.3.4.10 do Apêndice E) foram utilizados para implementação da análise relativa à disponibilidade de máquinas. Algumas das especificações das máquinas presentes na *base de dados* utilizada nesta investigação são apresentadas no quadro 5.3, tendo os dados relativos às mesmas sido parcialmente extraídos de catálogos de fabricantes de *máquinas operatrizes*⁹⁹. Observe-se que as máquinas da classe *centro de maquinação* são consideradas *fresadoras*, enquanto que as máquinas da classe *centro de torneamento* são classificadas como *tornos*. As máquinas operatrizes denominadas F.1 e F.2 são fresadoras verticais, F.3 é uma fresadora horizontal, F.4 e F.5 são fresadoras mistas, CM é um *centro de maquinação* misto, CT é um *centro de torneamento*, T.1 é um torno de cilindragem, e os demais tornos são utilizados em cilindragem e roscamento.

valores máximos admitidos	fresadoras							tornos						
	F.1	F.2	F.3	F.4	F.5	CM	Ref.	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	CT	Ref.
peso (N)	4500	3500	3800	8500	1700	20000		5000	15000	1500	20000	20000	3000	
altura (mm)	440	500	400	800	520	1250								
largura	320	420	400	500	300	800								
comprimento	1600	1000	600	1070	550	1600		650	1500	450	1500	700	1000	
diâmetro	320	420	400	1070	550	1600		350	415	240	725	1000	120	
toler. circularidade								0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0001	0,0003
toler. movimento								0,002	0,003	0,005	0,003	0,005	0,002	0,003
toler. planicidade	0,0005	0,0005	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002
toler. perpendicularismo	0,0003	0,0005	0,0003	0,0005	0,0002	0,0002	0,0003	0,00005	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,00005	0,0002
toler. paralelismo	0,0002	0,0005	0,0003	0,0005	0,0002	0,0002	0,0003							

Quadro 5.3 - Especificações de máquinas representadas na base de dados; os valores de referência (coluna "Ref.") são os normalmente encontrados para a classe de máquinas.

peça	forma característica	dimensão	especificação da dimensão (mm)	objecto representativo da tolerância geométrica	especificação da tolerância geométrica (mm)	processo referente à tolerância geométrica	zona de tolerância resultante (mm/mm)	ocorrência de problema
5.1	fc. 5.1.1	lado	500	tg.5.1.1 (planicidade)	0,01	fresamento (p.5.1.1)	0,00002	sim
		comprimento	500				0,00002	sim
	fc. 5.1.1	lado-2	200	tg.5.1.2 (paralelismo)	0,20	fresamento (p.5.1.1)	0,001	não
		lado	500				0,0004	sim (alguma)
5.3	fc. 5.3.3	diâmetro	30	tg.5.3.3 (movimento)	0,05	torneamento (p.5.3.1)	0,0016	sim
	fc. 5.3.8	diâmetro	50	tg.5.3.2 (perpendicularismo)	0,30	torneamento (p.5.3.2)	0,006	não
	fc. 5.3.6	diâmetro	20	tg.5.3.1 (circularidade)	0,001	torneamento (p.5.3.1)	0,00005	sim

Quadro 5.4 - Confrontação entre as tolerâncias geométricas especificadas para as peças 5.1 e 5.3 e a capacidade dos processos tecnológicos (em produzi-las).

A análise relativa ao primeiro predicado consiste em calcular o peso da *peça de trabalho* e compará-lo com o peso máximo suportado pela máquina. O peso da *peça de trabalho* é calculado a partir das dimensões estabelecidas para a forma comercial do material a ser utilizada na construção da peça (obtendo-se o volume da mesma) e do valor do *peso específico* desse material. As máquinas a serem analisadas são as indicadas entre as classes de máquinas aplicáveis às operações de fabricação da peça (definidas em cada *objecto-instância*).

A análise relativa ao peso da *peça de trabalho* efectuada para a peça 5.1 constatou que, dentre as máquinas pertencentes à classe *fresadora*, seriam utilizáveis para a fabricação da peça as máquinas denominadas F.1 e F.4 e o *centro de maquinação* (identificado como CM). Essas classes de máquinas estavam especificadas nos campos *tipo.de.máquina.associada.1* e *tipo.de.máquina.associada.2* dos *objectos* p.5.1.1 a p.5.1.6, utilizados para a descrição das operações de fabricação aplicáveis à peça 5.1. Observe-se que a *peça de trabalho* referente à especificação da peça 5.1 pesa aproximadamente 4026 N.

A análise relativa ao peso da *peça de trabalho* efectuada para a peça 5.3 constatou que todas as máquinas pertencentes à classe *torno* existentes seriam passíveis de utilização para a fabricação da peça. Essa classe de máquinas estava especificada nos campos *tipo.de.máquina.associada.1* dos *objectos* p.5.3.1 a p.5.3.6, utilizados para a descrição dos processos aplicáveis à peça 5.3. A *peça de trabalho* pesa aproximadamente 18,50 N.

A análise relativa ao predicado *dims-máquinas* consiste em se comparar as dimensões da *peça de trabalho* com as dimensões máximas admitidas pelas máquinas. Uma vez mais as máquinas a serem analisadas são as incluídas nas classes de máquinas definidas em cada *objecto-instância* referente às operações de fabricação definidas para a peça.

A forma comercial de material da classe *bloco* está definida em termos de sua altura (especificada pelo campo denominado *alt* no *objecto*) e dos seus lados (*lado.1* e *lado.2*). Os valores dessas dimensões são 205mm, 505mm e 505mm respectivamente. As fresadoras estão definidas em termos da altura máxima (*máx.alt.mater.trab*), largura máxima (*máx.larg.mater.trab*) e máximo comprimento (*máx.compr.mater.trab*) admitidos. Observe-se que as dimensões *comprimento* e *largura* podem ser tomadas como *lado.1* ou *lado.2* indistintamente em relação à *peça de trabalho*, ao passo que a dimensão *altura* deve ser exclusivamente relacionada com o campo *alt* na *peça de trabalho*, para as fresadoras verticais. Para as fresadoras horizontais, o campo *altura* deve ser relacionado com o campo *máx.compr.mater.trab*, devido à maneira como as dimensões foram estabelecidas para a representação das máquinas no modelo. Essa questão não se põe para as fresadoras mistas, pois, em princípio, a *peça de trabalho* poderá ser fixada da maneira mais acessível e adequada, contanto que esteja contida, de alguma maneira, no espaço admitido pela máquina. Assim, considerando-se as dimensões da *peça de trabalho* e a informação apresentada no quadro 5.3, pode-se concluir que somente as fresadoras mistas denominadas F.4 e F.5 e o *centro de maquinação* denominado CM estão capacitados para a execução da peça 5.1.

A análise da peça 5.3, para a qual a forma comercial definida é um vergalhão de perfil circular, baseou-se na comparação da dimensão *compr* da *peça de trabalho* (cujo valor é de 90mm) com a correspondente dimensão relativa ao máximo comprimento admissível na máquina

(*máx.compr.mater.trab*). Da mesma forma, foi efectuada a comparação entre o diâmetro da *peça de trabalho* (campo *dimensão.1.secção.transv* do *objecto vergalhão.perfil.circular.peça53*, cujo valor é de 55mm) com o máximo diâmetro admissível pela máquina (campo *máx.diâm.mater.trab* nos *objectos* instâncias da classe *torno*). Todas as máquinas cujos modelos foram representados na *base de dados* estão aptas para a execução da peça segundo este critério (*tornos* e *centro de torneamento* para os processos p.5.3.1 a p.5.3.6).

Portanto, dispondo apenas das máquinas cuja descrição foi representada na *base de dados*, o projectista somente poderia contar com a *fresadora mista* identificada como F.4 e com o *centro de maquinação* CM para a fabricação da peça 5.1, ao passo que a peça 5.3 poderia ser executada em qualquer das máquinas da classe *torno*. Essa avaliação poderia determinar, por exemplo, que se viesse a modificar algumas das dimensões externas da peça 5.1 para permitir que alguma outra máquina, como a fresadora vertical F.1 pudesse vir a ser utilizada na sua fabricação, o que permitiria ao sector de *engenharia de produção* contar com um maior número de possibilidades para distribuição da carga total de trabalho na fábrica.

5.5.8. Análises relativas à especificação de *tolerâncias geométricas*.

Os estudos relativos às especificações de *tolerâncias geométricas* efectuados nesta investigação comparam os valores especificados pelo projectista com os valores usualmente produzidos pelos processos tecnológicos utilizados na fabricação da peça, detectando-se as situações em que os valores especificados pelo projectista não estejam contidos nos intervalos de valores associados aos processos. Portanto, a fim de ser possível executar a análise proposta, as especificações devem aparecer ligadas a esses processos de construção. Um estudo em profundidade de metodologias para especificação de *tolerâncias geométricas* excede os objectivos deste trabalho, podendo ser encontrado em literatura específica ¹²¹.

A implementação da análise relativa às *tolerâncias geométricas* foi efectuada através do predicado *projecto-orientado-à-fabricação-3*, cuja implementação é apresentada no tópico E.3.4.3 do Apêndice E. Essa implementação baseia-se na análise da informação presente respectivamente nos *objectos* da classe *processo tecnológico* e nos *objectos-instâncias* da classe *tolerância geométrica e forma característica* associados às peças discretas (através dos campos descritores da informação sobre as dimensões).

A análise efectuada sobre as peças 5.1 e 5.3 revela que alguns dos valores especificados para as *tolerâncias geométricas* são inadequados. Os valores admissíveis para as *tolerâncias geométricas* variam consoante os processos de fabricação utilizados e são fornecidos como um valor relativo, a ser aplicado sobre uma dimensão da peça. O predicado implementado recorre à informação definida ao nível dos *objectos* da classe *processos de fabricação* para encontrar os valores aconselháveis para essas *tolerâncias* e os aplica a todas as dimensões (e *formas* a que pertencem) referidas nos *objectos* instâncias da classe *tolerância geométrica*. Note-se que os identificadores dos *objectos*-

instâncias relativos às *tolerâncias geométricas* são referidos nos *objectos-instâncias* descritores das operações de fabricação definidas para as peças.

O quadro 5.4 apresenta os valores especificados para as *tolerâncias geométricas*, as dimensões das *formas características* a que esses valores se aplicam, os *objectos* instanciados que representam as *tolerâncias* e as *operações* de fabricação, para além do valor da tolerância relativa obtido. Também é indicada a ocorrência de problemas (isto é, a especificação de tolerâncias muito exigentes), considerando-se as capacidades das *máquinas* cujos modelos estão presentes na *base dados*, apresentadas no quadro 5.3. Note-se que as *tolerâncias geométricas* são fornecidas em valores relativos, dadas em *milímetros* (da zona de tolerância aceitável) *por milímetros* (da dimensão considerada na peça). Observe-se também que a coluna identificada por "Ref" fornece *valores de referência* a serem considerados *por defeito* para as máquinas da classe.

A análise desses quadros permite concluir que a especificação de *tolerância de planicidade* representada pelo *objecto* tg.5.1.1 para a *peça discreta* 5.1 (aplicada às dimensões *lado e compr* da *forma* fc.5.1.1 - limitantes da *superfície de referência*, a superfície S_4) gera um valor demasiadamente exigente quando confrontado com aqueles que as fresadoras apresentadas no quadro 5.3 são capazes de produzir (0,00002 mm/mm, idêntico para ambas as dimensões consideradas). O mesmo é válido para as especificações da *tolerância de movimento* e *tolerância de circularidade* da *peça discreta* 5.3 (note-se que, nesses casos, a dimensão a ser considerada é o *diâmetro* - e não o *raio* - das *formas características*), confrontando-se as exigências de tolerâncias com as capacidades dos tornos. A especificação da *tolerância de paralelismo* para a *peça* 5.1 seria inadequada considerando-se as capacidades das fresadoras F.2 e F.4, mas aceitável para as demais máquinas.

5.5.9. Possibilidades de aplicação do modelo à *análise de montagens* de peças.

O *Projecto Orientado à Montagem* é um tema complexo e de grande amplitude, devendo ser tratado de forma exclusiva no âmbito de qualquer investigação relacionada com o *Projecto Orientado à Fabricação*. Assim, nesta investigação, procurar-se-á apenas indicar algumas das possibilidades de aplicação do modelo de representação da informação elaborado ao tema, objectivando demonstrar o seu potencial de utilização. Em princípio, admite-se a hipótese de que o modelo concebido é capaz de prover uma base fiável para se desenvolver a investigação também no domínio do *Projecto Orientado à Montagem*. A título de ilustração, serão analisados dois casos de montagens de *peças discretas agrupadas*: um relativo a *peças compostas* e outro a essas e a *agregados de peças discretas*.

Um problema que pode ocorrer no *projecto* de peças compostas diz respeito à escolha adequada de materiais utilizáveis em processos de soldadura¹². Por exemplo, peças construídas com metais cujos pontos de fusão sejam relativamente próximos e que possam ser combinados formando liga metálica devem ser preferencialmente soldadas por processo de soldadura à resistência (e não por soldadura à fusão). Se não for possível utilizar aquele processo, deve-se procurar seleccionar outros materiais alternativamente, por exemplo. Um outro caso semelhante é o da especificação de soldadura de peças constituídas de materiais quimicamente dissimilares, como, por exemplo, *aço* e *alumínio*.

Tomando-se o exemplo da peça composta 5.4 (cuja representação é discutida no tópico 5.2.2), veremos que os materiais com que são construídas essas peças discretas enquadram-se nesse caso. A análise relativa a essa recomendação de projecto foi implementada através do predicado *projecto-orientado-à-montagem-1*, que recorre à informação sobre os tipos de materiais de que são constituídas as peças discretas e ao conhecimento presente na *base de factos* relativa aos materiais de construção (predicado *materiais-dissimilares* - ver implementação computacional apresentada no Apêndice E, tópico E.2.2.2).

Outro caso que pode ser passível da mesma ordem de recomendação ocorre quando as peças ligadas são construídas com materiais cujos coeficientes de *conductividade térmica* são muito diferentes, pois, se o conjunto vier a operar em condições de temperatura diversas daquela em que foi efectuada a montagem, poderá haver tendência a surgirem tensões indesejáveis nos componentes. Todos esses casos deveriam ser levados em conta pelo projectista, a fim de evitar que as peças discretas agrupadas viessem a enfrentar problemas de fabricação.

Um outro problema que comumente ocorre na montagem de peças discretas agrupadas diz respeito à ocorrência de corrosão nalgum dos componentes¹²². Essa corrosão pode ser causada pela formação de um par galvânico entre os componentes, o que acontece se os materiais das peças contactantes possuem potenciais de eléctrodo de valores bastante diversos. Assim, havendo a possibilidade de os componentes mecânicos a serem montados formarem um *par galvânico*, pode-se indicar a utilização de mecanismos de protecção à corrosão ou de selecção de outros materiais para as peças discretas.

Tomando-se o exemplo de um *agregado de peças discretas* formado por uma peça do tipo *veio*, construída com liga de chumbo, e uma peça com um furo, construída com ferro fundido, montadas de maneira a existir um ajuste no sistema *furo-base* do tipo *aderente H7 / j6* (*ajuste forçado leve*), teremos uma provável ocorrência dessa situação. A análise relativa a essa recomendação de projecto foi implementada através do predicado *projecto-orientado-à-montagem-2*, (ver tópico E.3.4.18, Apêndice E) que recorre à informação sobre os tipos de materiais de que são constituídas as peças discretas e ao conhecimento presente na *base de factos* relativa aos materiais de construção (predicado *par-galvânico* - ver implementação computacional no Apêndice E, tópico E.2.2.1). Alguns exemplos típicos deste caso são os seguintes: junções de parafusos de aço aplicados sobre estruturas de latão, eixos de aço apoiados sobre cavilhas de bronze, cordões de solda de chumbo-estanho aplicados sobre fios de cobre.

5.5.10. Outras possibilidades de aplicações do modelo de representação da informação.

Serão citados ainda outros casos em que a aplicação do modelo de representação da informação à análise em *Projecto Orientado à Fabricação* pode vir a ser factível e útil. Eventualmente, a análise desses tópicos irá requerer a necessidade de execução de modificações no modelo, especialmente no que diz respeito à *adição de informação* à *base de conhecimento* em utilização. Observe-se, porém, que é uma característica dos *sistemas periciais* a condição de serem sistemas

abertos a alterações. No caso desta investigação, isso poderia ter como consequência a modificação de aspectos relativos à estruturação da informação no modelo.

Podem ocorrer problemas relacionados com a não observância das condições de trabalho a que a peça projectada estará submetida, por exemplo. Isso não está propriamente relacionado com a fabricação da peça, mas constitui uma situação que também deve ser analisada ainda na fase de projecto.

Suponhamos, por exemplo, que a peça composta P_C , constituída pelas peças discretas P_1 e P_2 (de facto, ambas sendo cilindros vazados superpostos de modo coincidente pelo diâmetro interno - ver ilustração à figura 5.23), venha a operar em valores de temperatura muito diferentes daqueles em que o conjunto foi unido. Neste caso, se os *coeficientes de dilatação térmica* dos materiais com que foram construídas as peças P_1 e P_2 tiverem valores suficientemente diversos, podem ocorrer problemas quanto à utilização do conjunto. Por exemplo, podem aparecer zonas de tensões na região da solda, que podem vir a comprometé-la. Noutra exemplo, se, por hipótese, uma terceira peça discreta viesse a ser introduzida no furo por ajuste forçado, poderiam vir a surgir problemas operacionais para o conjunto em função da variação do diâmetro do furo - especialmente se tal peça fosse construída com material diferente daqueles utilizados na construção de P_1 e P_2 .

Peça composta P_C

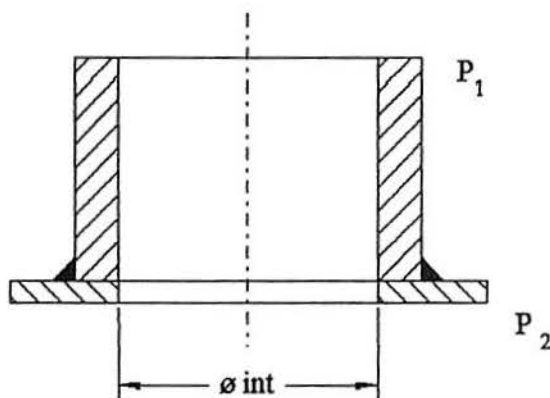


Figura 5.23 - Vista de corte da *peça composta* P_C constituída pelas peças discretas P_1 e P_2 .

Uma outra situação a ser analisada diz respeito às cadeias de tolerâncias em *agrupamentos de peças discretas*. Conforme citado no tópico 5.5.3.1, a análise de cadeias de tolerâncias efectuada nesta investigação pode ser estendida para o estudo de peças discretas agrupadas. Observe-se que aqui, porém, as *dimensões explícitas* também poderão aparecer como membros das cadeias, e não apenas como elementos de referência para a formação de cadeias. A possibilidade de execução deste tipo de análise é de grande importância para a elaboração de procedimentos aplicáveis ao *Projecto Orientado à Montagem*, uma vez que o problema do toleranciamento de cadeias de dimensões é um problema de tratamento relativamente complexo no estudo das montagens de componentes.

Capítulo 6

6. Discussão sobre a Utilização do *Modelo de Representação da Informação* e Apresentação das Conclusões Gerais sobre a Investigação.

6.1. Discussão de resultados.

A discussão sobre os resultados obtidos com a utilização do modelo de representação da informação apresentados no Capítulo 5 deve ser compreendida no âmbito das limitações impostas pela utilização do protótipo computacional elaborado para a execução da parte experimental da investigação. Inicialmente será discutida a adequação da descrição das peças mecânicas através do *modelo de representação da informação*, sendo após discutida a aplicabilidade de utilização dos procedimentos de aplicação do *Projecto Orientado à Fabricação (Tecnologia de Grupo, Selecção de Processos e Recomendações de Projecto)* sobre o modelo.

6.1.1. Discussão sobre a representação de peças mecânicas através do *modelo*.

A representação de peças mecânicas apresentada nesta investigação baseia-se na utilização da *Tecnologia de Características* conforme definido no Capítulo 3. A utilização desta abordagem baseou-se na constatação de que o problema fundamental dos sistemas existentes para o *Projecto Assistido por Computador* reside na sua incapacidade de oferecer o nível de abstracção adequado à análise da qualidade do projecto segundo algumas perspectivas relevantes, como a da utilização do *Projecto Orientado à Fabricação*. Observe-se que a utilização dessa tecnologia é essencial para a implementação bem sucedida da *Engenharia Concorrente*, que constitui modernamente um objectivo a ser atingido na indústria.

Assim, esta investigação procurou encontrar meios factíveis para a implementação de um sistema computacional para o *Projecto Assistido por Computador* baseado na *Tecnologia de Características* que fosse capaz de permitir a melhor exploração das potencialidades do *Projecto Orientado à Fabricação*. Contudo, teve-se em atenção também a necessidade de não serem suprimidas as possíveis interacções com outros tipos de análise, como, por exemplo, as providas pela utilização de *métodos numéricos* (destacando-se as ferramentas de análise do projecto baseadas no *método dos elementos finitos*) ou das ferramentas de simulação de movimentos relativos por animação.

A análise do *estado da arte* referente à *Tecnologia das Características* revelou a existência de uma indefinição conceptual básica, relativa ao próprio significado do termo "*característica*". Na ausência de uma definição formal universalmente aceita, optou-se pela utilização de uma compatível com o nível de abstracção desenvolvido ao longo da investigação, que considera como *característica* qualquer fragmento de informação significativo para a descrição da peça mecânica, sendo esse de natureza geométrica ou não-geométrica. Deste modo, tanto as próprias *formas características*, como partes de suas definições (como cada uma das suas superfícies constituintes, por exemplo) foram consideradas *características* da peça mecânica. Assim, no âmbito desta investigação, a

consideração sobre o que é aceite como uma *característica* é dependente do nível de abstracção imposto pela análise de projecto, configurando-se assim uma análise essencialmente *contextual*.

6.1.1.1. Discussão sobre as características gerais do modelador de peças mecânicas.

A análise da representação de *peças discretas* exposta no Capítulo 5 demonstra que o *modelo de representação da informação* é capaz de armazenar tanto a informação de natureza geométrica, como a de carácter não-geométrico sobre a peça. Parte desta última é constituída por tópicos essenciais para a perfeita descrição das peças, como a especificação do tipo de material a ser empregado na sua fabricação. Normalmente, os sistemas computacionais para o *Projecto Assistido por Computador* armazenam esse tipo de informação em modo unicamente documental, não permitindo a sua posterior recuperação automática. Neste *modelo*, contudo, esse tipo de informação pode ser efectivamente recuperado e utilizado para a análise da adequação à fabricação, conforme pode ser constatado pelos exemplos introduzidos nos tópicos 5.5.5 (referente à análise de atributos físicos das peças) e 5.5.6 (relativo à análise do material de construção seleccionado para a peça).

A consistência do modelo com relação à adequação da descrição do *projecto* de peças mecânicas também pode ser avaliada pela sua capacidade de apreender a informação de natureza geométrica. Observe-se que elementos essenciais a essa descrição, como as especificações de *tolerâncias dimensionais*, *tolerâncias geométricas*, *rugosidade superficial* e inclusivamente as de *dimensionamento* podem ser efectivamente armazenadas e recuperadas automaticamente, conforme demonstrado pelos exemplos introduzidos no Capítulo 5 (tópicos 5.5.2, 5.5.3, 5.5.3.1, 5.5.4 e 5.5.8) e pela documentação contida no Apêndice E. Mesmo as *relações dimensionais* e *geométricas* entre os elementos físicos das peças (e das *formas características*) podem ser representadas, bem como as *relações de proporção* entre as dimensões (Capítulo 3, tópico 3.3.2.1.2). Isso é válido tanto ao nível das *peças discretas*, como também para as *peças discretas agrupadas*.

Note-se que, nos sistemas convencionais para o *Projecto Assistido por Computador* (como o *AutoCAD*), normalmente parte da informação dimensional e geométrica sobre a peça está armazenada num modo que torna impossível a sua recuperação e utilização por procedimentos de análise do projecto.

Com relação à representação das *relações de proporção* entre dimensões, deve-se observar ainda que, presumivelmente, pelo menos uma parcela das relações a serem utilizadas na análise baseada na *Geometria Variacional* estão representadas e podem ser disponibilizadas pela estrutura de modelação da informação concebida para fins de utilização por procedimentos de auxílio ao projecto baseados naquela abordagem.

Ainda com relação à concepção do modelo geométrico das peças, observe-se que três questões fundamentais foram alvo de análise por esta investigação:

- a) a definição de uma abordagem que permitisse o melhor aproveitamento das potencialidades da *Tecnologia das Características* combinada com uma perspectiva de utilização do sistema computacional pelo projectista no modo mais natural possível;

- b) a viabilização da utilização do *Projecto Paramétrico*;
- c) a obtenção da descrição tanto das *peças discretas*, como das *peças discretas agrupadas*, através de um mesmo formalismo.

Para se construir um modelo baseado nessas premissas, procedeu-se inicialmente a uma avaliação de outros modelos, analisando-se descrição existente em literatura ou examinando-se os sistemas mais avançados existentes (inclusive ao nível de protótipos), tendo sido constatado a existência de duas abordagens principais: a da utilização de algoritmos capazes de identificar e extrair as *formas características* existentes num modelo de peça gerado por um sistema de *Projecto Assistido por Computador*, e a da criação de modelos das peças a partir da utilização de *bases de formas características*. Com relação à utilização desta abordagem, constatou-se a existência de dois métodos diferentes, denominados *geometria destrutiva* e *síntese de volumes elementares* (conforme Capítulo 2, tópico 2.3).

Optou-se por elaborar um modelo baseado nesta última abordagem, pois os métodos para o *reconhecimento de formas características* são reconhecidamente ineficientes para utilização genérica, conforme revelou o estudo do *estado da arte* (apresentado no Capítulo 2), sendo, portanto, pouco promissores para o desenvolvimento de modeladores confiáveis para os sistemas computacionais de *Projecto Assistido por Computador*. Por outro lado, a *geometria destrutiva* não permite obter a descrição final da peça através de *formas* tipicamente *significativas* em termos do *projecto* ou da *fabricação*.

Assim, utilizando-se a abordagem escolhida, foi possível construir um modelo consistente com relação à descrição da peça através de *características*, o qual provou ser adequado também ao desenvolvimento da análise relacionada com o *Projecto Orientado à Fabricação*, o que era o objectivo central desta investigação. Note-se que, diferentemente de alguns dos modelos de sistemas para o *Projecto Assistido por Computador* analisados no levantamento do *estado da arte* também baseados na *Tecnologia das Características* (como o *EXCAST* e o *Shapes*), o modelo introduzido nesta investigação não está restrito a domínios particulares de utilização (como a determinadas *classes de processos*, por exemplo), porque o universo de *formas características* à disposição do projectista é amplo e também complementável.

Observe-se que a definição do modelo introduzido nesta investigação permitiu considerar as peças discretas como conjuntos de *formas características* e as *peças discretas agrupadas* como conjuntos de *peças discretas* - isto é, essencialmente, macroagregados de *formas características*, conduzindo então à obtenção de um único formalismo para a descrição das *classes* de peças consideradas.

Para viabilizar a utilização do *Projecto Paramétrico*, foi necessário fazer que todos os elementos constituintes da descrição das peças pudessem ser definidos de maneira parametrizável pelo projectista. A concepção do modelador baseia-se em que as características que compõem o modelo da peça sejam definidas de modo a estarem abertas à especificação dos seus atributos qualificadores.

A adopção de uma abordagem baseada no método de *síntese de volumes elementares*, apesar de ser potencialmente a mais promissora, trouxe como consequência directa a necessidade de serem resolvidos alguns problemas fundamentais inerentes ao método, como o da avaliação da *forma*

resultante para uma peça cujo modelo é construído a partir de *volumes elementares*. Este problema ocorre porque o arranjo das *formas características* no espaço, ainda que submetido a algumas regras (ver Capítulo 3, tópico 3.2), não permite presumir, em princípio, a *forma geral* ("overall shape") resultante da peça, que é essencial para a análise do projecto (por exemplo, no que diz respeito à definição do processo de fabricação).

Genericamente, considerando-se o modelo proposto, a solução desse problema apoia-se basicamente em dois pontos: a análise do *alinhamento relativo* entre as *formas características*, e a análise das *relações de adjacência* entre as mesmas. Essas avaliações foram viabilizadas respectivamente pela introdução do elemento geométrico denominado *linha de referência* nas *formas características*, cuja utilização ficou patente, por exemplo, na avaliação do *índice de torneabilidade* da peça (Capítulo 4, tópico 4.3.3.1.1), e pela introdução do ente denominado *elemento de união entre formas características* no modelo (Capítulo 3, tópico 3.3.2.2.1).

A introdução do ente *elemento de união* está relacionada com a utilização de um *mecanismo de representação* das *relações de adjacência*, utilizado basicamente para a solução de um outro problema surgido com a adopção do método de *síntese de volumes elementares*, que é o da representação adequada da *topologia* da peça. Observe-se que a *conectividade* entre as *formas características* foi explicitamente representada, pois o *modo* pelo qual as *formas* estão unidas foi armazenado no ente *elemento de união* através do campo denominado *tipo de união*. Note-se que também o *estado* de cada superfície pertencente às *formas* está explicitamente determinado com relação à sua existência (superfícies reais, virtuais e parcialmente reais), o que é particularmente útil à análise do processo de fabricação da peça discreta.

Observe-se ainda que a caracterização do modo de união entre as *formas características* (meio contínuo, ligação permanente e ligação não-permanente) é inteiramente coerente com a classificação adoptada quanto aos tipos de processos de fabricação existentes (processo de obtenção de peças discretas e processos de montagens de peças discretas por junção permanente e junção não-permanente).

A utilização do método de *síntese de volumes elementares* também determina o aparecimento de um problema relativo à representação das *especificações dimensionais e geométricas* entre os *volumes elementares*, uma vez que o dimensionamento exclusivamente dos *volumes elementares* (isto é, das *formas características*) não é suficiente para a perfeita especificação do projecto. A mesma questão impõe-se com relação às especificações dessa natureza a estabelecer entre diferentes peças discretas. A solução encontrada foi a da criação de dois entes especificamente concebidos para o armazenamento dessa informação pelo modelo: as *dimensões explícitas* e as *tolerâncias geométricas*. Demonstrou-se a sua utilização na descrição de peças pelo modelo (conforme pode ser analisado, por exemplo, pela consulta aos exemplos apresentados no Capítulo 5, tópico 5.2, referentes às peças discretas) e a sua efectiva aplicabilidade à análise do projecto (conforme os tópicos 5.5.2, 5.5.3 e 5.5.8 do mesmo capítulo, referentes respectivamente à análise da posição de *formas características*, especificação de *tolerâncias dimensionais* e de *tolerâncias geométricas*).

A respeito das regras elaboradas sobre as relações de *adjacência* e de *dependência* entre *formas características* (Capítulo 3, tópico 3.2), deve-se observar que efectivamente foi imposta uma

restrição à geração da forma resultante da peça a partir da execução de operações de intersecção entre os *volumes elementares* representativos das *formas características*. Basicamente essa medida visou evitar os problemas gerados pela degradação do significado intrínseco das *formas*, determinadas pela execução de operações de intersecção geométrica entre esses volumes, conforme análise exposta no Capítulo 2, tópico 2.7. Isso porque, ao não se permitir que o volume correspondente a uma *forma* seja invadido pelo volume de outra *forma* gerada com o mesmo *tipo* (volume-positivo ou volume-negativo), está-se impedindo qualquer modificação das propriedades geométricas associadas a cada um dos volumes.

Contudo, esse procedimento implica uma perda da capacidade de obtenção da forma final desejada para a peça, tendo sido, por isso, introduzido o mecanismo de geração de *formas características* denominado *processo de composição de formas por interpenetração*. Esse processo prevê a geração de uma *forma explícita* pela manipulação de *formas* já instanciadas e armazenadas na *base*. Observe-se que, assim, é mantida a capacidade de utilização do processo de intersecção de volumes, que é extremamente útil para a obtenção da forma final desejada para a peça. Contudo, consegue-se evitar corromper o formalismo adoptado pelo modelo, pois tudo fica resumido à criação de uma *forma explícita* e sua incorporação ao modelo geométrico da peça.

Evidentemente o conhecimento sobre o significado associado à *forma* assim gerada não é o mesmo associado às *formas* que lhe deram origem. Este é, porém, um problema intrínseco à própria resultante da operação de geração da forma através do processo utilizado. Todavia, o significado a ser associado à *forma* resultante poderá ainda vir a ser inferido a partir do estudo do parentesco existente com as *formas características* utilizadas em sua geração. Isso corresponde ao minimamente requerido para a análise de projecto baseada no *significado geométrico* do *volume elementar* representativo da *forma*. Assim, evita-se ter de recorrer à análise desse significado geométrico, que constitui um problema complexo para a efectiva utilização de modeladores geométricos baseados no método de *síntese de volumes elementares*.

Finalmente, deve-se observar que o *modelo de representação da informação* valeu-se também da modelação de outros entes necessários à análise da adequação do projecto à fabricação: materiais, processos e máquinas de construção. O primeiro está relacionado com as especificações de projecto, e os dois últimos, com a elaboração do plano de fabricação. Contudo, a avaliação do projecto tem de considerar ao menos uma certa aproximação à definição das operações de fabricação da peça para que seja viabilizada a aplicação de regras de conhecimento relativas ao domínio do processo a ser utilizado. Por isso, torna-se efectivamente necessário serem representadas as operações de fabricação das peças. Do mesmo modo, a necessidade de conhecer as efectivas possibilidades de utilização dos recursos existentes no ambiente industrial em que se está a operar torna necessário a representação da informação sobre as máquinas.

Observe-se que também a representação das ferramentas de corte e de fixação pode ser útil à análise da fabricação de peças. Contudo, para os propósitos da investigação realizada, baseada na utilização do *Projecto Orientado à Fabricação*, constatou-se que a análise da informação contida unicamente nos demais entes seria suficiente para a análise do projecto. Todavia, note-se que a representação das ferramentas (de fixação e de corte, no domínio da *maquinação*) será fundamental para qualquer análise centrada na avaliação do processo de fabricação. Presume-se que a adição desses

novos entes ao modelo possa também vir a ser efectuada, podendo-se assim adaptar este modelo para a utilização segundo outros propósitos.

6.1.1.1.1. Discussão sobre a utilização das *formas características* no modelo.

A escolha das *formas características* a estarem representadas na *base de formas* baseou-se numa pesquisa sobre o projecto de componentes mecânicos em que foram seleccionadas aquelas mais comumente encontradas e também aquelas cujas geometrias pudessem servir de base à obtenção das *formas* de configuração menos usual (*formas explícitas*). Evidentemente, sobre todos os sistemas computacionais baseados numa abordagem semelhante à utilizada neste trabalho, sempre pesará a questão do número de *formas* a estarem presentes na *base*. Provavelmente, se fosse construída uma *base de formas* contendo todas aquelas descritas nos dicionários de *formas características* ¹⁷, certamente surgiriam alguns inconvenientes, tais como:

- a) a dificuldade de serem armazenadas computacionalmente todas as *formas* e também todos os procedimentos e o conhecimento a essas inerente;
- b) a dificuldade do projectista em utilizar eficientemente um grande número de *formas* disponíveis, o que implicaria a necessidade de memorização de toda a estrutura da *base* e de grande parte do seu conteúdo;
- c) a dificuldade de acesso a todo o conjunto das *formas* da *base*, ainda que essas estivessem hierarquicamente agrupadas de maneira adequada, o que conduziria à existência de procedimentos de elaboração da geometria da peça excessivamente lentos e tediosos.

Considerando-se essas condições, procurou-se fazer que o modelador geométrico de peças mecânicas contemplasse os seguintes requisitos quanto à escolha das *formas características* a comporem a *base*:

- a) a existência de uma solução de compromisso entre a necessidade de se impor uma limitação relativa ao número de *formas* a serem representadas na *base* e a necessidade de disponibilizar um número mínimo de *formas* para que a análise de projecto pudesse operar sobre informação suficientemente ampla e completa relativa à geometria da peça;
- b) a capacidade de prover um conjunto de procedimentos que permitissem oferecer ao projectista a criação de todas as configurações possíveis e necessárias para a geração da forma final desejada para a peça discreta, o que foi obtido provendo-se também a utilização das *formas explícitas* pelo modelo;
- c) a capacidade de permitir que as *formas explícitas* fossem obtidas de modo a permitirem serem conhecidas ao máximo as suas propriedades, objectivando-se adquirir a predição do seu significado para o *projecto* e a *fabricação*.

Evidentemente, essa última questão somente poderia ser solucionada dentro de certos limites. Esse objectivo foi atingido principalmente através do armazenamento da informação relativa ao processo de geração da *forma explícita* (conforme apresentado no Capítulo 3, tópico 3.3.2.1.1). Nesse sentido, ainda, o modelo também permite o armazenamento da informação relacionada com a existência

de similaridade quanto a propriedades geométricas entre a *forma explícita* criada e as *formas implícitas* presentes na *base*, que permite utilizar, em certa medida, o conhecimento representado a respeito dessas - como exemplo, foi apresentado o procedimento para selecção de processo para uma *forma explícita* no Capítulo 5, tópico 5.4.4.

Com relação ao problema da elaboração da *base de formas características*, optou-se pela estruturação da informação em modo estratificado, contemplando-se as diferentes *classes* de *formas* consideradas importantes para a composição do modelo da peça. É fundamental considerar a subdivisão básica adoptada, relacionada com a existência de *classes* de *formas* caracterizadas por diferentes níveis de abstracção associados aos *volumes elementares*. Assim, foram consideradas as *formas elementares* e os *elementos de forma* como *classes* distintas de *formas características* (conforme exposto no Capítulo 3, tópico 3.3.2.1.1), ainda que eventualmente essas possam vir a apresentar uma mesma morfologia. A concepção do modelo deste modo permite ao projectista a utilização de um procedimento menos restritivo na concepção da forma final da peça (se a peça for definida com *formas elementares* em lugar dos *elementos de forma*), ainda que preferencialmente a peça deva ser construída com estes. De qualquer modo, é possível tratar o surgimento da ambiguidade então resultante relativa ao significado geométrico - conforme exposto no Capítulo 4, tópico 4.1.2.

Se os *elementos de forma* não estivessem individualmente representados na *base de formas características*, sempre seria necessário proceder primeiramente à análise da geometria da *forma discreta* a fim de se verificar a possibilidade de vir a tratá-la como uma *forma* a que está associado um *significado de mais alta ordem* em termos de *projecto e fabricação*. Somente após é que seriam efectuados quaisquer raciocínios sobre a mesma. Note-se que esse procedimento de análise da geometria também poderia ser considerado um procedimento de *reconhecimento automático de formas características*, ainda que não seja exactamente aquele referido em literatura (referente à análise efectuada no Capítulo 2).

Observe-se também que a estratificação da informação relativa às *formas características* é essencial para que seja garantida uma distribuição mais racional dessa na *base de dados*. Também fica possibilitada a criação de regras que atinjam grupos maiores de *formas características*, pertencentes a uma mesma *classe*.

Quanto à adopção das *formas explícitas* pelo modelador, deve-se observar que isso constitui uma tentativa de solucionar o problema de restrição na geração da forma final desejada para a peça, inerente à utilização de *bases* com número limitado de *formas características*. E, para além da informação descritiva inerente à geometria de uma *forma explícita*, o modelador permite também o armazenamento de informação utilizável na averiguação das características geométricas da *forma* (conforme discutido no Capítulo 3, tópico 3.3.2.1.1). Isso permite, em certo nível, a manutenção da capacidade de raciocínio e predição sobre as características da peça, mesmo com a utilização de *formas explícitas* na composição de seu modelo geométrico. Observe-se que esse recurso contorna a desvantagem surgida com a opção pela utilização de *bases de formas características* com número eventualmente limitado de *formas implícitas*.

A representação de *chanfros e concordâncias* através de sólidos permite que o formalismo adoptado no modelo seja mantido também para essas *classes* de *formas características*, pois essas serão

igualmente consideradas *volumes elementares*. Isso difere de conceitos apresentados em outros trabalhos⁷², em que chanfros e concordâncias são tratados como entes desprovidos de propriedades volumétricas, sendo considerados apenas *operadores de modificação* das *formas características*. Pela formulação adoptada, as superfícies dos chanfros e das concordâncias poderão igualmente conter especificações de rugosidade superficial - informação genericamente necessária à análise de projecto. Além disso, os volumes, conforme definidos, também corresponderão a operações específicas e diferenciadas de fabricação, o que é necessário para a selecção do processo de fabricação. Como os chanfros e as concordâncias somente podem ser incorporados ao modelo geométrico da peça se *formas* de outras *classes* já estiverem presentes, continuarão a estarem condicionadas à pré-existência de outras *formas*.

Finalmente, observe-se que também a possibilidade de utilização das *formas agregadas* no modelo contribui para aumentar a gama de opções relativamente à representação de peças em maior nível de abstracção, ao tornar possível referir-se ao *arranjo de formas características*, o qual possui um significado em termos de projecto que extrapola o das *formas* componentes individualmente consideradas.

6.1.2. Análise sobre a utilização dos procedimentos de apoio ao *Projecto Orientado à Fabricação*.

Os procedimentos relacionados com a aplicação do *Projecto Orientado à Fabricação* ao *Projecto Assistido por Computador* foram seleccionados de modo a permitirem a sua aplicação na análise automática do projecto por parte do utilizador, não constituindo apenas ferramentas de *Instrução Assistida por Computador*. Tendo este objectivo em vista, foram escolhidas as três abordagens apresentadas nesta investigação, relacionadas com a *Tecnologia de Grupo*, a *selecção de processos* de fabricação e com a aplicação de *recomendações* específicas para o projecto de componentes mecânicos consoante a especificação do processo de fabricação. Essa escolha deveu-se a que essas abordagens foram consideradas as mais apropriadas para a viabilização da análise pretendida, dentro da perspectiva desejada.

A idéia básica subjacente à actividade de experimentação foi a de procurar demonstrar a exequibilidade de um sistema computacional que permitisse a análise de projecto em simultâneo com a utilização de um sistema de *Projecto Assistido por Computador*, baseada no *Projecto Orientado à Fabricação*, concretizando um passo importante para a viabilização da implementação da *Engenharia Concorrente* no ambiente industrial. Mas um segundo objectivo perseguido foi o de avaliar de que modo a utilização de uma plataforma para o *Projecto Assistido por Computador* baseada na *Tecnologia das Características* poderia afectar a elaboração dos procedimentos relacionados com o *Projecto Orientado à Fabricação*. Portanto, o desenvolvimento da aplicação desses procedimentos dentro da investigação esteve baseado também na tentativa de se tentar tirar partido do *modelo de representação da informação* na forma mais adequada e optimizada possível. Assim, o desenvolvimento das abordagens em *Projecto Orientado à Fabricação* não se limitou à repetição da aplicação de procedimentos conhecidos.

Observe-se que a concepção de um sistema nas bases acima propostas viabiliza a implementação computacional de um segundo modo de conexão entre o *Projecto Assistido por Computador* e a *Fabricação Assistida por Computador* (conforme ilustrado pela figura 2.16 e analisado no Capítulo 2, tópico 2.7.1). Note-se que, enquanto que o *Planeamento de Processos* caracteriza-se por levar a informação da área de *projecto* para a de *fabricação*, o *Projecto Orientado à Fabricação* estabelece o fluxo no sentido inverso, possibilitando assim completar o *ciclo de informações* entre o *projecto* e a *fabricação*. E, considerando-se a proposta contida neste trabalho, demonstra-se que tal ligação pode ser implementada de modo eficiente ao nível computacional.

6.1.2.1. Análise sobre os procedimentos relacionados com a *Tecnologia de Grupo*.

Os procedimentos relacionados com a *Tecnologia de Grupo* desenvolvidos nesta investigação utilizam a abordagem orientada à *recuperação de projectos por critérios de similaridade*. A aplicação desses é viabilizada tanto pela utilização das *funções de consulta à base de dados do modelo* (Capítulo 4, tópico 4.2.2.2), como pela consulta a um *sistema de classificação e codificação* especificamente elaborado (mesmo capítulo, tópico 4.2.2.1). Essa duplicidade de alternativas baseia-se em que, se uma parte considerável da informação usualmente representada nos sistemas conhecidos de classificação e codificação encontra-se documentada em modo explícito no *modelo de representação da informação*, então pode-se prescindir de sua representação também através desses sistemas - desde que existam funções que permitam a consulta à informação armazenada na *base de dados*. Demonstrou-se a utilização de funções desse género através dos exemplos apresentados no Capítulo 5, tópicos 5.3 e 5.3.1.

O *sistema de classificação e codificação* elaborado procurou representar certa parcela de informação que pudesse ser utilizada para fins de *recuperação de projectos* baseada em *critérios de similaridade*. Observe-se que essa representação não teve por objectivo esgotar as possibilidades de elaboração e utilização dessa ordem de critérios, mas apenas demonstrar como a elaboração de um sistema de classificação e codificação pode ser útil à análise de *projecto* valendo-se no embasamento do modelo proposto, fundamentado na *Tecnologia das Características*. Assim, criou-se um sistema orientado à análise da geometria da peça discreta, baseado na avaliação dos *tipos* de suas *formas características* constituintes e na configuração de *simetria* apresentada pela peça, procurando-se aproveitar as características do modelador geométrico. Deve-se enfatizar, ainda, que a utilização de outros sistemas de classificação e codificação sobre o modelo introduzido permanece igualmente exequível.

A utilização dos procedimentos relacionados com a aplicação da *Tecnologia de Grupo* apresentados nos Capítulos 4 e 5 demonstra ser possível efectuar a consulta à informação armazenada na *base de dados* do modelo e obter a *recuperação de projectos por similaridade*, mesmo em casos em que as peças discretas difiram apenas por pequenos detalhes em sua constituição geométrica. Portanto, demonstra-se que a utilização dessa ferramenta de análise do *projecto* pode ser eficientemente implementada utilizando-se procedimentos adequados para a consulta à *base*, em paralelo com a

utilização de um sistema de classificação e codificação que efectivamente tire proveito das características do modelador geométrico proposto.

Com a experimentação efectuada, verificou-se também que a utilização da descrição da peça baseada na *Tecnologia da Características* pode facilitar a criação de sistemas de classificação e codificação de peças. Isso irá ocorrer se as *características* constituintes das peças estiverem adequadamente classificadas em modo hierárquico no modelo, pois assim torna-se possível classificar as peças consoante as *classes de formas características* que compõem o seu modelo geométrico. O volume de informação a ser representada nos códigos também pode ser minimizado, pois apenas a informação não armazenada em modo explícito na *base de dados* será representada pelo código.

6.1.2.2. Análise sobre os procedimentos relacionados com a *selecção de processos* de fabricação.

A *selecção de processos* de fabricação esteve presente nesta investigação como um dos elementos relacionados com a aplicação do *Projecto Orientado à Fabricação* ao *Projecto Assistido por Computador*, vista que a aplicação das *recomendações de projecto* supõe o conhecimento prévio do processo de fabricação da peça. Como o propósito desta investigação é avaliar a hipótese de criação de um sistema computacional que possa ser utilizado basicamente pelo *projectista* (e não pelo *engenheiro de processos*), cabe oferecer àquele todos os recursos necessários também à pré-definição do processo de fabricação da peça - na medida do necessário. Observe-se que frequentemente não se pode contar com que o *projectista* tenha conhecimentos suficientes para efectuar essa necessária pré-definição de processo.

A abordagem proposta neste trabalho consiste em oferecer um conjunto de possibilidades de aplicação de processos de fabricação à obtenção de cada *forma característica* da peça, ordenados pelas probabilidades de sua utilização, que variam consoante a *classe* da *forma* em análise, sendo afectadas também pela *forma geral* da peça.

A análise referente à *selecção de processos* de fabricação limitou-se ao domínio dos processos de *maquinação*. Esta *classe de processos* foi escolhida devido a que a relação entre a obtenção de uma *forma característica* e o processo tecnológico utilizado na sua geração é, em geral, mais facilmente identificável do que nas demais classes (*fundição* e *enformação*). De qualquer maneira, em linhas gerais, o procedimento apresentado também poderia ser aplicado a essas *classes*.

Procurou-se demonstrar unicamente a possibilidade de aplicação de um procedimento geral para a *selecção* de processos que contemplasse o estritamente necessário ao seguimento da análise do *projecto*. Por isso, não foi necessário criar o *plano de processos* completo para a peça discreta em análise, mas apenas restringir-se à aquisição de uma previsão sobre as operações de fabricação a serem utilizadas. Estabeleceram-se procedimentos baseados na análise de uma *forma característica* por vez, em paralelo com a definição do *tipo* de máquinas potencialmente utilizáveis no processo de fabricação. Essa abordagem é suficiente para a análise do processo de fabricação, pois, se a peça for torneável, procurar-se-á executar todas as operações de fabricação no torno (e, em caso contrário, em máquinas em que a peça de trabalho não é movimentada ao ser trabalhada). Basicamente são esses os dois *tipos*

de máquinas utilizadas para a produção de uma peça por *maquinação* (a análise referente ao *tipo* de máquinas é discutida no Capítulo 4, tópico 4.3.1).

De acordo com a análise apresentada no Capítulo 4, fica patente que a escolha das operações de fabricação é condicionada basicamente por três factores: a *forma geral* da peça; a *geometria* das *formas características* (morfologia, dimensionamento e toleranciamento); e o *encadeamento de operações* previsto no *plano de fabricação* da peça. Os procedimentos estudados nesta investigação concentraram-se na análise dos dois primeiros aspectos, pois o último está mais relacionado com a definição de *planos de processos* completos, o que não constitui objectivo deste trabalho.

A análise sobre a *forma geral* da peça pressupõe a existência de algum conhecimento sobre as *formas características* presentes em seu modelo geométrico e do modo como tais *formas* estão dispostas, um factor que contribui para a definição da configuração da peça. Basicamente esse conhecimento foi representado através do sistema de classificação e codificação relacionado com a *selecção de processos* introduzido no Capítulo 4, tópico 4.3.2. Essa classificação foi orientada também de modo a serem conhecidos todos os principais factores capazes de influenciarem a opção por um dos dois *tipos* de máquinas utilizáveis na fabricação das peças, tendência essa avaliada pelo *índice de torneabilidade* da peça - conforme definido no tópico 4.3.3.1, Capítulo 4.

A avaliação do *índice de torneabilidade*, conforme proposta, é fundamental para a realização dos procedimentos de *selecção de processos*, pois a sua estimativa afecta a *medida da confiança* resultante da aplicação das regras de selecção baseadas em *lógica inexacta* (no modo com que a mesma é utilizada neste trabalho - ver Apêndice A). Assim, deve-se considerar que o nível de exigência imposto aos procedimentos de cálculo desse índice está directamente relacionado com a expectativa sobre as conclusões resultantes da aplicação desses procedimentos. Logo, qualquer discussão relacionada com o modo de cálculo ou a aplicabilidade do *índice* deve, em princípio, estar restrita à avaliação dos resultados obtidos pela sua utilização nesses procedimentos.

A esse respeito, deve-se notar que a avaliação do *índice* demonstrou possuir a necessária consistência, conforme demonstrado pelos exemplos apresentados nos Capítulos 4 e 5 (nos tópicos 4.3.3.2.1 e 5.4), em que foram apresentados respectivamente estimativas do valor do *índice* e posteriormente a sua aplicabilidade à selecção de processos para peças de geometrias significativamente diversas. Os resultados obtidos referem-se à análise de peças discretas de *forma geral* bastante diversificada. Considerando-se a certeza relativa a ser conferida a conclusões obtidas através da utilização de procedimentos baseados na *lógica inexacta*, pode-se afirmar que o *índice* reflecte de maneira aceitável a avaliação sobre a *forma geral* da peça. Esse mesmo nível de certeza deve também ser atribuído à análise dos procedimentos relacionados com a *selecção de processos* apresentados.

Observe-se ainda que, evidentemente, a análise da tendência à utilização de um determinado *tipo* de máquinas poderia ter sido efectuada de outro modo, desde que este também demonstrasse ser consistente. Contudo, a questão fundamental que se impõe com relação à análise realizada nesta investigação tem a ver com a avaliação da capacidade demonstrada pelo *modelo de representação do conhecimento* em efectuar a escolha de processos e, quanto a isso, pode-se afirmar

que os resultados obtidos demonstraram a validade do procedimento adoptado, considerando-se a análise dos diversos casos apresentados.

A aplicação das regras de *selecção de processos* procurou demonstrar a exequibilidade de uma abordagem eficiente relativamente a esse tópico, não se procurando obter um conjunto suficientemente abrangente de regras a ponto de poder ser eficazmente utilizado na escolha de processos no domínio da *maquinação*. Evidentemente a utilização de um conjunto de regras com maior nível de pormenorização e que manipulem maior volume de informação será capaz de atender de modo mais adequado ao requerido para a *selecção de processos*, em termos gerais. Porém, deve-se efectivamente considerar a possibilidade de que os procedimentos elaborados para a análise em *selecção de processos* possam vir a constituir uma base fiável para uma primeira aproximação à definição do *plano de fabricação* da peça, servindo à elaboração de sistemas dirigidos ao *Planeamento de Processos Assistido por Computador*. Nesta perspectiva, um dos problemas principais a serem abordados na sequência seria o da ordenação das operações de fabricação.

6.1.2.3. Análise sobre os procedimentos relacionados com as *recomendações de projecto*.

As regras relacionadas com as *recomendações de projecto* são compiladas a partir da experimentação, constatados os problemas usualmente verificados na adequação do projecto de peças à utilização dos processos escolhidos para a sua fabricação. O conjunto dessas regras constitui uma parcela de conhecimento fragmentado e de difícil formalização e estruturação sobre o *projecto mecânico*. Deste modo, a representação desse conhecimento baseado em métodos providos pela *Inteligência Artificial* torna-se adequada, tendo sido adoptada neste trabalho, sob a forma de elaboração de um protótipo de *sistema pericial*. Eventualmente a representação desse conhecimento poderia ter sido baseada em formas diferentes das utilizadas (as *bases de regras* e as *bases de factos*) - como, por exemplo, em *lógica inexacta*. Porém, o objectivo central na elaboração destes procedimentos era simplesmente o de verificar a capacidade de provimento da informação pelo modelo para fins de utilização na análise sobre as *recomendações de projecto*. As demonstrações efectuadas no Capítulo 5 validaram plenamente o *modelo de representação da informação* concebido, pois demonstraram ser possível serem detectadas falhas de projecto.

Os tópicos mais comumente referidos pelas regras referentes às especificações de projecto foram analisados neste trabalho, como as análises relativas à *existência e posição de formas características*, ao *dimensionamento das formas*, à especificação de *tolerâncias* em peças discretas (*tolerâncias dimensionais, tolerâncias geométricas* e especificações de *rugosidade superficial*); à especificação de *atributos físicos* das peças discretas; à *selecção de materiais* de construção; às possibilidades de utilização dos *recursos de produção* existentes na fábrica. Diversos exemplos referentes a essas análises foram apresentados no Capítulo 5 (iniciando-se no tópico 5.5), demonstrando que a informação necessária à execução da análise pretendida é efectivamente representada no modelo, e que é possível prescindir da intervenção humana ao longo da execução dessa análise.

6.1.3. Análise sobre a implementação do protótipo computacional.

O protótipo de sistema computacional elaborado destinou-se à implementação do *modelo de representação da informação* na forma prevista para o assim denominado *módulo textual*, para além da implementação do *modelo de representação de conhecimento* relacionado com o *Projecto Orientado à Fabricação*. Esta implementação foi baseada na utilização de técnicas de *Inteligência Artificial* e de *Engenharia do Conhecimento*, devido à natureza do conhecimento modelado. A estruturação dos principais entes concebidos na definição do *modelo de representação da informação* foi efectuada através da utilização de uma *base de dados orientada por objectos*.

A opção por essas formas de modelação do conhecimento e da informação demonstrou-se bastante eficiente e apropriada. A aplicação da *lógica inexacta* ao desenvolvimento dos procedimentos relacionados com a *selecção de processos* de fabricação, por exemplo, foi especialmente relevante. Também a programação dos procedimentos relacionados com as *recomendações de projecto* (conhecimento modelado através de *bases de regras* e de *bases de factos*) e com a *Tecnologia de Grupo* (funções de consulta à *base de dados*) foram facilitados pela utilização das formas de representação do conhecimento utilizadas.

Como características principais advindas da implementação efectuada sobre a *base de objectos*, obteve-se o seguinte: uma *base de dados* contendo menor volume de informação repetitiva, e que permite a execução da consulta em modo mais eficiente; a possibilidade de definir uma regra para toda uma *classe de objectos*, e a elaboração de uma classificação implícita das entidades representadas na árvore, útil para a execução da análise relacionada com a aplicação da *Tecnologia de Grupo*.

Com relação à plataforma utilizada para o desenvolvimento do protótipo de sistema computacional, constatou-se ser pouco adequada em termos de desempenho. Isso se refere tanto ao "*hardware*" (microcomputador da classe *PC*), como ao "*software*" de base utilizado (o *Intelligence Compiler*), ainda que os recursos para a modelação da informação e do conhecimento apresentados por este possam ter sido considerados satisfatórios.

Ainda com relação ao mesmo tópico, observe-se que, no princípio do desenvolvimento da parte experimental da investigação, não havia ainda a disponibilidade de plena utilização de linguagens computacionais mais adequadas, como as providas pelo *STEP (Standard for Exchange of Product Data) - Express*, para a modelação textual, e *Express-G*, para a modelação gráfica. Assim, não foi possível cogitar sua utilização; contudo, deve-se observar que o objectivo da investigação consistia na *elaboração* de um modelo para representação da informação, não sendo compulsória a avaliação das suas possibilidades de implementação neste estágio de desenvolvimento da pesquisa. Observe-se que inclusivamente pode-se considerar que os resultados obtidos por esta investigação geraram algum subsídio para utilização por parte dos grupos de trabalho responsáveis pela manutenção e desenvolvimento do *STEP*.

6.2. Conclusões sobre a investigação.

A investigação realizada permitiu concluir que os sistemas para *Projecto Assistido por Computador* podem efectivamente ser beneficiados pelo seu embasamento na *Tecnologia das Características*. Evidencia-se que, pela sua utilização, tais sistemas poderão incorporar alguma capacidade de assistência à actividade do projectista que não está restrita à construção do desenho das peças. De facto, o projectista efectivamente passa a contar com algum nível de análise automática do projecto embutida no próprio sistema computacional, como a provida pelo *Projecto Orientado à Fabricação*.

Em termos da elaboração de sistemas computacionais fiáveis baseados nessa estratégia, deve-se observar que o desafio reside em ser obtida a *modelação da informação* relacionada com o *projecto* de peças satisfatoriamente, para além da *representação do conhecimento* relativo à *análise de adequação* do projecto em modo adequado. Esta investigação apresentou algumas soluções viáveis para ambos os problemas, tendo sido apresentado um esquema de *modelo de representação da informação* de utilização genérica.

A *representação do conhecimento* relacionado com a análise de projecto é condicionada pelo seu próprio universo de aplicação, sendo, portanto, de aplicação naturalmente menos genérica. Demonstrou-se que, utilizando um modelo de representação da informação adequadamente concebido, pode-se efectuar de forma eficiente a análise de projecto. Desta forma, espera-se que a utilização de modelos de representação da informação e do conhecimento baseados em critérios semelhantes aos propostos neste trabalho possam vir a ser utilizados para o desenvolvimento de ferramentas utilizáveis a operarem eficazmente sobre os sistemas para *Projecto Assistido por Computador*.

6.2.1. A consecução dos objectivos principais da investigação.

A actividade de investigação exposta nesta dissertação teve como objectivo fundamental avaliar as possibilidades de ser viabilizada a aplicação de alguns tópicos fundamentais relacionados com o *Projecto Orientado à Fabricação* ao *Projecto Assistido por Computador*. A importância da consecução deste objectivo reside na elaboração de um ambiente computacional adequado para a implementação assistida da *Engenharia Concorrente* ao nível industrial.

Neste sentido, pode-se concluir que é efectivamente possível a aplicação do *Projecto Orientado à Fabricação* ao *Projecto Assistido por Computador*, caracterizada pela disponibilização da experiência e do conhecimento acumulados referentes ao projecto ao longo de sua especificação. Observe-se que isso ocorre sem que se restrinja a aplicação desse conhecimento apenas a uma perspectiva de utilização meramente *instrucional* (como ocorre nos sistemas de *Instrução Assistida por Computador*), pois o protótipo de sistema computacional implementado demonstra ser possível a utilização do mesmo de modo *automático* e transparente por parte do projectista.

Para que esse objectivo possa ser atingido, é necessário conceber uma plataforma adequada para a estruturação da informação referente ao projecto de peças mecânicas no sistema de *Projecto*

Assistido por Computador, o que pode ser alcançado utilizando-se a *Tecnologia das Características*. Para tanto, é necessário que seja estabelecida uma abordagem adequada, voltada à solução de alguns problemas fundamentais advindos de sua utilização. Também é necessário estruturar convenientemente o conhecimento relacionado com os diversos tópicos constituintes do *Projecto Orientado à Fabricação*, objectivando o melhor aproveitamento da informação provida pelo sistema de *Projecto Assistido por Computador* elaborado com base nessa tecnologia. Esta foi a estratégia adoptada dentro desta investigação, tendo sido demonstrada a sua viabilidade dentro dos objectivos propostos no Capítulo 2, tópico 2.7.1.

O modelo concebido para a representação da informação necessária à análise do projecto de peças mecânicas segundo a perspectiva de aplicação do *Projecto Orientado à Fabricação* permitiu a adopção de uma abordagem de utilização mais genérica dentro da *Tecnologia das Características*, obtida pela utilização do método de *síntese de volumes elementares* em vez do método de *reconhecimento de formas características*. Para que essa abordagem fosse viabilizada, foi necessário introduzirem-se algumas inovações, destacando-se aquelas relacionadas com a análise da topologia das peças.

Ainda com relação às questões básicas levantadas na proposição dos objectivos da investigação, verificou-se ser absolutamente viável a aplicação de técnicas de *Inteligência Artificial* à implementação do modelo e à elaboração de procedimentos relacionados com o *Projecto Orientado à Fabricação*.

6.2.2. Contribuições específicas do trabalho.

Neste tópico, serão enfatizados aqueles aspectos do trabalho que constituem contribuições mais específicas para a investigação em curso na área, observando-se que a própria característica de aplicabilidade do sistema computacional elaborado é relevante em termos de concepção de sistema computacional orientado ao desenvolvimento do *projecto mecânico*. Isso deve-se a ter sido atingido o objectivo de se elaborarem as bases para um modelo de sistema direccionado à assistência ao *projecto* baseado na *análise de adequação* desse às condições para a sua *fabricação*.

É igualmente relevante o *enfoque* dado à aplicação da análise pretendida, caracterizado pela *actuação automática* sobre a estrutura de informação existente, ao contrário do procedimento convencional de se oferecerem *instruções* pré-determinadamente armazenadas, rotineiramente apresentadas ao utilizador do sistema. Um outro aspecto distinto a ser considerado, em termos da concepção do sistema computacional, diz respeito à generalidade do *modelo de representação da informação* elaborado, que, por ter sido assim criado, não está restrito a domínios ou contextos específicos de aplicação.

Em termos da abordagem utilizada, pode-se dizer que, de um modo geral, a perspectiva de utilização do *método de síntese de volumes elementares* na forma apresentada neste trabalho também possui aspectos distintos. Especialmente o tratamento do problema da representação adequada da *topologia* da peça é absolutamente inovador, tendo-se recorrido à introdução do ente denominado

elemento de união entre formas características no modelo. Deve-se notar que a adopção desse mecanismo de representação explícita a *conectividade* e as *relações de adjacência* entre as *formas características* numa peça, bem como o *estado das superfícies* constituintes das mesmas. Isso, combinado com a informação sobre a *posição e alinhamento relativos* das *formas*, permitiu que fosse efectivamente descrita a estrutura e a configuração da peça discreta, viabilizando a análise de projecto e de fabricação sob o ponto de vista geométrico. Facilitou-se também a própria manipulação da informação de natureza geométrica ao nível do próprio modelador de peças.

Também o problema da geração de *formas características* sem definição canónica recebeu tratamento específico neste trabalho, através da geração de volumes configurados explicitamente. E, dentro do acesso à utilização dessas *formas explícitas*, o modelo prevê especificamente mecanismos que permitem também a geração de *formas* por intersecção entre os *volumes elementares*. Manteve-se, assim, a mesma capacidade de geração de geometrias obtida pela *intersecção* entre volumes apresentada por modeladores geométricos que permitem a livre intersecção entre volumes. Mas conseguiu-se evitar a indesejável perda total ou parcial do significado associado às *formas* geradoras determinado por essa *interacção geométrica*, um problema cujo tratamento constituía um problema não satisfatoriamente resolvido com relação à utilização de *bases de formas características*.

Observando-se a lista de requisitos para a construção de modeladores geométricos embasados na utilização da *Tecnologia das Características* (exposto no Capítulo 2, tópico 2.3), conclui-se que esta investigação atingiu também seus objectivos mais específicos, pois o modelo aqui introduzido apresenta as seguintes características gerais:

- a) é capaz de prover um conjunto suficientemente completo e significativo de *formas características* para o desenvolvimento do projecto de peças ou de procedimentos para a sua análise;
- b) prevê a utilização de *formas características* não pré-definidas canonicamente;
- c) trata o problema da *ambiguidade* na configuração da peça criada com *formas* de mesmas geometrias e de diferentes significados associados;
- d) trata o problema das *interacções geométricas* em que se perde total ou parcialmente o significado associado às *formas características* envolvidas;
- e) trata o problema da definição de uma maneira adequada de representação da *topologia* da peça sem recorrer à utilização de *relações de dependência* de natureza hierárquica desnecessárias entre as *formas características*.

Observe-se que, para além dessas soluções, o *modelo de representação da informação* possui ainda outras características distintas fundamentais, como as de permitir:

- a) a representação descritiva e em modo explícito da informação de carácter não-geométrico sobre as peças em modo automaticamente recuperável;
- b) a utilização de um mesmo formalismo para a representação de *peças discretas* e de *peças discretas agrupadas* baseado na *Tecnologia das Características* (observando-se que essa concepção será fundamental para a viabilização da análise em *Projecto Orientado à Montagem*);
- c) o reconhecimento da configuração final obtida para a peça discreta (avaliação da *forma geral* da peça discreta).

Assim sendo, constata-se que todos os problemas principais levantados no estudo do *estado da arte* sobre os temas em estudo foram alvo de análise nesta investigação, tendo sido encontradas soluções satisfatórias para os mesmos, considerando-se a demonstração de resultados e a discussão geral do trabalho apresentadas.

6.2.3. Tópicos para a continuidade da investigação nos temas deste trabalho.

Um primeiro aspecto importante a ser considerado com relação ao seguimento da actividade de investigação relativa à concepção do *modelo de representação da informação* proposto diz respeito à averiguação da exequibilidade de elaboração e implementação de uma interface gráfica adequada para a modelação geométrica das peças. Evidentemente essa tarefa demandaria esforços que extrapolariam os objectivos desta investigação, não tendo sido, por isso, realizada. Porém, deve-se notar que o desenvolvimento do modelo foi feito, tanto quanto possível, independente da implementação da parte gráfica do modelador. Assim, por exemplo, procurou-se fazer que o *encadeamento* espacial das *formas características* pudesse ser livremente implementado no *módulo gráfico*, sem trazer quaisquer consequências para a consistência e a manipulação da informação geométrica no modelo ao nível do *módulo textual*.

Um aspecto também relacionado com esse tópico, a ser especialmente observado futuramente, é a evolução dos modelos de representação da informação e padrões de comunicação entre sistemas para o *Projecto Assistido por Computador* (como o *STEP* - ver Capítulo 2, tópico 2.5). O desenvolvimento desses modelos e o estabelecimento de normas adequadas para a concretização da padronização inerente ao conteúdo e à forma de representação da informação deverão viabilizar o desenvolvimento de produtos efectivamente utilizáveis. As linguagens contidas nessas propostas poderão vir a serem utilizadas para a modelação da informação tanto em modo textual, quanto em modo gráfico. Contudo, o problema da impossibilidade de se representar integralmente a informação contida num modelo (ou mesmo o de transferi-la de um sistema para outro, conforme mencionado na análise do *estado da arte*), deve ser analisado com a necessária cautela, a fim de que a utilização do *STEP* possa vir a ser mais eficazmente viabilizada.

Uma observação importante a ser feita com relação à utilização da abordagem baseada na utilização de *bases de formas características* diz respeito à possibilidade de que, em princípio, apliquem-se procedimentos relacionados com o *reconhecimento de formas* aos modelos geométricos de peças criados com este modelador. Neste caso, poder-se-ia divisar a adopção de um procedimento híbrido, fundamentado na construção da peça através do modelador geométrico baseado na utilização de *bases de formas características* e no método de *síntese de volumes elementares*, posteriormente inspeccionado por um procedimento de *reconhecimento de formas características* orientado à averiguação de alguns casos específicos, como a análise da configuração de *formas explícitas*. Observe-se que o procedimento destinado ao tratamento de ambiguidade na representação de *formas características* apresentado neste trabalho (ver tópico 4.1.2) está, de certo modo, relacionado com essa abordagem híbrida. Esta é uma hipótese a ser futuramente investigada no campo da pesquisa relacionada com os sistemas de *Projecto Assistido por Computador* baseados na *Tecnologia das Características*.

Mesmo considerando-se essa hipótese de concepção de procedimento híbrido, permanece a preponderância da utilização de modeladores baseados no método de *síntese de volumes elementares* como ponto de partida para a concepção dos sistemas de *Projecto Assistido por Computador*. Essa

necessidade justifica-se pela não-universalidade de utilização do procedimento de *reconhecimento de formas características* contra a universalidade de utilização da outra abordagem.

Quanto à existência de outras possibilidades de aplicação do modelo concebido para esta investigação, considere-se que, para além da representação das peças - principal objecto de atenção em sua elaboração -, outros entes necessários à análise do projecto sob a perspectiva enfocada neste trabalho foram representados: *materiais, processos e máquinas* empregados na fabricação. Apesar da modelação desses elementos ter estado basicamente restrita às necessidades impostas pela investigação levada a cabo, deve-se observar que a estrutura concebida para os mesmos permite, em princípio, a sua utilização também no desenvolvimento de outras aplicações do modelo, como, por exemplo, o desenvolvimento da análise em *Planeamento de Processos*. Observe-se que a obtenção de uma base fiável também para o possível desenvolvimento da investigação noutras áreas proximamente relacionadas com o *Projecto Assistido por Computador* e com o *Projecto Orientado à Fabricação* constituiu uma meta secundária observada ao longo do desenvolvimento do modelo.

A existência das entidades representativas da *forma comercial do material* é importante para o estudo do *planeamento de processos*, pois as denominadas *características de maquinação*, utilizadas nessa análise, podem ser facilmente encontradas ao se efectuar a operação de *diferença lógica* entre a *forma comercial de material* seleccionada e parametrizada e o *modelo geométrico da peça* a ser fabricada. Também a modelação das *máquinas* pode ser melhor detalhada para servir à análise em *planeamento de processos*, podendo também o conteúdo das entidades representativas das *operações de fabricação* vir a ser adaptado com o mesmo objectivo.

Ainda em termos da utilização deste *modelo de representação da informação* (e, em especial, do modelador geométrico), deve-se notar que o formalismo adoptado para a descrição de *peças discretas* e de *peças discretas agrupadas* permite antever a potencialidade de sua utilização na análise em *Projecto Orientado à Montagem*. Contudo, é previsível que o modelo teria de sofrer algumas adaptações, como, possivelmente, a incorporação de noções sobre a *funcionalidade* dos componentes, a ser explicitamente descrita e armazenada. Isso será fundamental para que o modelo possa permitir a verificação do *número* e da *sequência de montagem* de componentes, bem como a necessidade de utilização de cada peça, o que é essencial para a análise de montagens.

Finalmente, utilizando-se também noções sobre a *funcionalidade* dos componentes, existe a possibilidade de que o modelo aqui introduzido possa ser utilizado como base para a investigação relacionada com o desenvolvimento de *metodologias* para o *projecto de componentes mecânicos*. A existência do mecanismo de representação da conectividade entre as *formas características* e das ligações entre os *componentes*, conforme proposto nesta investigação através da introdução do ente denominado *elemento de união entre formas características*, pode ser utilizada como suporte à análise funcional dos componentes. Esse tema tem sido alvo de investigação actualmente em curso^{107,123}. Neste contexto, observe-se que também a existência de um vínculo entre a forma e a função do componente mecânico poderá vir a ser efectivamente apoiada pela utilização da *Tecnologia das Características*¹²⁴.

Apêndice A

A. Considerações sobre a Aplicação das Técnicas de Inteligência Artificial no Contexto da Investigação.

A.1. A utilização de técnicas de *Inteligência Artificial* na implementação do protótipo computacional.

O protótipo computacional desenvolvido para experimentação e validação dos conceitos propostos nesta investigação foi implementado com o concurso de técnicas de *Inteligência Artificial*, pelas razões apresentadas e discutidas no Capítulo 2 (tópico 2.4). A *base de dados* elaborada é *orientada por objectos*, e as regras criadas baseiam-se na *lógica de predicados*, utilizando tanto a *lógica exacta* como a *lógica inexacta*.

A utilização de técnicas de *Inteligência Artificial* frequentemente está associada ao desenvolvimento de sistemas computacionais relacionados com a *Engenharia de Conhecimento*, que foi a ferramenta fundamentalmente presente no desenvolvimento da investigação efectuada. A criação de um sistema computacional baseado em *Engenharia do Conhecimento* normalmente conduz à elaboração de *sistemas periciais*, que se caracterizam por serem compostos por três elementos distintos: a *interface de comunicação* com o utilizador, a *base de conhecimento* e a *máquina de inferência*.

Pode-se considerar que o sistema computacional cuja estrutura foi introduzida nesta investigação é um *sistema pericial* em que a *interface de comunicação* com o utilizador é composta por dois *modos de interacção* com o utilizador, *textual* e *gráfico* (conforme discutido no Capítulo 4, tópico 4.1). A interface gráfica deve ser suportada por um subsistema computacional que permita a elaboração do desenho de maneira semelhante aos sistemas de *Projecto Assistido por Computador* disponíveis no mercado.

O interesse básico desta investigação concentrou-se na elaboração e validação de uma *base de conhecimento* dedicada ao *Projecto Orientado à Fabricação*, e, assim, procurou-se minimizar o esforço computacional despendido com o desenvolvimento de *interfaces de comunicação* e da *máquina de inferência*. Por isso, buscou-se a utilização de ferramentas computacionais capazes de permitirem a implementação de *sistemas periciais* de maneira facilitada, em que apenas o desenvolvimento das *bases de conhecimento* deve ser efectuada, oferecendo mecanismos de apoio à elaboração de interfaces, para além da existência da *máquina de inferência*.

A seguir serão comentadas algumas das principais características do ambiente computacional utilizado na implementação do protótipo elaborado para a investigação, limitando-se ao essencial para a compreensão do trabalho realizado e para o estudo do Apêndice E, que contém a listagem das *bases de regras* e das *bases de factos* criadas.

A.2. Introdução ao ambiente para implementação do protótipo computacional

A ferramenta escolhida para implementação do protótipo computacional desenvolvido foi o *Intelligence Compiler* versão 3.0 (consulte-se a documentação existente sobre o sistema computacional¹²⁵), que é um ambiente para desenvolvimento de sistemas computacionais especificamente concebido para a criação de *sistemas periciais*, suportando a utilização de diferentes técnicas de representação do conhecimento, a compilação e o armazenamento do mesmo, para além da elaboração de interfaces de comunicação textuais. Não se trata, portanto, de uma linguagem de programação (como *Prolog* ou *LISP*), mas de um ambiente em que os *mecanismos de inferência* são fornecidos e em que se pode efectuar o desenvolvimento de interfaces amigáveis para comunicação em modo textual.

Esse ambiente computacional foi concebido para a execução em micro-computadores baseados nos microprocessadores da família *Intel 80286/80386/80486*, permitindo a construção de *sistemas periciais* baseados em diferentes *paradigmas* de programação, como a *programação baseada em regras*, a *programação orientada por objectos*, a *programação baseada em lógica* e a *programação sequencial* (através da ligação com a linguagem *C*).

Uma das formas de representação do conhecimento providas pelo *Intelligence Compiler* baseia-se na *lógica de predicado*, em que *factos* e *regras de produção* são descritos através de *predicados* e *sentenças lógicas*. Para efeito de utilização em *lógica inexacta*, os *factos* podem ter associados a si um *factor de confiança*.

No texto, os nomes de predicados sempre irão aparecer sublinhados, e os nomes daqueles que são pré-definidos pelo *Intelligence Compiler* aparecerão também *grifados* (o mesmo sendo válido para as *palavras reservadas* do mesmo). Observe-se ainda que a *lógica proposicional* também é utilizada pelo *Intelligence Compiler*.

A *programação baseada em regras* utiliza conjuntos de *regras de produção* baseadas no *encadeamento para frente* e no *encadeamento para trás*. Esses termos são referidos em literatura em *língua inglesa* respectivamente como "*forward chaining*" e "*backward chaining*"⁷¹. Também é utilizada a *lógica inexacta*, podendo esses três tipos de regras serem livremente combinados. As regras com *encadeamento para frente* possuem a forma geral apresentada a seguir:

If <premissa>
then <conclusão>.

As regras com *encadeamento para trás* possuem a seguinte forma geral:

<Conclusão>
If <premissa>.

As regras baseadas em *lógica inexata* possuem a forma geral apresentada a seguir:

CF= N <Conclusão>
If <premissa>,

em que *N* é um inteiro com valor entre 0 e 100 (valor do *factor de confiança*, identificado como *CF*, associado à regra).

Observe-se que as regras são compostas por cláusulas, em que a premissa pode ser constituída por um conjunto de cláusulas e a conclusão possui uma cláusula única. Essencialmente uma cláusula é uma declaração construída com base na *lógica proposicional* ou na *lógica de predicado*.

Observe-se também que existe uma outra *estrutura de dados* provida pelo *Intelligence Compiler* que foi utilizada na criação do protótipo introduzido neste trabalho, que são as *listas*. O conceito de listas aqui utilizado difere do usual em *Informática*, em que essas são definidas como estruturas encadeadas. Na verdade, as listas são simplesmente conjuntos de elementos quaisquer, agregados sem qualquer ordenação implícita.

A *programação orientada por objectos* também é utilizada como uma forma de representação de conhecimento no ambiente de implementação do protótipo computacional. Os *objectos* estão organizados numa estrutura em árvore em que o elemento de raiz é denominado "*Thing*". Todos os demais *objectos* são constituídos pelos seus identificadores, pela indicação dos *objectos* dos quais descendem, e pelos campos que os descrevem. Esses campos podem ter conteúdos a eles associados ou não (neste caso, o conteúdo será "*NO-VALUE*" por defeito). A cada campo também podem ser associados *métodos* a serem disparados automaticamente quando da utilização do mesmo para consulta ou na tentativa de se alterar seu conteúdo. A forma geral dos *objectos* no *Intelligence Compiler* é a seguinte:

Frame: <identificador do *objecto*>

Parent: <identificador do primeiro "*objecto-pai*">

...

Parent: <identificador do último "*objecto-pai*">

Slot: <identificador do nome do primeiro campo> **Value:** <conteúdo do primeiro campo>

If-needed: <nome do predicado disparado se o campo for consultado>

If-added: <nome do predicado disparado se houver tentativa de atribuir conteúdo ao campo>

...

Slot: <identificador do nome do último campo> **Value:** <conteúdo do último campo>

If-needed: <nome do predicado disparado se o campo for consultado>

If-added: <nome do predicado disparado se houver tentativa de atribuir conteúdo ao campo>

No texto, para simplificação da leitura, será utilizada alternativamente uma outra representação dos *objectos*, inteiramente equivalente à acima apresentada, conforme é introduzida a seguir:

Object: <identificador do *objecto*>

Pai: <identificador do primeiro "*objecto-pai*">

...

Pai: <identificador do último "*objecto-pai*">

Campo: <identificador do nome do campo> (= <conteúdo do campo>)

If-needed: <nome do predicado disparado se o campo for consultado>

If-added: <nome do predicado disparado se houver tentativa de atribuir conteúdo ao campo>

Existe uma *relação de descendência* pertinente à *árvore de objectos*, que determina a obrigatoriedade de um determinado *objecto* ser um caso particular daqueles de que descende. Isso pode ser verificado no *Intelligence Compiler* através de alguns predicados *embutidos*, especificamente construídos para permitirem a manipulação da *relação de descendência*, denominados is-a e has-parent. O primeiro predicado permite verificar se um dado *objecto* é descendente de outro (em grau de descendência indeterminado), e o segundo permite verificar se um dado *objecto* é *directamente* descendente de outro. Note-se que esses predicados serão úteis na implementação de funções de manipulação e controlo da *árvore de objectos*, que normalmente não encerram conhecimento específico da área de actuação do *sistema pericial*.

A implicação directa da existência dessa *relação* é de que a construção da *árvore* está condicionada a que os *objectos* são agrupados de modo a que todos os descendentes de um determinado *objecto* sejam, na verdade, casos particulares desse. Portanto, ao se percorrer a *árvore* a partir da *raiz*, deve-se avançar em especificidade em termos do significado atribuído aos *objectos* presentes (e possivelmente em termos da constituição desses também).

Observe-se que existe também uma *relação de herança* inerente à existência da *árvore de objectos*. Assim, um *objecto* herda toda a informação presente em todos os *objectos* de que descende, isto é, os *campos* (e *métodos* e conteúdos a esses associados). Existindo campos identificados pelo mesmo nome que aqueles definidos na sua composição, prevalecerão os conteúdos atribuídos ao nível do *objecto* (se existirem). Caso contrário, serão herdados conteúdos dos *objectos* com os quais exista *relação de descendência*, prevalecendo a descendência mais directa e a ordem de preferência do primeiro para o último "*objecto-pai*" referidos, uma vez que as *bases de objectos* construídas no *Intelligence Compiler* podem utilizar mecanismos de *múltipla herança*.

Observe-se que a existência desse *mecanismo de herança* da informação permite construir *bases de dados* em que a duplicação de informação em elementos (*objectos*) posicionados num mesmo nível pode ser evitada, se todos esses puderem ser criados como descendentes de um elemento que contenha a informação a ser compartilhada. Essa característica torna-se tanto mais importante, quanto maior for o número de elementos a compartilharem a informação.

Note-se também que esse elemento a ser criado poderá ser utilizado em regras que operam sobre o conhecimento utilizado pelo *sistema pericial*, desde que se construam as regras focando esse elemento e que se utilizem posteriormente os predicados de manipulação da *relação de descendência* para que sejam atingidos todos os *objectos* que compartilham a informação comum. Esse compartilhamento de informação implicará, na verdade, um compartilhamento de propriedades, que serão visadas pelas regras de conhecimento.

A.3. Mecanismos de inferência no ambiente de implementação utilizado.

Três diferentes mecanismos de inferência são providos pelo *Intelligence Compiler*: inferência baseada em *raciocínio para frente*, inferência baseada em *raciocínio para trás* e inferência

inexacta. A inferência baseada em *raciocínio para trás* utiliza mecanismos de "backtracking", e o *raciocínio para frente* utiliza optativamente diferentes técnicas de *resolução de conflito*.

A *inferência inexacta* efectua-se nos mesmos princípios propostos por outros sistemas periciais (como o conhecido sistema *MYCIN*, por exemplo) e considera que o valor do *factor de confiança* definido para a regra deve ser aplicado directamente ao valor da confiabilidade obtido para a premissa. Esta tem seu valor calculado com base na confiabilidade atribuída às cláusulas componentes (e às operações lógicas efectuadas entre essas). Assim, para uma premissa constituída por duas cláusulas C_1 e C_2 , tem-se duas hipóteses:

- a) $C_1 \& C_2$: o valor da confiança resultante será o menor entre C_1 e C_2 ;
- b) $C_1 \text{ OU } C_2$: o valor da confiança resultante será o maior entre C_1 e C_2 .

Note-se que C_1 e C_2 podem, por sua vez, assumir quaisquer valores entre 0 e 100.

Observe-se ainda que o *factor de confiança* resultante da avaliação da combinação de duas regras diferentes relativas a um mesmo predicado (denominados R_1 e R_2) baseadas em *lógica inexacta* é definido conforme se segue:

$$CF(R_1 \text{ U } R_2) = CF(R_1) + CF(R_2) - CF(R_1) \cdot CF(R_2).$$

Isso, porém, somente é válido se as premissas associadas às regras R_1 e R_2 são mutuamente independentes. Essa expressão aplica-se recursivamente, notando-se que, se os *factores de confiança* não forem nulos, sempre se observará (simultaneamente) o seguinte:

$$CF(R_1 \text{ U } R_2) > CF(R_1) \quad \text{e} \quad CF(R_1 \text{ U } R_2) > CF(R_2).$$

A.4. Recursos especiais de auxílio ao desenvolvimento dos sistemas periciais.

A fim de se ter uma melhor noção do tipo de ferramenta utilizada como base para o desenvolvimento do protótipo, deve-se observar ainda que o *Intelligence Compiler* provê algumas facilidades específicas para a criação e utilização de *sistemas periciais*, tais como a possibilidade de verificação dos caminhos seguidos na tentativa de provar os predicados e a possibilidade de criação de interfaces textuais amigáveis, com utilização de "menus", por exemplo.

Existem também meios para o estabelecimento de ligações com rotinas escritas em linguagens baseadas em *programação sequencial* (nomeadamente as linguagens *C* e *Pascal*), bem como para o armazenamento da *base de objectos* unicamente em *disco duro*. Esta última característica seria particularmente interessante para o armazenamento de todas as instâncias de *objectos*, reservando-se a *memória principal* do computador preferencialmente para a porção da *base de objectos* relativa aos *objectos da estrutura básica* (aquela que não contém as instâncias criadas por utilizadores do sistema) para além das *bases de regras* e *bases de factos*.

Apêndice B

B. Constituição Geométrica das *Formas Características*.

B.1. A constituição geométrica das *formas características* de definição implícita.

Neste apêndice são apresentados os desenhos de algumas das *formas características* cuja definição canónica está presente no modelo de representação da geometria de peças mecânicas introduzido no Capítulo 3 deste trabalho. Apenas os elementos mais representativos de cada *classe* serão representados, com o objectivo de se demonstrar a concepção geral de definição das geometrias de *formas características*. Observe-se que a escolha sobre o número e a constituição dos elementos a estarem presentes na *base de formas características* está condicionado pelos objectivos de utilização da mesma.

As configurações geométricas são apresentadas com indicação de todas as *superfícies* e *dimensões* implicitamente definidas em relação ao *sistema de coordenadas referencial* da *forma característica*. Observe-se que eventualmente as *formas* serão apresentadas inseridas numa porção qualquer de uma peça, para melhor compreensão de sua configuração. Porém, nesses casos, a *forma* será representada de maneira destacada, a fim de facilitar a compreensão do desenho.

Algumas observações são válidas para todas as *formas características* a serem apresentadas a seguir. Em primeiro lugar, nunca deverá ocorrer a situação em que todas as *superfícies* constituintes das *formas* sejam *virtuais* (conforme conceito introduzido no Capítulo 3, tópico 3.3.2.1.1). Em segundo lugar, é esperado que os valores a serem atribuídos às *dimensões* implicitamente definidas nas *formas* não sejam nulos, pois, em caso contrário, poderia haver uma degradação significativa da geometria associada à *forma*. Os casos especiais em que determinadas *dimensões* admitirem valores nulos serão indicados.

A informação específica quanto aos *estados* requeridos para as *superfícies* e a relacionada com as relações geométricas (entre dimensões), para cada classe de *formas características*, será indicada quando necessário.

B.2. A constituição geométrica das *formas características* da classe *forma discreta*.

Neste tópico são introduzidas as configurações geométricas das *formas características* da classe *forma discreta* (*primitiva geométrica de volume*), conforme a classificação introduzida no Capítulo 3. Observe-se que a constituição da *base de formas características* é apresentada no Apêndice C.

B.2.1. Geometria da *forma característica* (implícita) da classe *paralelepípedo rectangular*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.3*, *Sfc.4*, *Sfc.5* e *Sfc.6*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (*comprimento*), *lado* e *lado.2*.

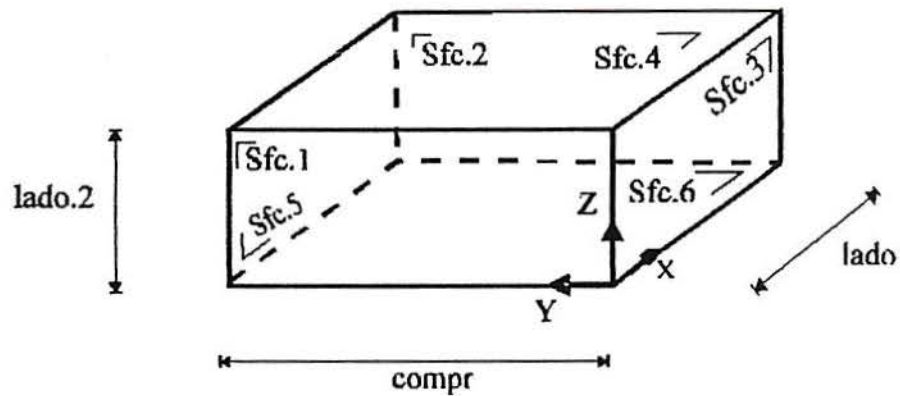


Figura B.1 - Geometria da *forma característica* da classe *paralelepípedo rectangular*.

Observe-se que a localização da *linha de referência* (pontos A e B) para esta *forma característica* varia conforme os valores assumidos pelas dimensões implicitamente definidas (a discussão relacionada especificamente com essa questão foi efectuada no Capítulo 3, tópico 3.3.2.1.1).

B.2.2. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *prisma triangular*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.3*, *Sfc.4* e *Sfc.5*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (*comprimento*), *lado*, *lado.2* e *lado.3*.

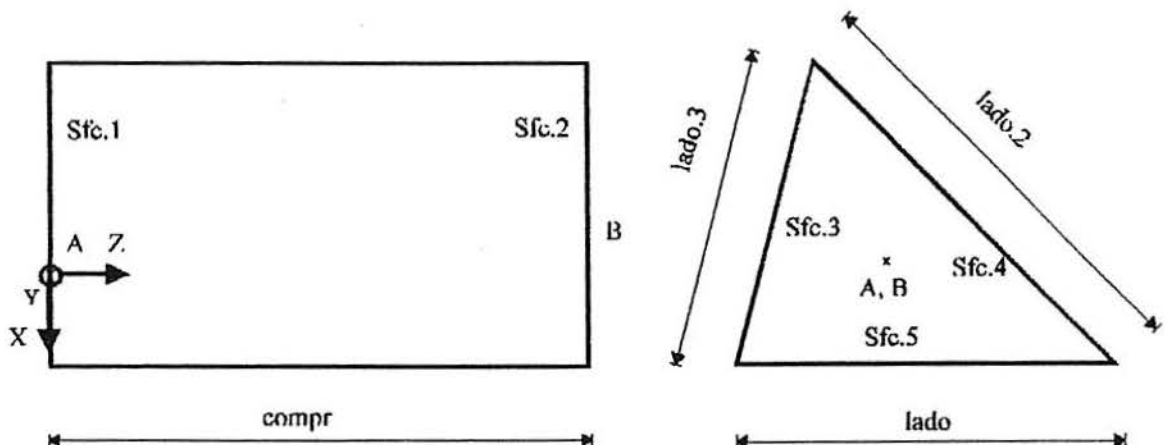


Figura B.2 - Geometria da *forma característica* da classe *prisma triangular*.

Observe-se que outras *formas características* da classe *forma prismática* possuem definições geométricas análogas à apresentada para a *forma* da classe *prisma triangular*. Isso é particularmente válido quanto aos *estados* admissíveis para as superfícies.

B.2.3. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *cilindro circular recto*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2* e *Sfc.3*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (*comprimento*) e *r* (*raio*).

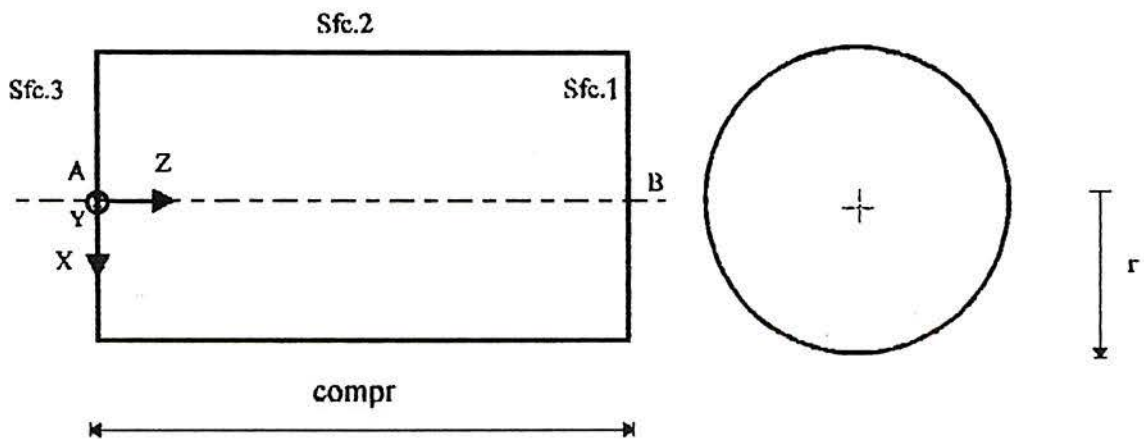


Figura B.3 - Geometria da *forma característica* da classe *cilindro circular recto*.

Observe-se que outras *formas características* da classe *primitiva de volume axissimétrica* possuem definições geométricas análogas à apresentada para a *forma* da classe *cilindro circular recto*, como por exemplo a da classe *cilindro circular não-recto*. Isso é particularmente válido quanto aos *estados* admissíveis para as superfícies.

B.2.4. Geometria da *forma característica* (implícita) da classe *semi-cilindro circular recto*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.3* e *Sfc.4*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (*comprimento*) e *r* (*raio*). Observe-se que outras *formas características* da classe *primitiva de volume não-axissimétrica* possuem definições geométricas análogas à apresentada para a *forma* da classe *semi-cilindro circular recto*, como por

exemplo as das classes *cilindro elipsoidal recto* e *semi-cone circular recto*. Isso é particularmente válido quanto aos *estados* admissíveis para as superfícies.

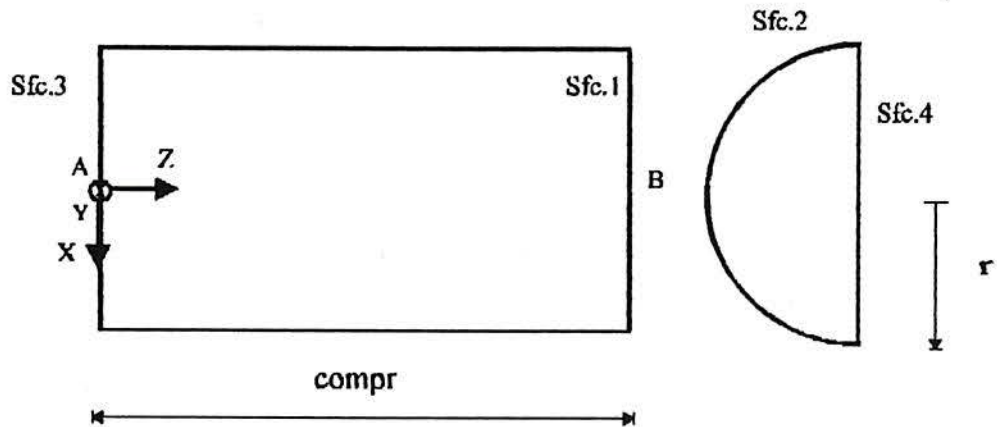


Figura B.4 - Geometria da *forma característica* da classe *semi-cilindro circular recto*.

B.2.5. Geometria da *forma característica* (implícita) da classe *tronco de cone circular recto*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2* e *Sfc.3*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (*comprimento*), *r* (*raio*) e *r.menor* (*raio menor*).

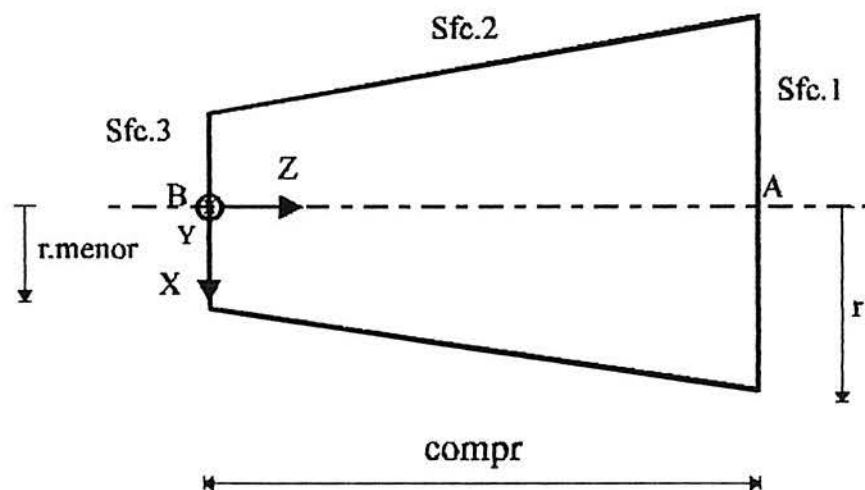


Figura B.5 - Geometria da *forma característica* da classe *tronco de cone circular recto*.

B.2.6. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *secção de toro*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2* e *Sfc.3*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *r* (*raio*), *r.menor* (*raio menor*) e *ângulo da secção toroidal* (na figura B.6, este é de 180°).

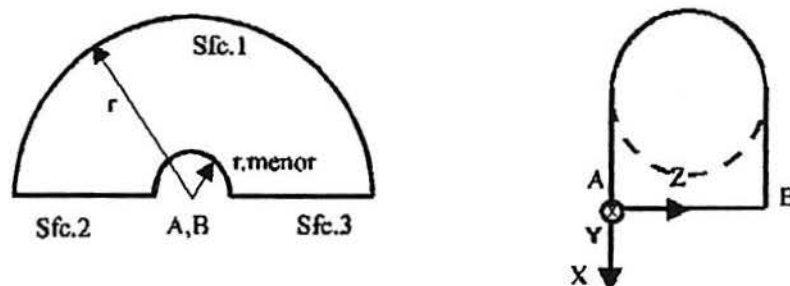


Figura B.6 - Geometria da *forma característica* da classe *secção de toro*.

B.2.7. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *secção de semi-toro*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.3* e *Sfc.4*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *r* (*raio*), *r.menor* (*raio menor*) e *ângulo da secção toroidal* (na figura B.7, este é de 180°).

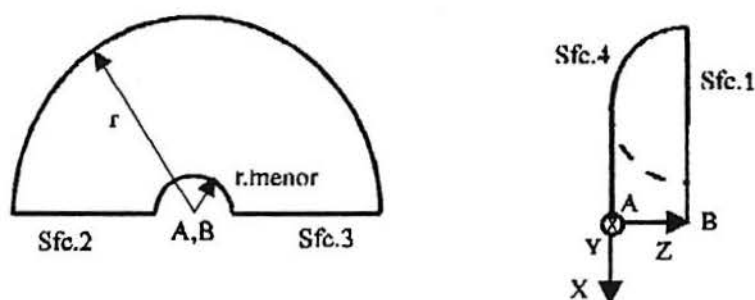


Figura B.7 - Geometria da *forma característica* da classe *secção de semi-toro*.

B.2.8. Geometria da forma característica (implícita) da classe secção de toróide rectangular.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.3*, *Sfc.4*, *Sfc.5* e *Sfc.6*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *r* (raio), *r.menor* (raio menor), *alt* (altura) e *ângulo da secção toroidal* (na figura B.8, este é de 180°).

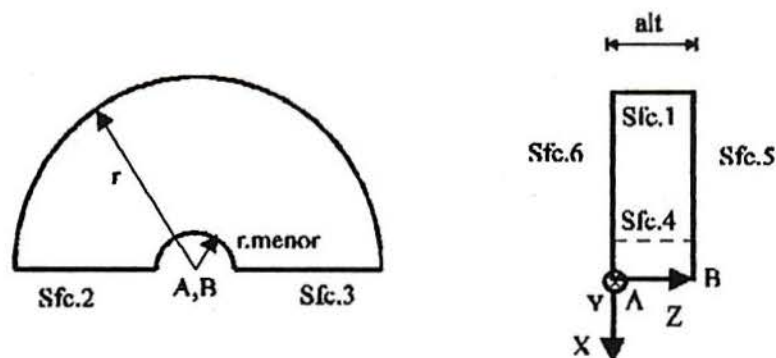


Figura B.8 - Geometria da forma característica da classe secção de toróide rectangular.

Observe-se que outras formas características da classe secção de toróide possuem definições geométricas análogas à apresentada para a forma da classe secção de toróide rectangular, como por exemplo as das classes secção de toróide hexagonal e secção de toróide elipsoidal. Isso é particularmente válido quanto aos estados admissíveis para as superfícies.

B.2.9. Geometria da forma característica (implícita) da classe prisma hexagonal regular.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.3*, *Sfc.4*, *Sfc.5*, *Sfc.6* (superfícies laterais do prisma), *Sfc.7* e *Sfc.8* (superfícies das bases), e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (comprimento) e *alt* (altura).

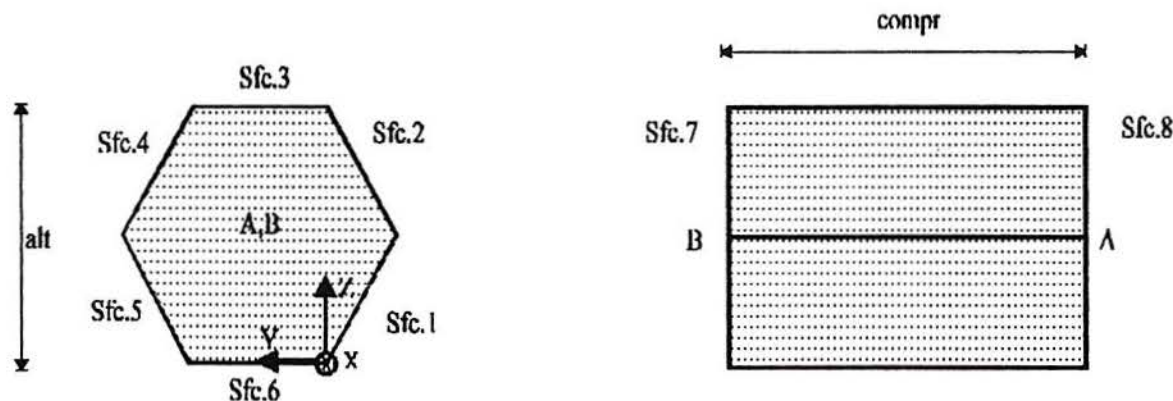


Figura B.9 - Geometria da forma característica (implícita) da classe prisma hexagonal regular.

B.3. A constituição geométrica das *formas características* da classe *elemento de forma*.

Neste tópico são introduzidas as configurações geométricas das *formas características* da classe *elemento de forma*, conforme a classificação introduzida no Capítulo 3 e apresentada explicitamente no Apêndice C.

B.3.1. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *furo cilíndrico*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.topo*, *Sfc.lat* e *Sfc.fundo*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr*, *r* e *ângulo.de.fundo* (*comprimento*, *raio* e *ângulo da superfície cônica do fundo do furo*).

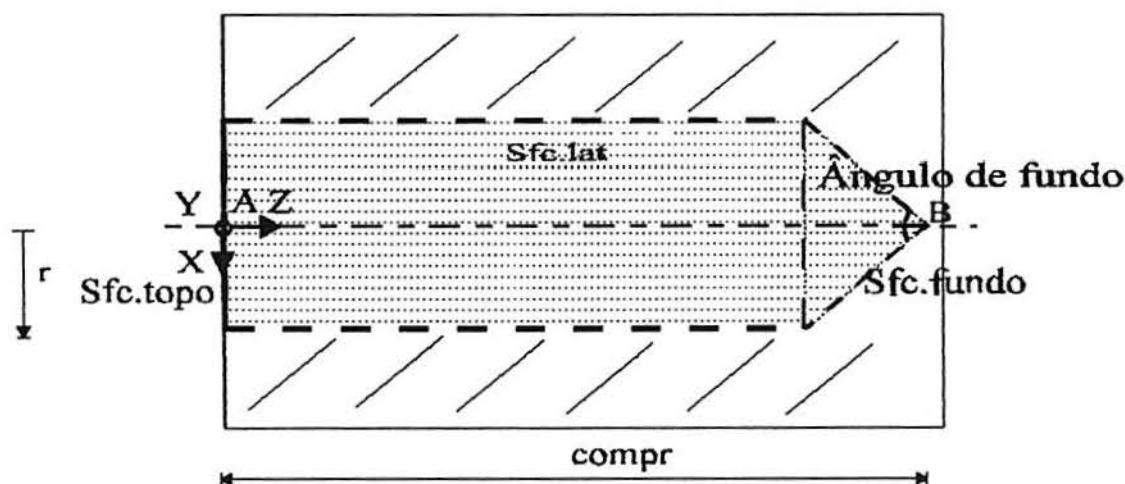


Figura B.10 - Geometria da *forma característica* da classe *furo cilíndrico*.

Observe-se que outras *formas características* da classe *furo* possuem definições geométricas análogas à apresentada para a *forma* da classe *furo cilíndrico*, como, por exemplo, as das classes *furo cônico*, *furo retangular* e *furo sextavado*. Isso é particularmente válido quanto aos *estados* admissíveis para as superfícies.

Observe-se ainda que, como norma geral para a *forma característica* da classe *furo*, a superfície de topo deve ser *virtual*, e as superfícies laterais devem ser *reais* ou *parcialmente reais*. Neste último caso, uma mesma porção inexistente das superfícies não deve se estender da *superfície de topo* à *superfície de fundo* do furo, pois então o *furo* perderia suas características geométricas básicas, tornando-se um *entalhe* (este problema foi discutido no tópico 2.3 do Capítulo 2, apresentado à figura

F6-a). No caso da *forma* da classe *furo cilíndrico*, portanto, a superfície denominada *Sfc.lat* deverá ser *real* ou *parcialmente real*. O *ângulo de fundo* do furo não poderá ser nulo. A *superfície de fundo* (*Sfc.fundo*) poderá assumir qualquer estado, e o *comprimento* deverá ser sempre maior que o diâmetro ($2r$) do furo.

B.3.2. Geometria da *forma característica (implícita)* da classe *furo trepanado de seção circular*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.topo*, *Sfc.lat.1*, *Sfc.lat.2* (superfícies laterais) e *Sfc.fundo*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr*, *r*, *r-menor* e *ângulo.de.fundo* (*comprimento*, *raio*, *raio menor* e *ângulo de fundo*).

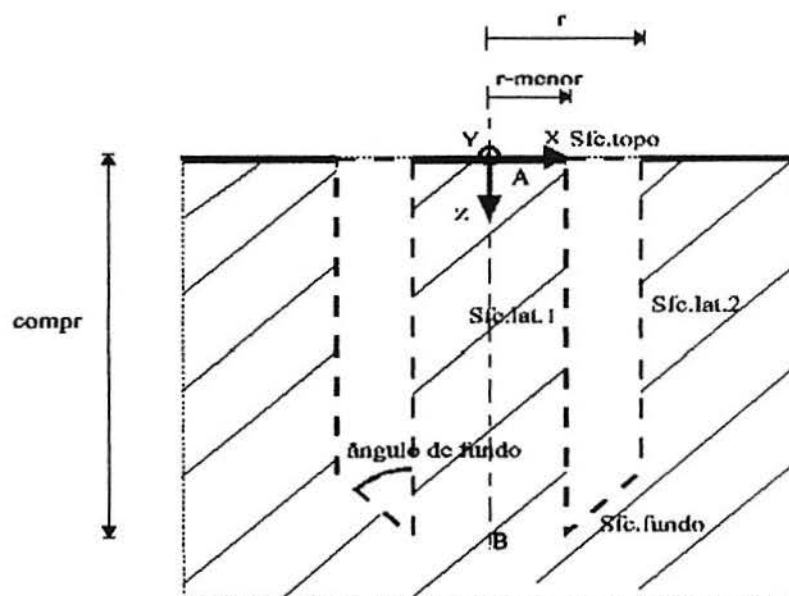


Figura B.11 - Geometria da *forma característica* da classe *furo trepanado de seção circular*.

Para as *formas* da classe *furo trepanado de seção circular*, as superfícies denominadas *Sfc.lat.1* e *Sfc.lat.2* deverão ser *reais* ou *parcialmente reais*. A *Sfc.fundo* deverá ser *real*, e o *ângulo de fundo* do furo não poderá ser nulo.

B.3.3. Geometrias das *formas características* de definição implícita da classe *rebaixamento de furo*.

As *formas características* pertencentes à classe *rebaixamento de furo* foram definidas como se segue e conforme pode ser examinado na figura B.12: *rebaixamento cônico* (a), *rebaixamento cilíndrico* (b) e *rebaixamento misto* (c). As superfícies constituintes e as dimensões implicitamente

definidas são apresentadas nos desenhos relativos às *formas*. Observe-se que a dimensão denominada *r* diz respeito ao raio do furo sobre que se aplica o *rebaixamento*.

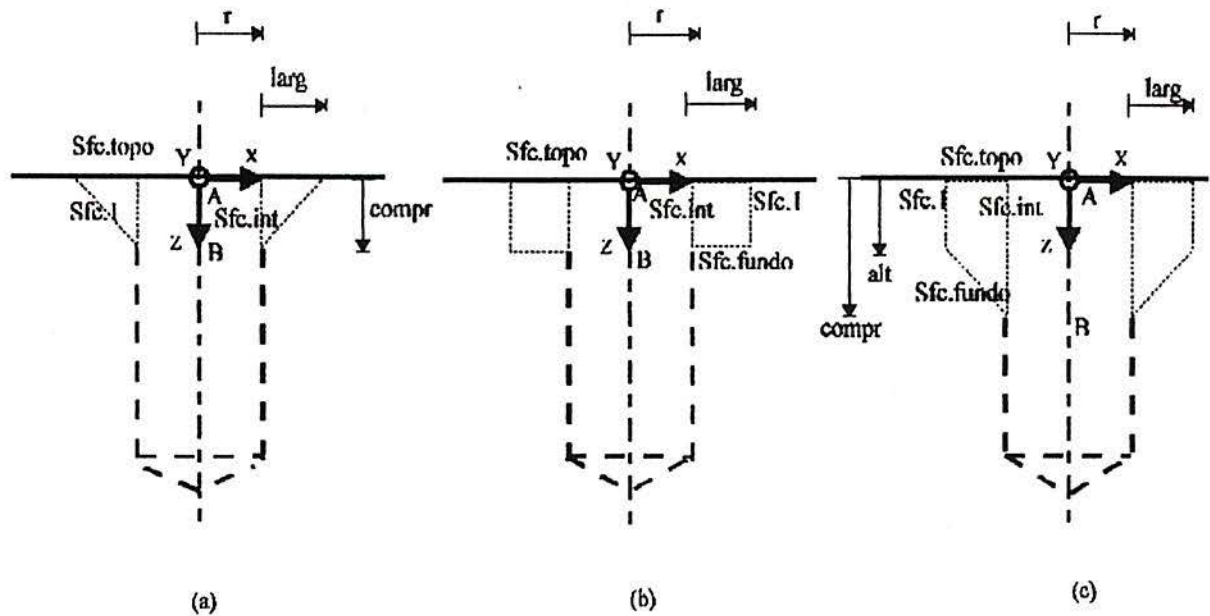


Figura B.12 - Geometrias das *formas características* da classe *rebaixamento de furo*.

Observe-se que, para as *formas características* da classe *rebaixamento de furo*, a *superfície de topo* deve ser *virtual*, a superfície denominada *Sfc.1* deve ser *real* ou *parcialmente real*, e a superfície denominada *Sfc.int* deve ser *virtual*. Note-se ainda que o *rebaixamento cônico* difere do *chanfro tipo 1* basicamente em termos da sua funcionalidade, relacionada com o objectivo de capturar a intenção do projectista. Em termos do dimensionamento de ambas as *formas*, observa-se que o *rebaixamento cônico* tende a apresentar valores menos restritivos que os do *chanfro*.

B.3.4. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *furo sextavado*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.3*, *Sfc.4*, *Sfc.5*, *Sfc.6* (superfícies laterais do furo), *Sfc.topo* e *Sfc.fundo*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (*comprimento*) e *alt* (*altura*), com o *comprimento* devendo ser sempre maior que a *altura*.

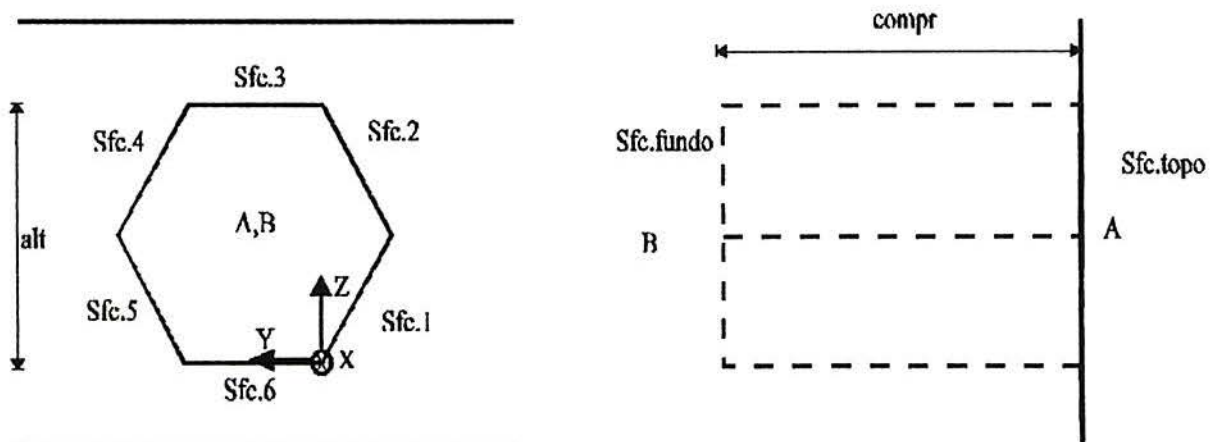


Figura B.13 - Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *furo sextavado*.

B.3.5. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *entalhe revolutivo*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.topo* e *Sfc.interior*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr*, *r* e *r.menor* (*comprimento*, *raio* e *raio menor*).

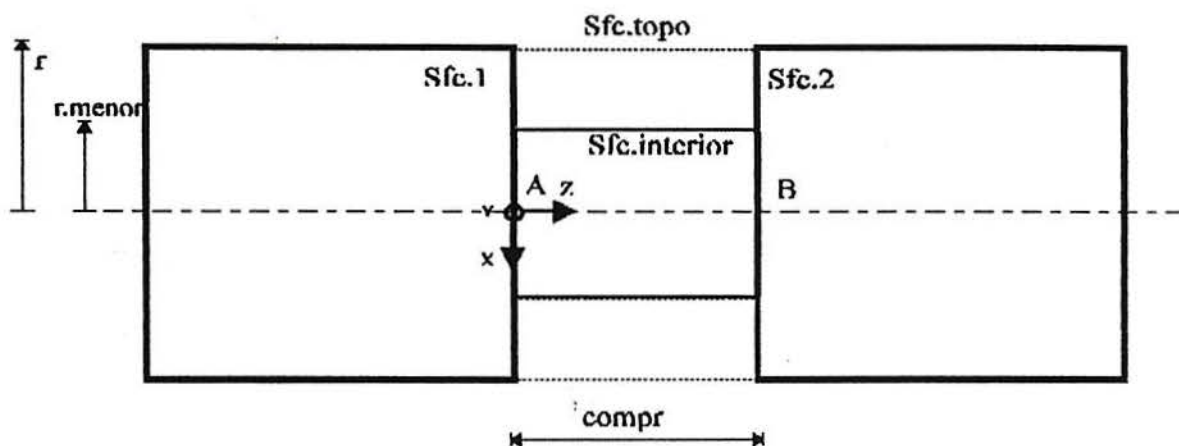


Figura B.14 - Geometria da *forma característica* da classe *entalhe revolutivo*.

Observe-se que, como norma geral para as *formas características* da classe *entalhe*, a *superfície de topo* deve ser *virtual*, e as *superfícies de fundo* nunca devem ser *virtuais* (no caso da *forma* da classe *entalhe revolutivo*, a *superfície de fundo* é denominada *Sfc.interior*). As superfícies denominadas *Sfc.1* e *Sfc.2* não devem ser *virtuais*. Observe-se que, para as *formas* da classe *entalhe*, a *Sfc.topo* deverá ser sempre *virtual*.

B.3.6. Geometria da *forma característica (implícita)* da classe *entalhe em forma de Tê*

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.3*, *Sfc.4*, *Sfc.5*, *Sfc.6*, *Sfc.7*, *Sfc.8*, *Sfc.topo* e *Sfc.fundo*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (*comprimento*), *larg* (*largura*), *larg-menor* (*largura menor*), *alt* (*altura*) e *alt-menor* (*altura menor*). Observe-se que outras *formas características* da classe *entalhe* possuem definições geométricas análogas à apresentada para a *forma* da classe *entalhe em forma de Tê*, como, por exemplo, as das classes *entalhe em forma de U* e *entalhe em forma de Vê*. Isso é particularmente válido quanto aos *estados* admissíveis para as superfícies.

Finalmente, para a *forma* da classe *entalhe em forma de Tê*, pelo menos uma entre as superfícies denominadas *Sfc.1* e *Sfc.2* deverá ser *virtual*.

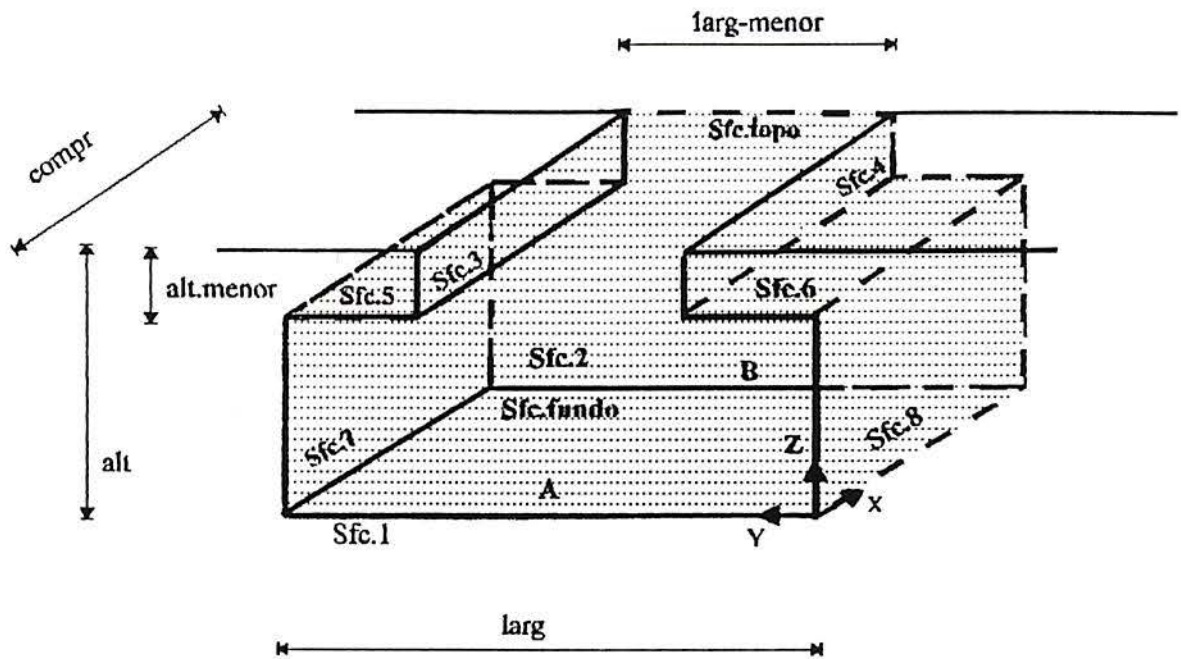


Figura B.15 - Geometria da *forma característica* da classe *entalhe em forma de Tê*.

B.3.7. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *entalhe em forma de rabo de andorinha*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.lat.1*, *Sfc.lat.2*, *Sfc.topo* e *Sfc.fundo*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (*comprimento*), *alt* (*altura*), *larg* (*largura*) e *larg-menor* (*largura menor*).

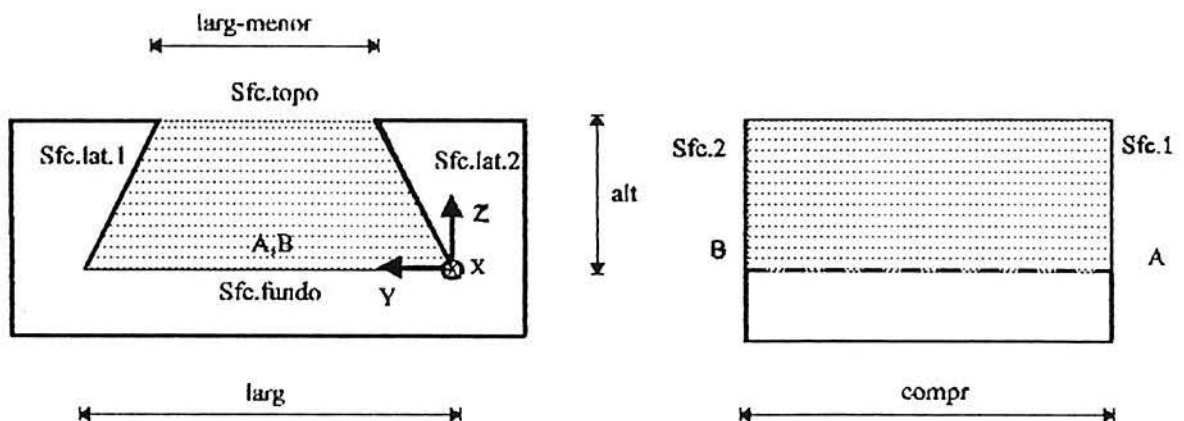


Figura B.16 - Geometria da *forma característica* da classe *entalhe em forma de rabo de andorinha*.

Para a *forma* da classe *entalhe em forma de rabo de andorinha*, pelo menos uma entre as superfícies denominadas *Sfc. 1* e *Sfc.2* deverá ser *virtual*.

B.3.8. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *entalhe sextavado*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.3*, *Sfc.4*, *Sfc.5*, *Sfc.6*, *Sfc.topo* e *Sfc.fundo*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (*comprimento*) e *alt* (*altura*).

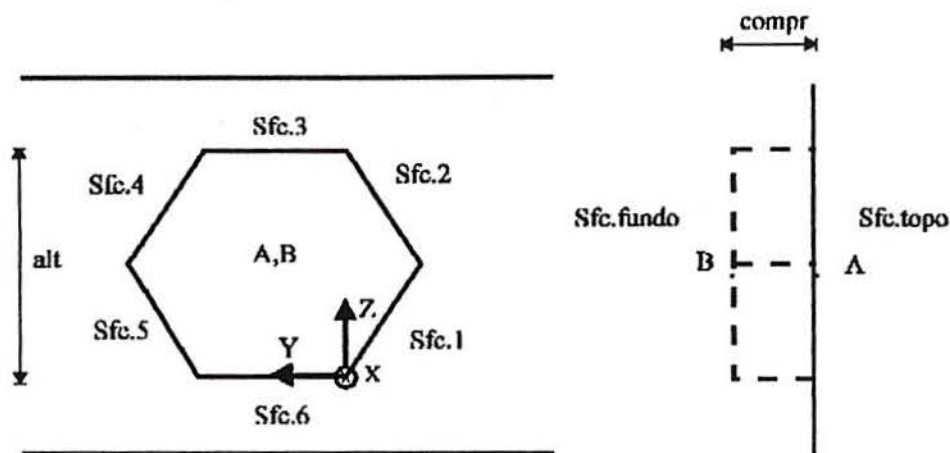


Figura B.17 - Geometria da *forma característica* da classe *entalhe sextavado*.

Para a *forma* da classe *entalhe sextavado*, não podem existir duas superfícies laterais (aquelas denominadas *Sfc.1* a *Sfc.6*) contíguas *virtuais*, a *Sfc.fundo* não pode ser *virtual*. O valor de *compr* será sempre igual ou inferior ao valor de *alt*.

B.3.9. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *entalhe semi-cilíndrico*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.topo* e *Sfc.fundo*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (*comprimento*) e *r* (*raio*).

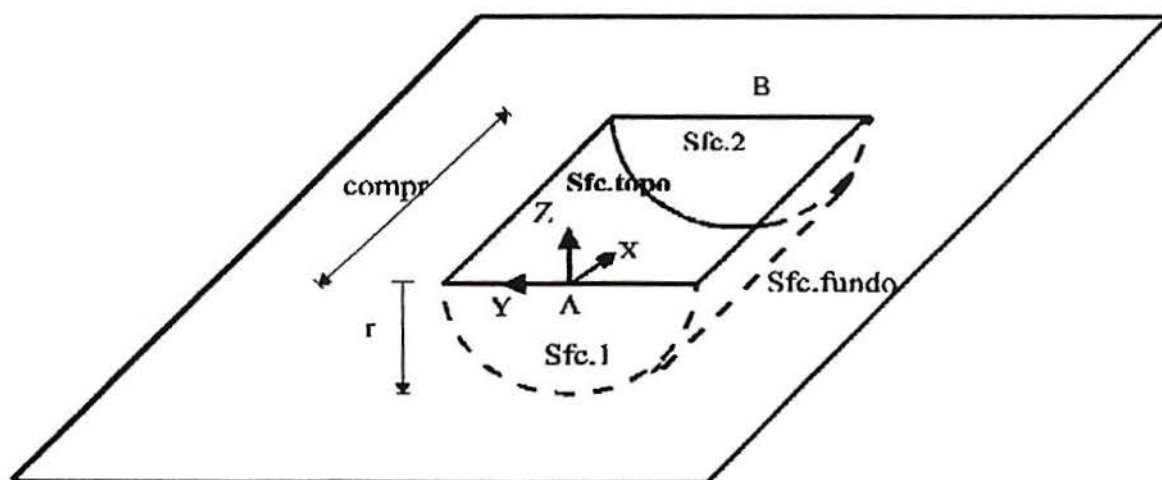


Figura B.18 - Geometria da *forma característica* da classe *entalhe semi-cilíndrico*.

B.3.10. Geometria da forma característica (implícita) da classe saliência em forma de Tê

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.3*, *Sfc.4*, *Sfc.5*, *Sfc.6*, *Sfc.7*, *Sfc.8*, *Sfc.topo* e *Sfc.base*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (comprimento), *alt* (altura), *alt-menor* (altura menor), *larg* (largura), e *larg-menor* (largura menor).

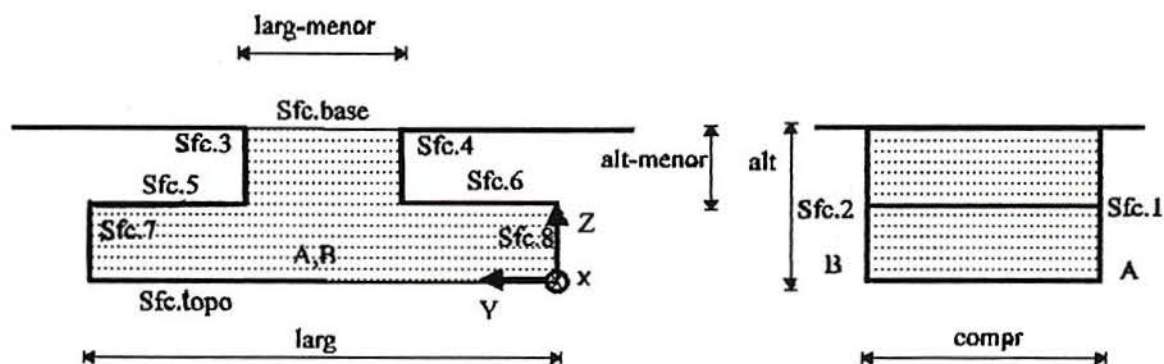


Figura B.19 - Geometria da forma característica da classe saliência em forma de Tê.

Para a forma da classe saliência em forma de Tê, a superfície de base deverá ser virtual ou parcialmente real, devendo as demais serem reais ou parcialmente reais.

B.3.11. Geometria da forma característica de definição implícita da classe saliência do tipo chaveira de extremidades curvadas.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.3*, *Sfc.4*, *Sfc.topo* e

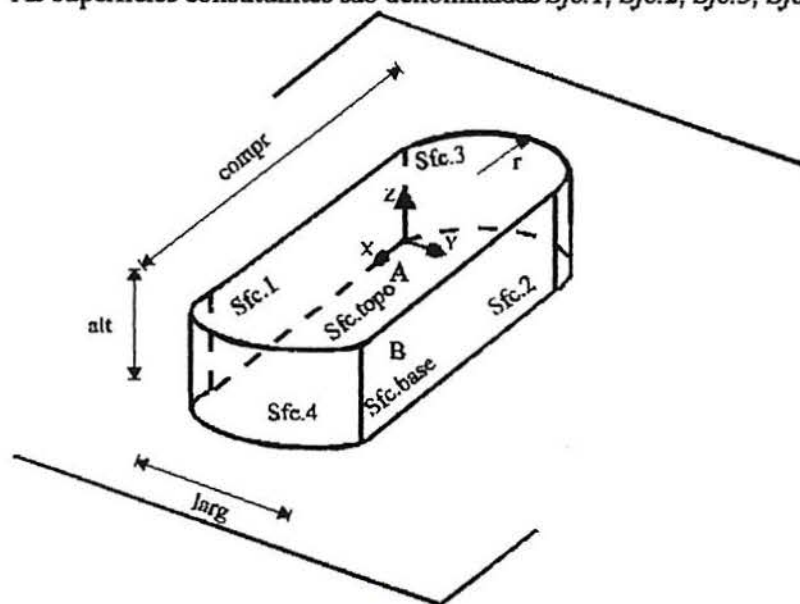


Figura B.20 - Forma característica da classe saliência do tipo chaveira de extremidades curvadas.

Sfc.base, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (*comprimento*), *alt* (*altura*), *larg* (*largura*) e *r* (*raio*).

Para a *forma* da classe *saliência do tipo chaveta de extremidades curvadas*, a *superfície de base* deve ser *virtual* ou *parcialmente real*, devendo as demais serem *reais* ou *parcialmente reais*. Observe-se que as superfícies denominadas *Sfc.3* e *Sfc.4* possuem o mesmo raio de curvatura. O ponto A situa-se no centro da superfície denominada *Sfc.topo* e o ponto B situa-se no centro da superfície denominada *Sfc.base*.

B.3.12. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *estria*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.lat.1*, *Sfc.lat.2*, *Sfc.topo* e *Sfc.base*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (*comprimento*), *r* (*raio de curvatura da superfície da base*), *alt* (*altura*) e *larg* (*largura*).

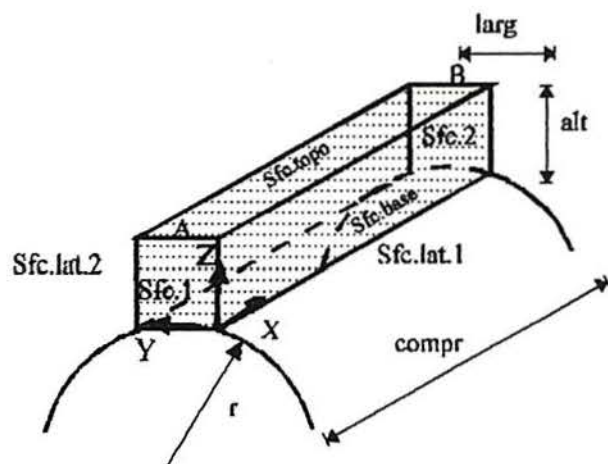


Figura B.21 - Geometria da *forma característica* da classe *estria*.

Para a *forma* da classe *estria*, a *superfície de base* deve ser *virtual* ou *parcialmente real*, devendo as demais serem *reais* ou *parcialmente reais*.

B.3.13. Geometrias das *formas características* de definição implícita das classes *entalhe em forma de chaveta* e *entalhe em forma de semi-chaveta*.

Existem diferentes possibilidades de construção de *formas características* das classes *entalhe em forma de chaveta* e *entalhe em forma de semi-chaveta*:

Existem diferentes possibilidades de construção de *formas características* das classes *entalhe em forma de chaveta* e *entalhe em forma de semi-chaveta*:

- chavetas de *extremidades planas*, e chavetas e semi-chavetas de *extremidades curvadas* e de *fundo curvado*;
- chavetas e semi-chavetas *abertas* e *fechadas* (observando-se que as chavetas de *extremidades curvadas* e de *fundo curvado* são *fechadas*);
- chavetas e semi-chavetas aplicadas sobre superfícies *planas*, *côncavas* e *convexas*.

A seguir serão apresentadas as geometrias das *formas* consoante essa classificação. Observe-se que a *Sfc.fundo* nunca poderá ser virtual para as chavetas, como, de resto, para todos os entalhes.

B.3.13.1. Geometria da *forma característica* de definição implícita da classe *chaveta de extremidades planas aplicada à superfície plana*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.3*, *Sfc.4*, *Sfc.topo* e *Sfc.fundo*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (*comprimento*), *alt* (*altura*) e *larg* (*largura*). Observe-se que as posições relativas de superfícies e de dimensões são as mesmas para a *chaveta fechada* e para a *aberta*.

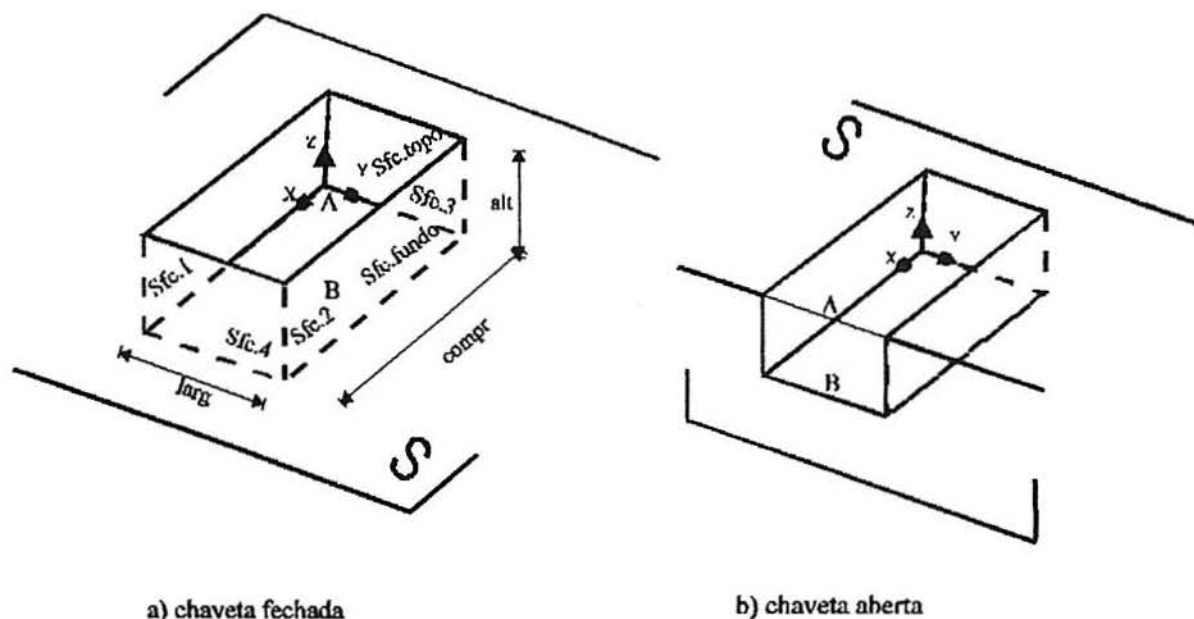


Figura B.22 - *Forma característica* da classe *chaveta de extremidades planas aplicada à superfície plana*.

Observe-se que, para a *forma característica* da classe *chaveta de extremidades planas aplicada à superfície plana*, as quatro superfícies laterais (denominadas *Sfc.1* a *Sfc.4*) não podem ser simultaneamente *virtuais*. No caso da *chaveta fechada*, o valor de *alt* não deverá ser simultaneamente superior aos de *larg* e *compr*.

Na figura B.22, é indicada a superfície sobre a qual a *forma característica* é aplicada (denominada S), que é do tipo plana. Observe-se que a curvatura dessa superfície determina a forma da *superfície de topo* da *forma característica*, conforme pode ser analisado a partir da figura B.23, em que a *chaveta* (ou a *semi-chaveta*) aparece aplicada respectivamente sobre uma superfície plana (a), uma superfície convexa (b) e uma superfície côncava (c):

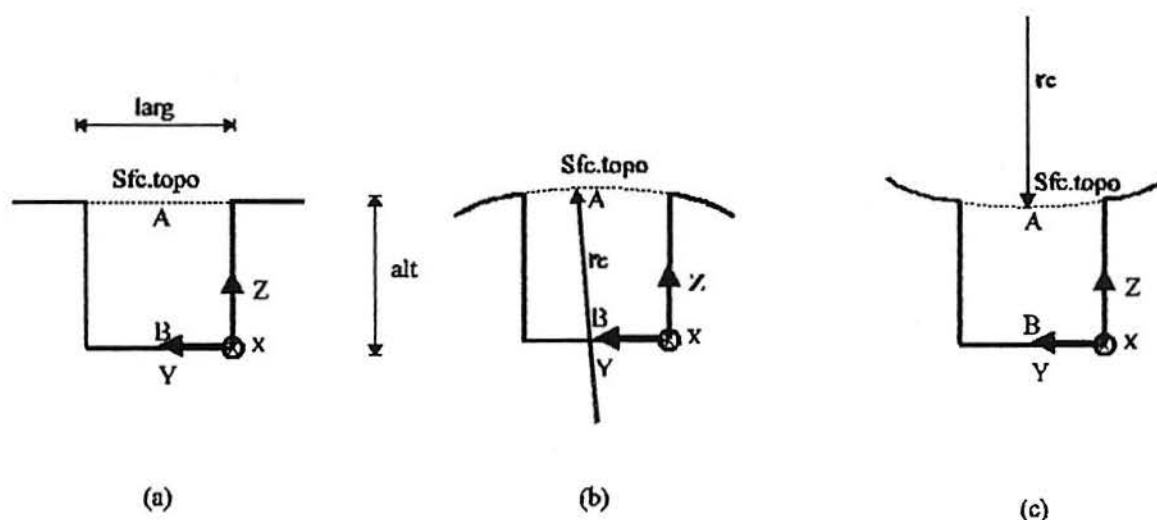


Figura B.23 - Formas possíveis da *superfície de topo* das *formas características* das classes *entalhe em forma de chaveta* e *entalhe em forma de semi-chaveta*.

Para as *formas características* das classes *entalhe em forma de chaveta* e *entalhe em forma de semi-chaveta* aplicadas sobre superfícies não-planas é implicitamente definida a dimensão r_c (*raio de curvatura da superfície de topo*).

B.3.13.2. Geometrias das *formas características* de definição implícita das classes *chaveta de extremidades curvas aplicada à superfície plana* e *semi-chaveta de extremidades curvas aplicada à superfície plana*.

As superfícies constituintes são denominadas $Sfc.1$, $Sfc.2$, $Sfc.3$, $Sfc.4$, $Sfc.topo$ e $Sfc.fundo$, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (*comprimento*), *alt* (*altura*), *larg* (*largura*), e r (*raio*). As localizações de dimensões e de superfícies são análogas para todas as *semi-chavetas* (abertas ou fechadas) e as *chavetas de extremidades curvas*.

Observe-se que, para a *chaveta*, os pontos A e B encontram-se localizados respectivamente nos centros das superfícies denominadas $Sfc.topo$ e $Sfc.fundo$, e que os raios de curvatura das superfícies denominadas $Sfc.3$ e $Sfc.4$ são os mesmos.

Observe-se ainda que, para a semi-chaveta *aberta*, a superfície denominada *Sfc.4* é *virtual*, e que, para a semi-chaveta *fechada*, essa superfície deve ser *real* ou *parcialmente real*. Para as chavetas, as superfícies denominadas *Sfc.3* e *Sfc.4* não devem ser *virtuais*.

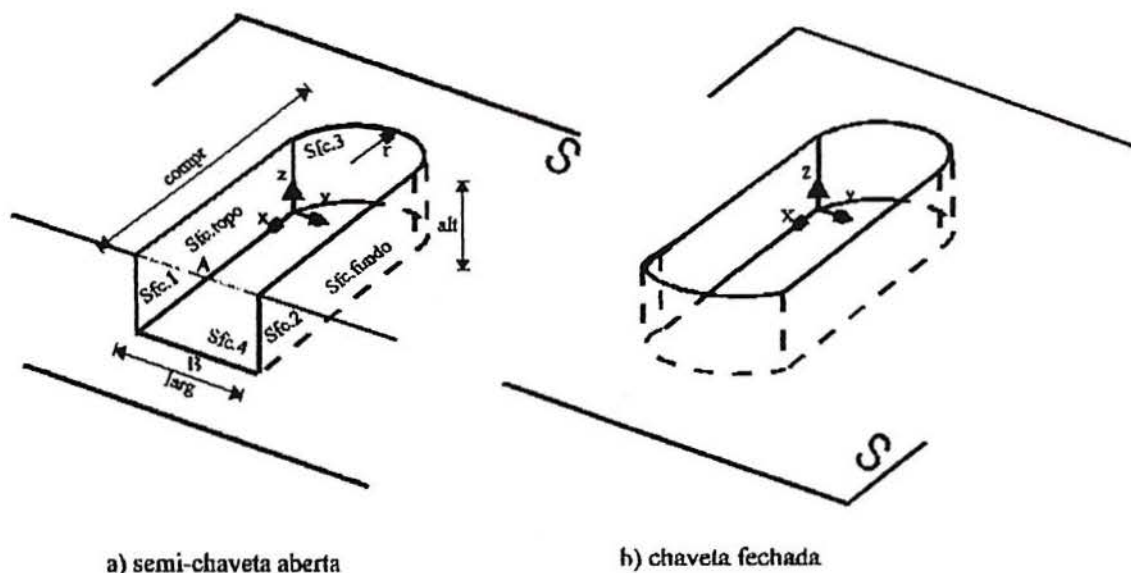


Figura B.24 - Formas características das classes *semi-chaveta de extremidades curvas aplicada à superfície plana* e *chaveta de extremidades curvas aplicada à superfície plana*.

B.3.13.3. Geometrias das formas características de definição implícita das classes *chaveta de fundo curvo aplicada à superfície plana* e *semi-chaveta de fundo curvo aplicada à superfície plana*.

As superfícies constituintes são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2*, *Sfc.3*, *Sfc.4*, *Sfc.topo* e *Sfc.fundo*, e as dimensões implicitamente definidas são denominadas *compr* (*comprimento*), *alt* (*altura*), *larg* (*largura*), *r* (*raio*) e *r_p* (*raio da superfície do fundo*). As localizações de dimensões e de superfícies são análogas para todas as semi-chavetas (abertas ou fechadas) e as chavetas *de fundo curvo*.

Observe-se que, para a chaveta, os pontos A e B encontram-se localizados respectivamente nos centros das superfícies denominadas *Sfc.topo* e *Sfc.fundo*, e que os raios das curvaturas das superfícies denominadas *Sfc.3* e *Sfc.4* são os mesmos.

Observe-se ainda que, para a semi-chaveta *aberta*, a superfície denominada *Sfc.4* é *virtual*, e que, para a semi-chaveta *fechada*, essa superfície deve ser *real* ou *parcialmente real*. Para as chavetas, as superfícies denominadas *Sfc.3* e *Sfc.4* não devem ser *virtuais*.

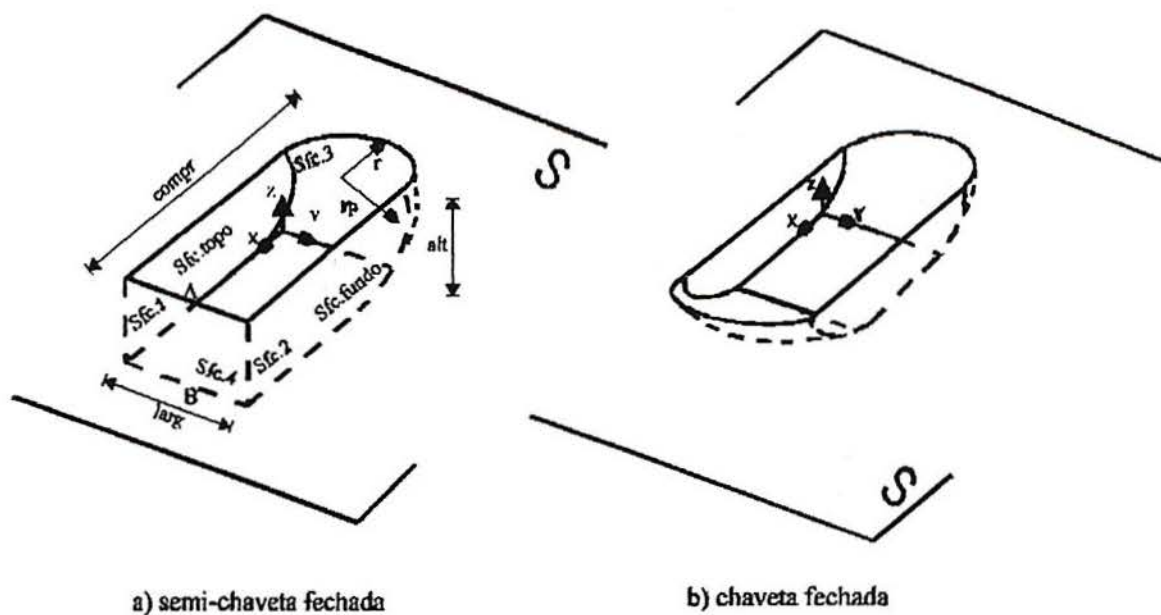


Figura B.25 - *Formas características das classes semi-chaveta de fundo curvo aplicada à superfície plana e chaveta de fundo curvo aplicada à superfície plana.*

B.3.14. Geometrias das *formas características* de definição implícita da classe *entalhe helicoidal*.

Todas as *formas características* desta classe possuem em comum as dimensões denominadas *passo* e *sentido da hélice*, para além do *raio* (r) e do *comprimento* ($compr$) do cilindro-base sobre o qual se assenta o entalhe (ver figura B.26).

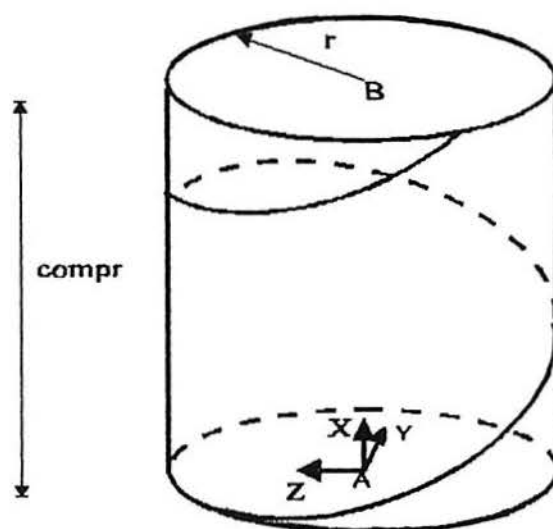


Figura B.26 - *Forma básica geral das formas características da classe entalhe helicoidal.*

As diferentes possibilidades de configuração geométrica dos perfis do entalhe são apresentados na figura B.27, sendo indicadas as superfícies constituintes e as dimensões implicitamente definidas para cada perfil. Observe-se que a dimensão r_p diz respeito ao *raio do perfil entalhado*. Observe-se que as *superfícies dos perfis de entalhes* apresentados à figura B.27 devem ser *reais*.

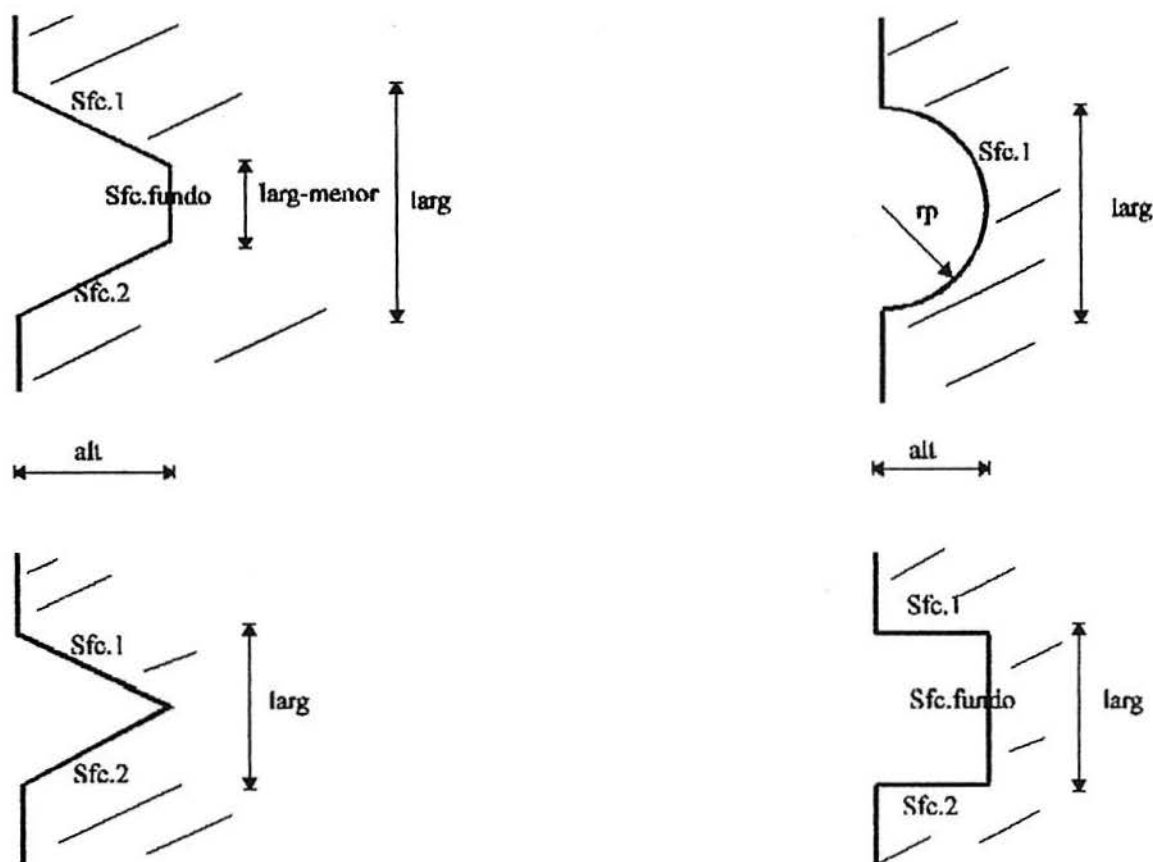


Figura B.27 - Formas dos perfis dos entalhes das *formas características* da classe *entalhe helicoidal*.

B.3.15. Geometrias das *formas características* de definição implícita da classe *perfil de rosca*.

As *formas características* da classe *perfil de rosca* subdividem-se fundamentalmente em duas classes relacionadas com a utilização de roscas: *parafuso* e *porca*. Por definição, a rosca do tipo *parafuso* é considerada uma *forma* do tipo volume-positivo, enquanto que a *porca* é considerada uma *forma* do tipo volume-negativo. Neste último caso, considera-se que uma porção correspondente ao volume ocupado pelo *parafuso* foi retirada de um *cilindro de base* (originando, portanto, um volume-negativo).

As geometrias básicas dessas *formas* são apresentadas esquematicamente na figura B.28. Os perfis das *formas características* condicionam a existência das diversas superfícies constituintes do perfil. As dimensões básicas dos volumes elementares correspondentes a parafusos e porcas são as

mesmas referentes aos perfis helicoidais dos *entalhes helicoidais* (ver tópico B.3.14), acrescidas do comprimento (denominada *compr*) e do raio do cilindro-base de assentamento do perfil helicoidal (denominado *raio-cilindro-base*). Contudo, se o perfil de rosca for normalizado, será estritamente observada a compatibilização com a parametrização prevista pela norma, inclusivamente no que respeita às relações geométricas entre parafuso e porca. Neste caso, caberá aos procedimentos de construção geométrica da interface gráfica viabilizarem a parametrização em modo adequado, bem como o armazenamento adequado da informação.

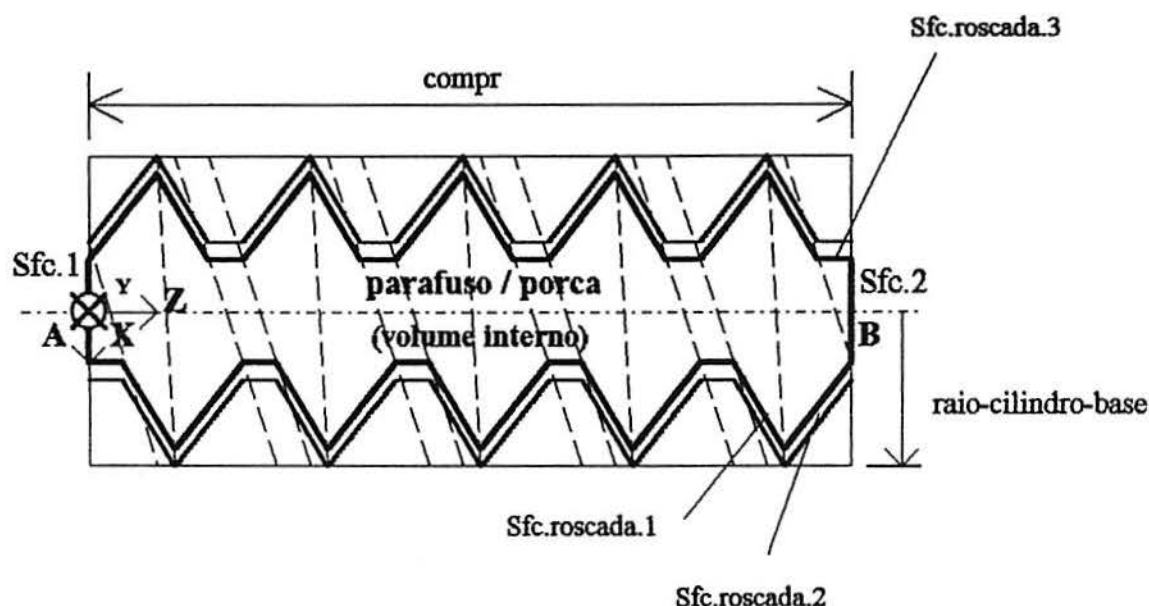


Figura B.28 - Representação esquemática (corte) da geometria básica das formas características da classe perfil de rosca (parafuso e porca).

As superfícies são denominadas *Sfc.1*, *Sfc.2* (superfícies das bases do cilindro sobre que se assenta o perfil helicoidal) e *Sfc.roscada.n* (onde *n* refere-se às diversas superfícies laterais do perfil helicoidal), que deverão ser *reais* para parafusos e porcas.

Apêndice C

C. Estrutura e a Organização da Informação na *Base de Objectos*.

C.1. Considerações sobre a *base de objectos*.

A *base de objectos* utilizada nesta investigação é organizada numa estrutura em *árvore*, onde destacam-se quatro ramos principais, conforme descrito no Capítulo 4, tópico 4.1.1. Os nomes dos *objectos* listados a seguir correspondem proximamente aos utilizados na implementação computacional efectuada. Os números listados entre parênteses após o nome de cada *objecto* indicam o nível em que cada um é encontrado a partir da raiz da *árvore*, que é considerada o nível 0. Um *objecto* de um dado nível listado directamente abaixo de um *objecto* de um nível inferior indica que o primeiro é descendente directo do segundo. Assim, por exemplo, os *objectos* *peça discreta* e *peças discretas agrupadas* são descendentes directos do *objecto* *informação sobre peça*. Observe-se que não estão aqui listadas as instâncias de *objectos* eventualmente criadas no decorrer da investigação para extracção de resultados, mas apenas os *objectos* responsáveis pela estrutura fundamental da base.

C.2. A constituição da *base de objectos*.

Segue-se a apresentação da *base de objectos* em sua estrutura de *árvore*. Ao longo deste apêndice, é apresentado em forma gráfica o esquema básico da estrutura da *árvore de objectos*, para cada ramo (figuras C.1 a C.4).

—» **informação para análise do projecto** (raiz da *árvore de objectos*, nível "0")

——» **informação sobre especificação de produto** (1)

————» informação sobre aspectos gerais da peça (2)

————» *peça discreta* (3)

————» *peças discretas agrupadas* (3)

————» *peça composta* (4)

————» *agregado de peças discretas* (4)

——» **informação sobre geometria de peça** (2)

————» *dimensão explícita* (3)

————» *elemento de união entre formas características* (3)

————» *tolerância geométrica* (3)

————» *tolerância de forma de elemento isolado* (4)

————» *tolerância de rectilincidade* (5)

————» *tolerância de planicidade* (5)

————» *tolerância de circularidade* (5)

————» *tolerância de cilindridade* (5)

- » tolerância de forma de linha qualquer (5)
- » tolerância de forma de superfície qualquer (5)
- » tolerância de orientação para elementos associados (4)
- » tolerância de paralelismo (5)
- » tolerância de perpendicularismo (5)
- » tolerância de inclinação (5)
- » tolerância de posição para elementos associados (4)
- » tolerância de localização de elementos (5)
- » tolerância de concentricidade e coaxialidade (5)
- » tolerância de simetria (5)
- » tolerância de movimento (4)

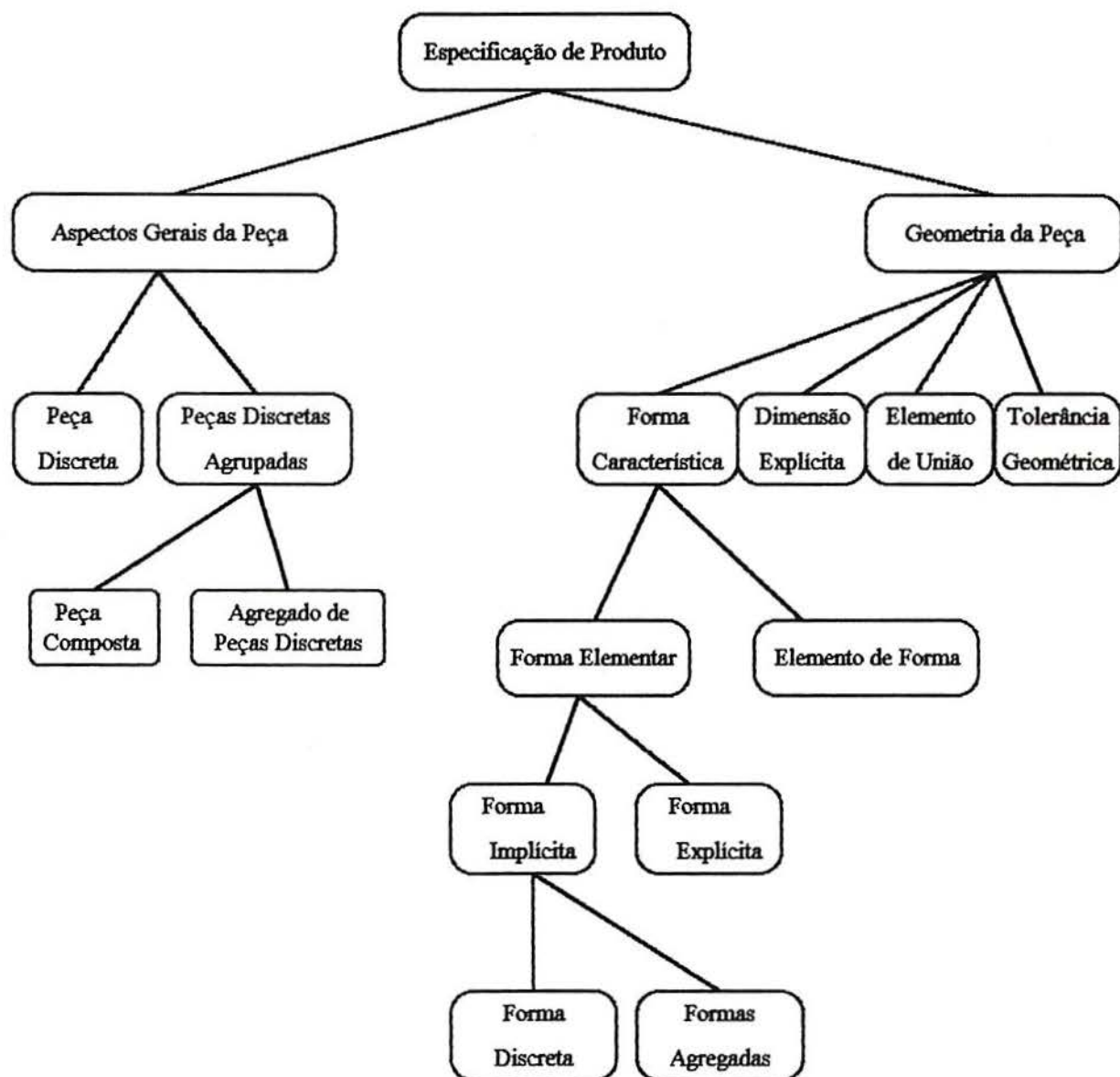


Figura C.1 - Esquema básico do ramo da *árvore de objectos* correspondente à *informação sobre especificação de produto*.

- » informação sobre *forma característica* (3)
- » elemento de forma (4)
- » chanfro (5)
- » chanfro do tipo 1 (6)
- » chanfro do tipo 2 (6)
- » chanfro do tipo 3 (6)
- » chanfro do tipo 4 (6)
- » chanfro do tipo 5 (6)
- » chanfro do tipo 6 (6)
- » concordância (5)
- » concordância do tipo 1 (6)
- » concordância do tipo 2 (6)
- » concordância do tipo 3 (6)
- » concordância do tipo 4 (6)
- » concordância do tipo 5 (6)
- » concordância do tipo 6 (6)
- » perfil de rosca (5)
- » perfil de rosca triangular (6)
- » perfil de rosca Whitworth inglês (7)
- » perfil de rosca Whitworth inglês normal (8)
- » perfil de rosca Whitworth inglês normal / parafuso (9)
- » perfil de rosca Whitworth inglês normal / porca (9)
- » perfil de rosca Whitworth inglês fina (8)
- » perfil de rosca Whitworth inglês fina / parafuso (9)
- » perfil de rosca Whitworth inglês fina / porca (9)
- » perfil de rosca Whitworth DIN (7)
- » perfil de rosca Whitworth DIN fina (8)
- » perfil de rosca Whitworth DIN fina / parafuso (9)
- » perfil de rosca Whitworth DIN fina / porca (9)
- » perfil de rosca Whitworth DIN média (8)
- » perfil de rosca Whitworth DIN média / parafuso (9)
- » perfil de rosca Whitworth DIN média / porca (9)
- » perfil de rosca Whitworth DIN grossa (8)
- » perfil de rosca Whitworth DIN grossa / parafuso (9)
- » perfil de rosca Whitworth DIN grossa / porca (9)
- » perfil de rosca triangular métrica DIN (7)
- » perfil de rosca triangular métrica DIN normal (8)
- » perfil de rosca triangular métrica DIN normal / parafuso (9)
- » perfil de rosca triangular métrica DIN normal / porca (9)
- » perfil de rosca triangular métrica DIN meio fina (8)

- » perfil de rosca triangular métrica DIN meio fina / parafuso (9)
- » perfil de rosca triangular métrica DIN meio fina / porca (9)
- » perfil de rosca triangular métrica DIN fina (8)
- » perfil de rosca triangular métrica DIN fina / parafuso (9)
- » perfil de rosca triangular métrica DIN fina / porca (9)
- » perfil de rosca triangular métrica DIN extra fina (8)
- » perfil de rosca triangular métrica DIN extra fina / parafuso (9)
- » perfil de rosca triangular métrica DIN extra fina / porca (9)
- » perfil de rosca triangular métrica / Sistema Internacional (S.I.) (7)
- » perfil de rosca triangular métrica S.I. normal (8)
- » perfil de rosca triangular métrica S.I. normal / parafuso (9)
- » perfil de rosca triangular métrica S.I. normal / porca (9)
- » perfil de rosca triangular métrica S.I. fina (8)
- » perfil de rosca triangular métrica S.I. fina / parafuso (9)
- » perfil de rosca triangular métrica S.I. fina / porca (9)
- » perfil de rosca quadrada (6)
- » perfil de rosca trapezoidal (6)
- » saliência (5)
- » saliência em forma de Tê (6)
- » saliência do tipo chaveta de extremidades curvadas (6)
- » estria (5)
- » entalhe (5)
- » entalhe revolutivo (6)
- » entalhe em forma de rabo de andorinha (6)
- » entalhe em forma de Tê (6)
- » entalhe sextavado (6)
- » entalhe semi-cilíndrico (6)
- » entalhe elipsoidal (6)
- » entalhe em forma de U (6)
- » entalhe em forma de Vê (6)
- » entalhe em forma de chaveta (6)
- » chaveta de extremidades planas (7)
- » chaveta de extremidades planas aplicada à superfície plana (8)
- » chaveta de extremidades planas aplicada à superfície cilíndrica côncava (8)
- » chaveta de extremidades planas aplicada à superfície cilíndrica convexa (8)
- » chaveta de extremidades curvadas (7)
- » chaveta de extremidades curvadas aplicada à superfície plana (8)
- » chaveta de extremidades curvadas aplicada à superfície cilíndrica côncava (8)
- » chaveta de extremidades curvadas aplicada à superfície cilíndrica convexa (8)
- » chaveta de fundo curvado (7)

- » chaveta de fundo curvado aplicada à superfície plana (8)
- » chaveta de fundo curvado aplicada à superfície cilíndrica côncava (8)
- » chaveta de fundo curvado aplicada à superfície cilíndrica convexa (8)
- » semi-chaveta de extremidades planas (7)
- » semi-chaveta de extremidades planas aplicada à superfície plana (8)
- » semi-chaveta de extremidades planas aplicada à superfície cilíndrica côncava (8)
- » semi-chaveta de extremidades planas aplicada à superfície cilíndrica convexa (8)
- » semi-chaveta de extremidades curvadas (7)
- » semi-chaveta de extremidades curvadas aplicada à superfície plana (8)
- » semi-chaveta de extremidades curvadas aplicada à superf. cilíndrica côncava (8)
- » semi-chaveta de extremidades curvadas aplicada à superf. cilíndrica convexa (8)
- » semi-chaveta de fundo curvado (7)
- » semi-chaveta de fundo curvado aplicada à superfície plana (8)
- » semi-chaveta de fundo curvado aplicada à superfície cilíndrica côncava (8)
- » semi-chaveta de fundo curvado aplicada à superfície cilíndrica convexa (8)
- » entalhe helicoidal (6)
- » entalhe helicoidal de secção trapezoidal (7)
- » entalhe helicoidal de secção rectangular (7)
- » entalhe helicoidal de secção triangular (7)
- » entalhe helicoidal de secção semi-circular (7)
- » furo (5)
- » furo de secção circular (6)
- » furo cónico (7)
- » furo cilíndrico (7)
- » furo trepanado de secção circular (7)
- » furo de secção não-circular (6)
- » furo rectangular (7)
- » furo sextavado (7)
- » rebaixamento de furo (5)
- » rebaixamento cónico (6)
- » rebaixamento cilíndrico (6)
- » rebaixamento misto (6)
- » *forma* elementar (4)
- » *forma* implícita (5)
- » *forma* discreta (6)
- » primitiva de volume axissimétrica (7)
- » esfera (8)
- » cilindro circular recto (8)
- » cilindro circular não-recto (8)
- » tronco de cone circular recto (8)

- » primitiva de volume de simetria dependente (7)
- » secção de forma toroidal (8)
- » secção de toro (9)
- » secção de semi-toro (9)
- » secção de toróide (9)
- » secção de toróide rectangular (10)
- » secção de toróide elipsoidal (10)
- » secção de toróide hexagonal (10)
- » primitiva de volume não-axissimétrica (7)
- » semi-cilindro circular recto (8)
- » semi-cone circular recto (8)
- » cilindro elipsoidal recto (8)
- » *forma* prismática (8)
- » prisma triangular (9)
- » prisma hexagonal (9)
- » paralelepípedo (9)
- » paralelepípedo rectangular (10)
- » paralelepípedo não-rectangular (10)
- » *forma* poliédrica (8)
- » poliedro (9)
- » dodecaedro regular (10)
- » pirâmide (10)
- » pirâmide de base triangular (11)
- » pirâmide de base quadrada (11)
- » pirâmide de base hexagonal (11)
- » secção de poliedro (9)
- » secção de pirâmide (10)
- » *formas* agregadas (6)
- » *formas* agregadas sobre circunferência (7)
- » *formas* agregadas sobre recta (7)
- » *forma explícita* (5)
- » *forma característica* obtida por revolução de perfil (6)
- » *forma característica* obtida por projecção de perfil (6)
- » *forma característica* obtida pela modificação de *forma característica* (6)
- » *forma composta* por justaposição de *formas características* (6)
- » *forma composta* por interpenetração de *formas características* (6)

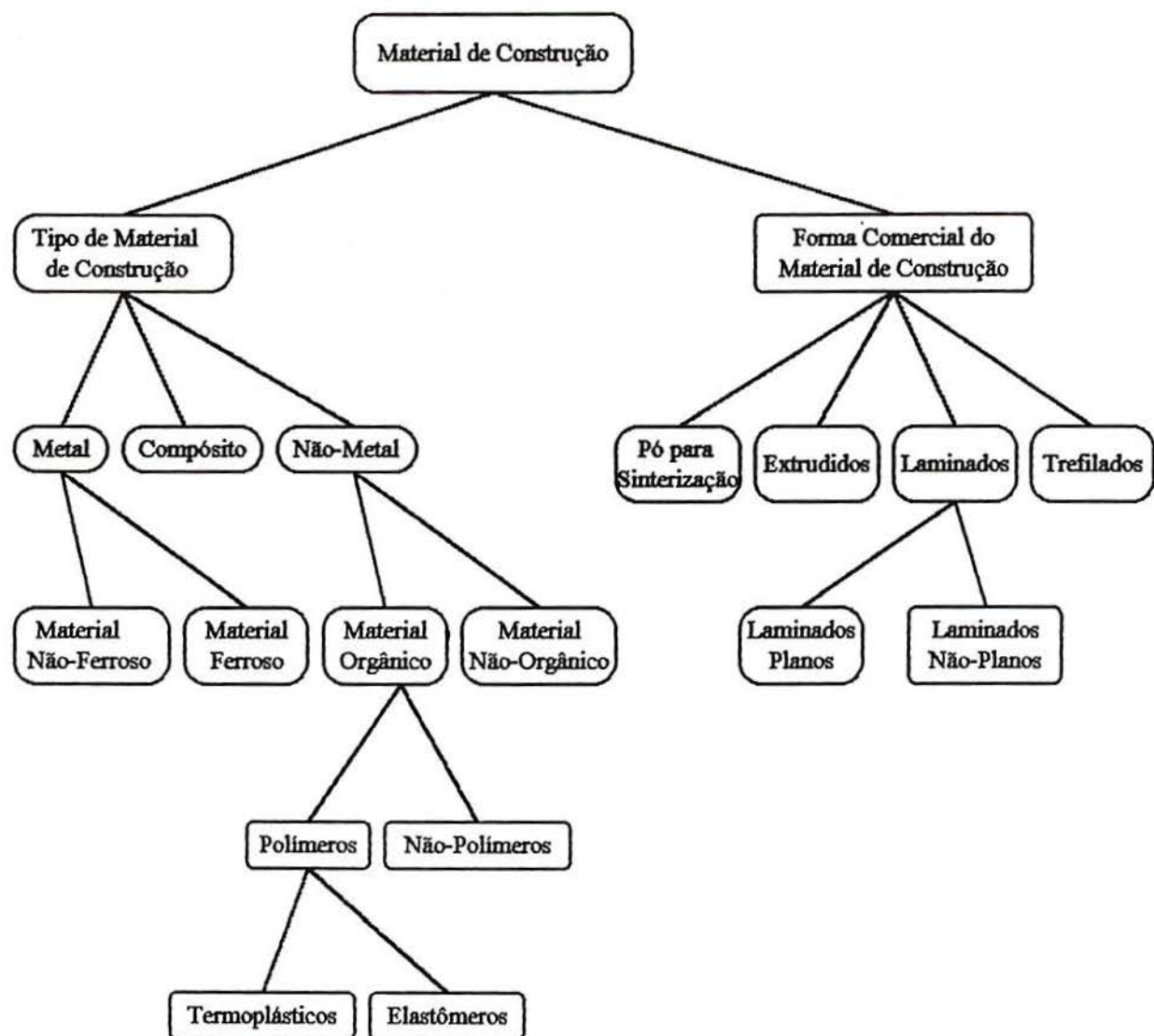


Figura C.2 - Esquema básico do ramo da *árvore de objectos* correspondente à *informação sobre material de construção*.

—» **informação sobre material de construção (1)**

—» **tipo de material (2)**

—» **não-metal (3)**

—» **material orgânico (4)**

—» **polímero (5)**

—» **termoplástico (6)**

—» **acetal (7)**

—» **poliacetal (8)**

—» **acrílico (7)**

—» **celulose (7)**

—» **etil (8)**

—» **acetato (8)**

—» **acetato butirato (8)**

—» **acetato propionato (8)**

- » poliolefina (7)
- » polietileno (8)
- » polipropileno (8)
- » poliestireno (7)
- » poliestireno simples (8)
- » ABS (8)
- » SAN (8)
- » policarbonato (7)
- » poliamida (7)
- » nylon (8)
- » vinil (7)
- » PVC (8)
- » acetato de polivinil (8)
- » fluorocarbono (7)
- » polisulfona (7)
- » termoduro (6)
- » resina fenólica (7)
- » epóxi (7)
- » poliéster (7)
- » poliéster insaturado (8)
- » elastômero (6)
- » elastômero sintético (7)
- » butil (8)
- » nitrilo (8)
- » neoprene (8)
- » silicone (8)
- » polissulfido (8)
- » etileno propileno (8)
- » poli-isoprene (8)
- » estireno butadieno (8)
- » fluoro-silicone (8)
- » poliuretano (8)
- » polietileno cloro sulfonado (8)
- » borracha natural (7)
- » não-polímero (5)
- » carbono (6)
- » madeira (6)
- » fibra (6)
- » material cerâmico (6)
- » alumina (7)

- » magnésia (7)
- » caulim (7)
- » feldspato (7)
- » esteatite (7)
- » material vítreo (6)
- » sílica (7)
- » soda zinco (7)
- » soda lime (7)
- » alumina silicato (7)
- » boro silicato (7)
- » quartzo (7)
- » material inorgânico (4)
- » mica (5)
- » asbesto (5)
- » material compósito (3)
- » metal (3)
- » material não-ferroso (4)
- » metal duro (5)
- » metal duro P50 (6)
- » metal duro M40 (6)
- » metal duro K40 (6)
- » liga de cobre (5)
- » cobre de fundição (6)
- » bronze (6)
- » latão (6)
- » argentão (6)
- » liga de alumínio (5)
- » liga de chumbo (5)
- » liga de estanho (5)
- » liga de magnésio (5)
- » liga de berílio (5)
- » liga de zinco (5)
- » liga de níquel (5)
- » liga de cobalto (5)
- » liga de titânio (5)
- » liga de tantálio (5)
- » liga de tungstênio (5)
- » liga de molibdênio (5)
- » liga de prata (5)
- » liga de ouro (5)

- » liga de platina (5)
- » material ferroso (4)
- » ferro (5)
- » ferro gusa (5)
- » ferro fundido (5)
- » ferro fundido com alta liga (6)
- » ferro fundido dúctil de alta liga (7)
- » ferro fundido branco de alta liga (7)
- » ferro fundido cinzento de alta liga (7)
- » ferro fundido sem liga (6)
- » ferro fundido dúctil (7)
- » ferro fundido maleável (7)
- » ferro fundido cinzento (7)
- » ferro fundido branco (7)
- » aço (5)
- » aço de construção (6)
- » aço de construção para molas (7)
- » aço 50CrV4 (8)
- » aço de construção para engrenagens (7)
- » aço 20MnCr5 (8)
- » aço de construção para beneficiamento (7)
- » aço C22 (8)
- » aço 25CrMo4 (8)
- » aço de construção inoxidável (7)
- » aço X7Cr13 (8)
- » aço de construção para tempêra superficial (7)
- » aço Ck45 (8)
- » aço 45CrV7 (8)
- » aço de construção para cementação (7)
- » aço 15Cr3 (8)
- » aço Ck15 (8)
- » aço-ferramenta (6)
- » aço-ferramenta para cementação (7)
- » aço 14NiCr14 (8)
- » aço-ferramenta para nitruração (7)
- » aço 31CrMoV9 (8)
- » aço 34CrAlMo5 (8)
- » aço-ferramenta inoxidável (7)
- » aço X90CrMoV18 (8)
- » aço-ferramenta rápido (7)

- » aço 130WV42,38 (8)
- » aço-ferramenta para trabalho a quente (7)
- » aço X30WCrV9 3 (8)
- » aço-ferramenta para matriz de trabalho a quente (7)
- » aço 56NiCrMoV7 (8)
- » aço-ferramenta auto-temperante (7)
- » aço 50NiCr13 (8)
- » aço-ferramenta temperável em água (7)
- » aço 142WCrV13 (8)
- » aço-ferramenta de pouca variação dimensional (7)
- » aço 100WCr6 (8)
- » aço-ferramenta resistente ao choque (7)
- » aço 35WCrV7 (8)
- » aço-ferramenta refratário (7)
- » aço X20CrNiSi25 4 (8)
- » aço especial (6)
- » aço especial amagnético (7)
- » aço especial para ímã (7)
- » aço especial para baixas temperaturas (7)
- » forma comercial do material (2)
- » pó para sinterização (3)
- » forma do material laminado (3)
- » forma do laminado plano (4)
- » rolo (5)
- » chapa (5)
- » tira (5)
- » tubo com costura (5)
- » forma do laminado não-plano (4)
- » bloco (5)
- » trilho (5)
- » trilho de perfil em I (6)
- » trilho de perfil em I curto (7)
- » trilho de perfil em I longo (7)
- » trilho de perfil em Tê (6)
- » trilho de perfil em U (6)
- » trilho de perfil em Zê (6)
- » trilho de perfil simples (6)
- » trilho de perfil duplo (6)
- » cantoneira (6)
- » cantoneira de abas iguais (7)

- » cantoneira de abas desiguais (7)
- » vergalhão (5)
- » vergalhão de perfil circular (6)
- » vergalhão de perfil semi-circular (6)
- » vergalhão de perfil elipsoidal (6)
- » vergalhão de perfil hexagonal (6)
- » vergalhão de perfil rectangular (6)
- » vergalhão de perfil quadrado (6)
- » vergalhão de perfil quadrado de arestas vivas (7)
- » vergalhão de perfil quadrado de arestas arredondadas (7)
- » lingote (5)
- » forma do material extrudido (3)
- » cano (4)
- » tubo sem costura (4)
- » tubo sem costura quadrado (5)
- » tubo sem costura circular (5)
- » tubo sem costura hexagonal (5)
- » forma do material trefilado (3)
- » fio (4)
- » arame (4)
- » prego (4)
- » tela (4)

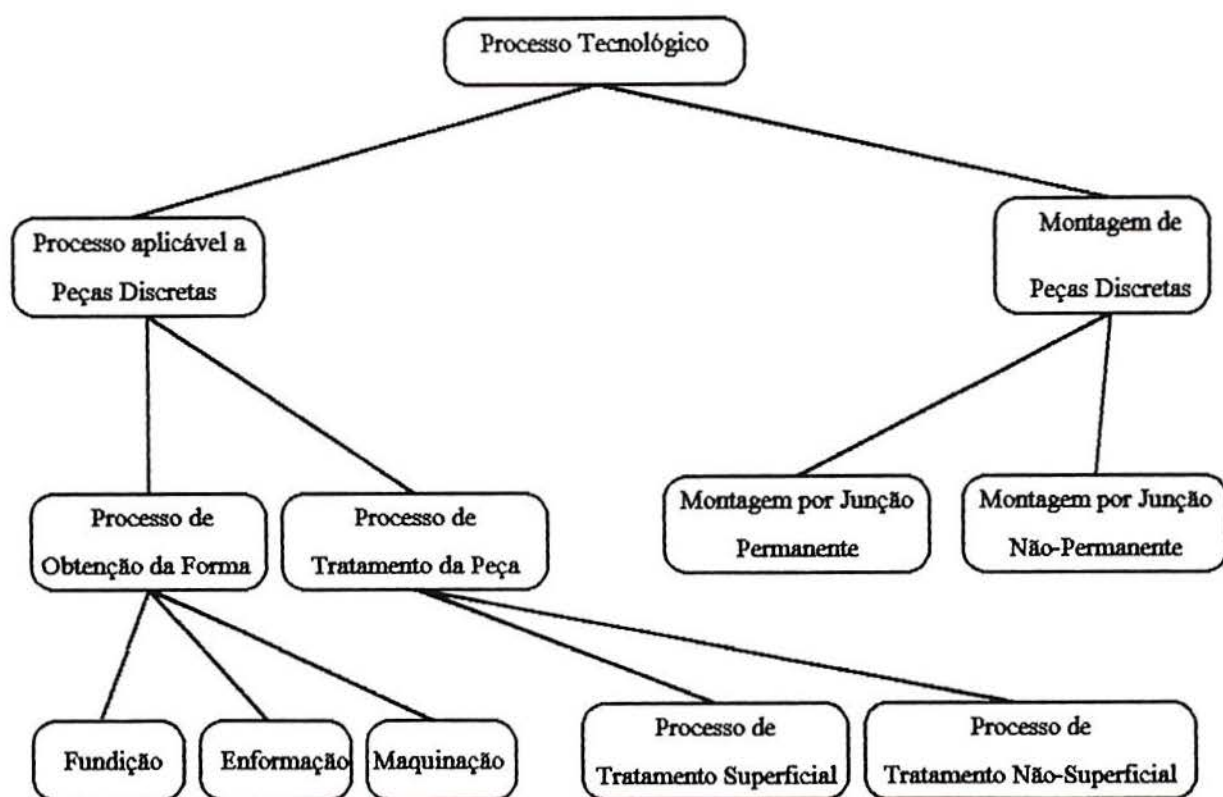


Figura C.3 - Esquema básico do ramo da *árvore de objectos* correspondente à *informação sobre processos tecnológicos de fabricação*.

- » **informação sobre processo tecnológico (1)**
- » **processo aplicável a peças discretas (componentes mecânicos) (2)**
- » **processo para obtenção da forma de peça discreta (3)**
- » **fundição (4)**
- » **fundição contínua (5)**
- » **fundição plena (5)**
- » **fundição em molde de areia (5)**
- » **fundição em molde cerâmico (5)**
- » **fundição em molde de gesso (5)**
- » **fundição de precisão (5)**
- » **fundição por centrifugação (5)**
- » **fundição em molde metálico (5)**
- » **fundição em molde permanente (6)**
- » **fundição sob pressão (6)**
- » **enformação (4)**
- » **enformação de metal (5)**
- » **laminação (6)**
- » **laminação a quente (7)**
- » **laminação a frio (7)**
- » **trefilação (6)**
- » **extrusão (6)**
- » **extrusão directa (7)**
- » **extrusão inversa (7)**
- » **sinterização (6)**
- » **repuxamento (6)**
- » **cunhagem (6)**
- » **enformação por electrodeposição (6)**
- » **enformação electromagnética (6)**
- » **traccionamento (6)**
- » **explosão (6)**
- » **forjamento (6)**
- » **forjamento em cilindros (7)**
- » **forjamento em matriz aberta (7)**
- » **forjamento em matriz fechada (7)**
- » **recalcação (7)**
- » **martelamento (7)**
- » **estampagem (6)**
- » **estampagem convencional (7)**
- » **estampagem de precisão (7)**
- » **estampagem profunda (7)**

- » enformação de compósito de matriz metálica (6)
- » enformação de não-metal (5)
- » enformação de material plástico (6)
- » moldação por injeção (7)
- » insuflação (7)
- » extrusão de plástico (7)
- » enformação de termoduro (7)
- » enformação de termoplástico (7)
- » moldação de espuma estrutural (7)
- » moldação rotacional (7)
- » enformação de compósito de matriz não-metálica (6)
- » enformação de material não-plástico (6)
- » enformação de material vítreo (7)
- » enformação de material cerâmico (7)
- » enformação de borracha (7)
- » maquinação (4)
- » aplainamento (5)
- » torneamento (5)
- » torneamento cilíndrico (6)
- » torneamento cónico (6)
- » torneamento de faceamento (6)
- » torneamento curvilíneo (6)
- » sangramento (6)
- » sangramento axial (7)
- » sangramento radial (7)
- » perfilamento (6)
- » perfilamento radial (7)
- » perfilamento axial (7)
- » fresamento (5)
- » fresamento frontal (6)
- » fresamento tangencial (6)
- » fresamento composto (6)
- » furação (5)
- » trepanação (6)
- » furação em cheio (6)
- » escareamento (6)
- » furação escalonada (6)
- » furação de centro (pré-furação) (6)
- » rebaixação (5)
- » brochamento (5)

- » mandrilagem (5)
- » mandrilagem cilíndrica (6)
- » mandrilagem cónica (6)
- » mandrilagem radial (6)
- » mandrilagem esférica (6)
- » corte (5)
- » serração (6)
- » serração rectilínea (7)
- » serração circular (7)
- » corte por chamas (6)
- » corte a laser (6)
- » limaagem (5)
- » entalhamento (5)
- » alargamento (5)
- » roscamento (5)
- » electroerosão (5)
- » denteamento por geração (5)
- » maquinaagem por abrasão ou rebarbaagem (5)
- » rectificaagem (6)
- » rectificaagem cilíndrica (7)
- » rectificaagem cilíndrica de exteriores (8)
- » rectificaagem cilíndrica de interiores (8)
- » rectificaagem cónica (7)
- » rectificaagem plana (7)
- » rectificaagem frontal (7)
- » polimento (6)
- » lixamento (6)
- » recartilhado (6)
- » esmiuçado (6)
- » afiaagem (6)
- » lapidaagem (6)
- » super-acabamento (6)
- » rasqueteamento (6)
- » brunimento (6)
- » jacteaagem (6)
- » tamboreamento (6)
- » processo de tratamento (3)
- » tratamento superficial (4)
- » limpeza (5)
- » limpeza por detergentes (6)

- » limpeza por solubilização (6)
- » limpeza por acção química (6)
- » limpeza por acção mecânica (6)
- » protecção superficial (5)
- » revestimento metálico (6)
- » protecção catódica (7)
- » cladização (7)
- » imersão a quente (7)
- » galvanização (8)
- » estanhação (8)
- » imersão em liga de Chumbo (8)
- » revestimento por electrodeposição (7)
- » cromatização dura (8)
- » cromatização decorativa (8)
- » electrodeposição do Zinco (8)
- » metalização (7)
- » difusão (7)
- » revestimento não-metálico (6)
- » revestimento não-metálico orgânico (7)
- » pintura (8)
- » impermeabilização (8)
- » revestimento não-metálico inorgânico (7)
- » anodização (8)
- » cromatização (8)
- » fosfatização (8)
- » esmaltação a porcelana (8)
- » tratamento não-superficial (4)
- » tratamento não-superficial de liga não-ferrosa (5)
- » endurecimento por precipitação (6)
- » tratamento térmico (5)
- » normalização (6)
- » revenido (6)
- » têmpera (6)
- » recozimento (6)
- » tratamento isotérmico (6)
- » austêmpera (7)
- » martêmpera (7)
- » tratamento termomecânico (5)
- » *ausforming* (6)
- » *marforming* (6)

- » *marstraining* (6)
- » tratamento termoquímico (5)
- » cementação (6)
- » nitruração (6)
- » carbonitruração (6)
- » sulfinuzação (6)
- » cianetação (6)
- » montagem (2)
- » montagem por junção permanente (3)
- » colagem (4)
- » soldadura (4)
- » soldadura por fusão (5)
- » soldadura por feixe electrónico (6)
- » soldadura a gás (6)
- » soldadura a arco (6)
- » soldadura a arco do tipo manual (7)
- » soldadura a arco do tipo automática submersa (7)
- » soldadura a arco com protecção de gás (7)
- » soldadura a arco de carbono (7)
- » soldadura a arco de hidrogénio atómico (7)
- » soldadura termoquímica (6)
- » soldadura a *laser* (6)
- » soldadura por pressão (5)
- » soldadura por fricção (6)
- » soldadura à resistência (6)
- » soldadura pontual à resistência (7)
- » soldadura contínua à resistência (7)
- » soldadura de topo à resistência (7)
- » soldadura por enchimento (5)
- » brasagem (6)
- » montagem por junção não-permanente (3)
- » montagem por pressão (4)
- » montagem por roscamento (4)
- » montagem por justaposição de componentes (4)

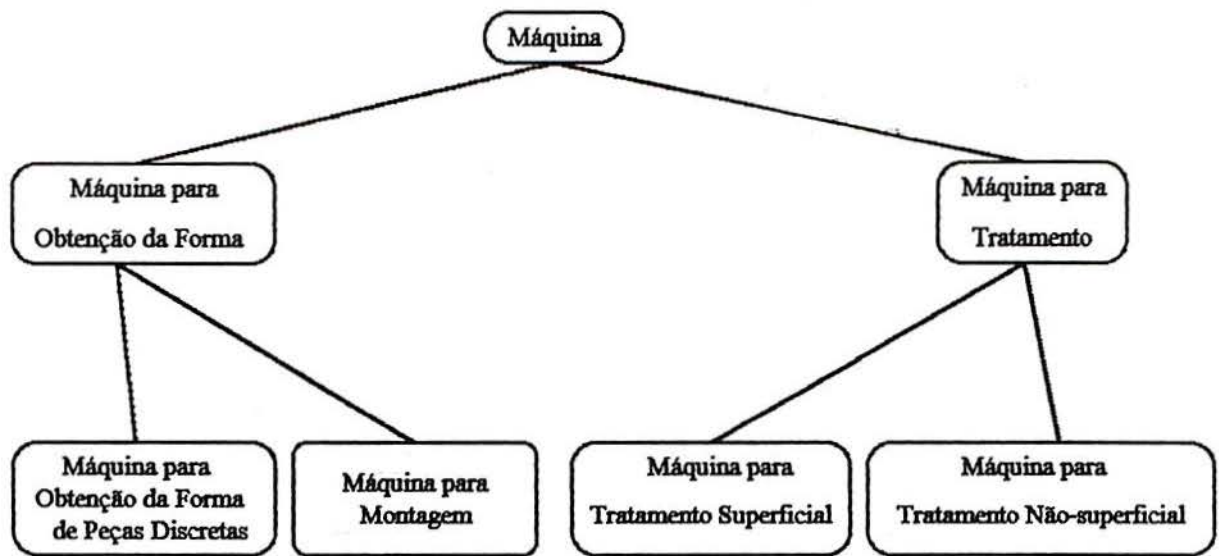


Figura C.4 - Esquema básico do ramo da *árvore de objectos* correspondente à *informação sobre máquinas*.

- » **informação sobre máquina (1)**
- » máquina para tratamento (2)
- » máquina para tratamento superficial (3)
- » máquina para limpeza (4)
- » máquina para protecção superficial (4)
- » máquina para tratamento não-superficial (3)
- » forno especial para tratamento térmico (4)
- » forno à electricidade (5)
- » forno à gás (5)
- » forno à óleo (5)
- » máquina para obtenção da forma (2)
- » máquina para obtenção da forma de peça discreta (3)
- » forno (4)
- » forno cubilô (5)
- » alto-forno (5)
- » forno *Siemens-Martin* (5)
- » conversor *Bessemer* (5)
- » forno eléctrico (5)
- » forno eléctrico a arco (6)
- » forno eléctrico de indução (6)
- » máquina para enformação (4)
- » prensa (5)
- » prensa para forjamento (6)
- » prensa para forjamento a frio (7)
- » prensa para forjamento a quente (7)

- » prensa para extrusão (6)
- » prensa para extrusão de metais (7)
- » prensa para extrusão de metais ferrosos (8)
- » prensa para extrusão de metais não-ferrosos (8)
- » prensa para extrusão de plásticos (7)
- » prensa para extrusão de borracha (7)
- » prensa para moldação de borracha (6)
- » prensa para curvar arames e fios (6)
- » prensa para cunhagem (6)
- » prensa para moldação de termoduros (6)
- » prensa para moldação de termoplásticos (6)
- » prensa para estamperia (6)
- » prensa para puncionar (7)
- » prensa para curvar chapas (7)
- » prensa para curvar chapas do tipo universal (8)
- » prensa para curvar chapas do tipo curvado inicial (8)
- » prensa para curvar chapas do tipo piramidal (8)
- » prensa para curvar perfis (7)
- » prensa para dobrar tubos (7)
- » prensa para dobrar chapas (7)
- » martelo de forja (5)
- » trefilador (5)
- » laminador (5)
- » laminador primário (6)
- » laminador secundário (6)
- » insuflador de plásticos (5)
- » injector de plásticos (5)
- » máquina para moldação rotacional de plásticos (5)
- » forno de sinterização (5)
- » máquina-operatriz para operações de maquinação (4)
- » máquina de grande remoção de massa (5)
- » serradeira (6)
- » serradeira de fita (7)
- » serradeira de movimento circular (7)
- » serradeira de movimento rectilíneo (7)
- » serradeira de movimento alternativo (8)
- » serradeira de movimento não-alternativo (8)
- » tesoura (6)
- » cisalhadeira (6)
- » máquina para corte a *laser* (6)

- » máquina para corte a jacto de areia (6)
- » máquina de média remoção de massa (5)
- » plaina (6)
- » plaina de ponte (7)
- » plaina de braço (7)
- » entalhadeira (6)
- » máquina para construção de engrenagens (6)
- » máquina para construção de engrenagens cilíndricas e helicoidais (7)
- » máquina para construção de engrenagens cónicas (7)
- » mandriladora (6)
- » fresadora (6)
- » fresadora vertical (7)
- » centro de maquinação vertical (8)
- » fresadora horizontal (7)
- » centro de maquinação horizontal (8)
- » fresadora mista (7)
- » centro de maquinação misto (8)
- » brochadeira (6)
- » torno (6)
- » torno de cilindrar (7)
- » torno de cilindrar e roscar (7)
- » centro de torneamento (7)
- » furadeira (6)
- » furadeira de coluna (7)
- » furadeira de bancada (7)
- » furadeira radial (7)
- » furadeira portátil (7)
- » máquina de pequena remoção de massa (5)
- » lapidadora (6)
- » polidora (6)

- » polidora de peças planas (7)
- » polidora de peças cilíndricas (7)
- » afiadora (6)
- » máquina para brunimento (6)
- » limadora (6)
- » máquina para rebarbação (6)
- » rectificadora (6)
- » rectificadora universal (7)
- » rectificadora de ferramental (7)
- » rectificadora especial (7)
- » rectificadora sem centros (8)
- » rectificadora de árvore de manivelas (8)
- » rectificadora cilíndrica (7)
- » rectificadora cilíndrica de interiores (8)
- » rectificadora cilíndrica de exteriores (8)
- » rectificadora plana (7)
- » máquina de micro-remoção de massa (5)
- » máquina para electroerosão (6)
- » máquina para maquinação electroquímica (6)

- » máquina para montagem (3)
- » máquina para montagem por junção não-permanente (4)
- » máquina para montagem por junção permanente (4)

- » rebitadora (5)

- » forno para brasagem (5)

- » soldadora (5)
- » soldadora de tocha acetilénica (6)
- » ferro de soldadura (6)
- » soldadora de feixe electrónico (6)
- » soldadora por ultra-som (6)
- » soldadora a *laser* (6)
- » soldadora a gás (6)
- » soldadora a arco (6)
- » soldadora a arco de corrente contínua (7)
- » soldadora a arco de corrente alternada (7)
- » soldadora à resistência (6)
- » soldadora por pontos (7)
- » soldadora contínua (7)

Apêndice D

D. A Implementação da *Base de Dados Orientada por Objectos*.

D.1. Considerações sobre a implementação da *base de dados*.

A *base de objectos* desenvolvida para a implementação do protótipo computacional utilizado para experimentação dos conceitos introduzidos nesta investigação refere-se à informação sobre o *produto* (com ênfase no que diz respeito à geometria das peças), *materiais de construção*, *processos tecnológicos* e *máquinas* de fabricação. Observe-se que todas as entidades representadas nesta *base* são referidas no Apêndice C.

A *base de dados* elaborada é *orientada por objectos*, utilizando mecanismos de *herança da informação*, que é transmitida pelos *objectos* aos seus descendentes. As estruturas dos *objectos* a serem apresentadas a seguir irão expor toda a informação existente neles, seja ela localmente definida ou herdada de outros *objectos*. Observe-se também que nem sempre será compulsória a atribuição de conteúdo a todos os campos descritores que estejam pré-definidos para o *objecto* a ser instanciado.

Observe-se que, no contexto deste trabalho, a *base de objectos* elaborada foi concebida de modo a que, na efectiva operação do sistema computacional, a instanciação de *objectos* somente deva ser efectuada sobre os nós-folhas da *estrutura básica* da árvore de *objectos*, que é aquela apresentada no Apêndice C. Assim, sempre que este trabalho se referir a uma *instância* de um *objecto*, estará se referindo a um *objecto* não relacionado naquele apêndice. Por outro lado, sempre que se referir a um *nó-folha*, estará referindo um *objecto* posicionado nos últimos níveis de descendência na árvore de *objectos* e *presente* na relação apresentada naquele apêndice.

D.2. A estrutura dos *objectos* da *base de dados*.

Para ilustração da maneira como a informação foi representada na *base*, serão apresentados a seguir exemplos da implementação efectuada relativamente à mesma, considerando-se cada ramo da árvore. Deve-se ter em conta que as classes de processos de fabricação válidas são respectivamente a *fundição*, a *enformação* e a *maquinação*, que podem ser conjuntamente indicadas respectivamente através dos campos *classe.de.proc.de.fabr.1*, *classe.de.proc.de.fabr.2* e *classe.de.proc.de.fabr.3*.

D.2.1. *Objectos* relativos à informação sobre *especificação de produto*.

Os *objectos* utilizados para a *especificação de produto* relacionam-se tanto à informação de carácter geométrico como à de carácter não-geométrico sobre peças mecânicas, estes relacionados com a criação do modelo geométrico da peça.

D.2.1.1. Objectos relativos à informação não-geométrica sobre peças mecânicas.

A representação da informação de carácter não-geométrico de uma peça discreta é efectuada através da instanciação do *objecto* da classe *peça.discreta*, descendente das entidades *informação sobre aspectos gerais da peça* (directamente) e *informação sobre especificação de produto*. A seguir será apresentado o *objecto* relativo à descrição da informação não-geométrica sobre as *peças discretas*.

Objecto: peça.discreta

Pai: peça

Campo: classe.da.peça

Campo: volume.peça

Campo: massa

Campo: peso

Campo: tipo.de.material.de.construção

Campo: forma.do.material.de.construção

Campo: identificador.forma.comercial

Campo: classe.de.proc.de.fabr.1

Campo: classe.de.proc.de.fabr.2

Campo: classe.de.proc.de.fabr.3

Campo: dureza.Rockwell.B.peça.acabada

Campo: dureza.Rockwell.C.peça.acabada

Campo: d.1

Campo: d.2

Campo: d.3

Campo: d.4

Campo: d.5

Campo: d.6

Campo: d.7

Campo: d.8

Campo: dproc.1

Campo: dproc.2

Campo: dproc.3

Campo: dproc.4

Campo: dproc.5

Campo: dproc.6

Campo: dproc.7

Campo: dproc.8

Campo: dproc.9

Campo: dproc.10

Campo: dproc.11

Campo: dproc.12

Campo: Projectista

Campo: tempo.unitário.de.produção

Campo: custo.unitário.de.produção

Campo: existência.em.depósito

Campo: unidades.armazenadas

Campo: unidades.por.lote

Campo: lotes.por.ano

Campo: unidades.por.ano

Deve-se observar o seguinte:

- os campos relativos ao *tipo*, à *forma* e ao *identificador da forma* do material de construção apontam obrigatoriamente para nomes de outros *objectos* existentes na *base de objectos*; os campos relativos ao *tipo* e à *forma do material* identificam *objectos* posicionados ao nível de nós-folhas, enquanto que o campo relativo ao *identificador da forma* do material identifica um *objecto* criado como instância do *objecto* apontado pelo campo *forma do material*, contendo o dimensionamento desta;
- os campos *d.1* a *d.8* e *dproc.1* a *dproc.12* dizem respeito aos *códigos de classificação* de peças discretas introduzidos e discutidos no Capítulo 4, respectivamente nos tópicos 4.2.2.1 e 4.3.2;
- o campo relativo à *classe.da.peça* está definido em conformidade com o exposto no tópico 3.3.1, Capítulo 3;

- d) os campos relativos às classes de processos de fabricação aplicáveis à peça, se possuírem conteúdo, devem referir obrigatoriamente *fundição*, *enformação* ou *maquinação*, sendo compulsória a indicação de ao menos uma dessas;
- e) observe-se que os campos denominados *Projectista*, *tempo.unitário.de.produção*, *custo.unitário.de.produção*, *existência.em.depósito*, *unidades.armazenadas*, *unidades.por.lote*, *lotes.por.ano* e *unidades.por.ano* foram anexados à definição dos *objectos* a título de ilustração do tipo de informação que pode estar presente na definição dos *objectos* - nesse caso, a informação está mais relacionada com o controle da *produção*; isso permite divisar melhor as potencialidades de utilização da *base de objectos* no desenvolvimento de *aplicações* mais complexas, que contemplem também o planeamento da produção, indirectamente relacionadas com o *Projecto Orientado à Fabricação*.

A seguir será apresentada a estrutura do *objecto* relativo à informação de carácter não-geométrico sobre *peças compostas*. O *objecto* relacionado com os *agregados de peças discretas*, possui a mesma forma geral.

Objecto: peça.composta

Pai: peças.discretas.agrupadas

Campo: classe.da.peça

Campo: volume.peça

Campo: massa

Campo: peso

Campo: Projectista

Campo: tempo.unitário.de.produção

Campo: custo.unitário.de.produção

Campo: existência.em.depósito

Campo: unidades.armazenadas

Campo: unidades.por.lote

Campo: lotes.por.ano

Campo: unidades.por.ano

D.2.1.2. *Objectos* relativos à descrição da geometria das peças.

O modelo geométrico da peça é descrito através da utilização de instâncias de *objectos* das classes *forma característica*, *união entre formas características*, *dimensão explícita* e *tolerância geométrica*. A seguir serão apresentadas as estruturas de alguns desses *objectos*.

D.2.1.2.1. *Objectos* relativos à informação sobre *formas características*.

De acordo com o exposto no Capítulo 3, os *objectos* relativos à informação sobre *formas características* estão organizados numa estrutura classificativa em árvore, em que todos os *objectos* são descendentes do *objecto* *informação sobre forma característica*. Porém, apenas os *objectos* posicionados como nós-folhas na árvore podem ser instanciados aquando da elaboração do modelo geométrico da peça. Alguns desses *objectos* serão apresentados a seguir. Considere-se o seguinte:

- a) os conteúdos dos campos que contêm valores pré-definidos serão apresentados entre parênteses (sejam eles localmente atribuídos ou herdados de *objectos* posicionados em níveis superiores na árvore de *objectos*); essa atribuição tanto pode se referir a valores definidos *por*

defeito ou a conteúdos a estarem obrigatoriamente presentes (estes serão indicados destacadamente em *grifo*);

- b) os valores relativos às dimensões (implícitas nas *formas* ou *explícitas*) são dados em milímetros;
- c) as dimensões implícitas nas *formas* ou as *dimensões explícitas* normalmente estarão representadas acompanhadas dos valores de suas tolerâncias, conforme definido no Capítulo 3, tópico 3.3.2.1.1;
- d) o *estado* das superfícies componentes da *forma* é indicado pelos valores admissíveis *real*, *virtual* ou *parcial*, armazenados nos campos da forma geral *Sfc.id*, onde *id* é o identificador da superfície da *forma característica*;
- e) a indicação sobre a rugosidade superficial especificada para cada superfície constituinte da *forma característica* é indicada pelos campos da forma geral *rug.Sfc.id*, onde *id* é o identificador da superfície da *forma característica*;
- f) a *linha de referência* da *forma* é representada pelos pontos extremos dessa (pontos A e B), cujas coordenadas são armazenadas;
- g) a informação relativa à transformação homogênea é representada através do *ponto de base* (ponto O) e a matriz de cossenos directores (l1, l2, l3, n1, n2, n3, m1, m2, m3); as coordenadas do ponto e os valores dos cossenos são armazenados nos campos dos *objectos*;
- h) o campo *fc.ref.pos.geom* indica a *forma característica* utilizada como referência para o posicionamento da *forma* representada pelo *objecto* em questão; se o conteúdo for nulo (0), significa que essa *forma* foi posicionada em termos do sistema de coordenadas globais.

O restante da informação constante nos *objectos* também guarda estreita conformidade com o exposto no Capítulo 3, tópico 3.3.2.1.1. Para melhor compreensão da informação sobre as *formas características*, pode-se consultar a sua definição geométrica, apresentada no Apêndice B.

A seguir serão apresentadas as estruturas dos *objectos* relativos a alguns dos elementos representados na *base de formas características*, posicionados em nível de nós-folhas. Essa exposição inicia-se pelas *formas características* da classe *primitiva geométrica de volume*.

Objecto: cilindro.circular.recto

Pai: primitiva.de.volume.axissimétrica

Campo: tipo.de.forma.caract

Campo: simetria (= axissimétrica)

Campo: rotacionalidade (= rotacional)

Campo: compr

Campo: tolerância.s.compr

Campo: tolerância.i.compr

Campo: r

Campo: tolerância.s.r

Campo: tolerância.i.r

Campo: Sfc.1

Campo: Sfc.2

Campo: Sfc.3

Campo: rug.Sfc.1

Campo: rug.Sfc.2

Campo: rug.Sfc.3

Campo: classe.de.proc.de.fabr.1

Campo: volume.fc

Campo: x.pto.A

Campo: y.pto.A

Campo: z.pto.A

Campo: x.pto.B

Campo: y.pto.B

Campo: z.pto.B

Campo: fc.ref.pos.geom

Campo: x.pto.O

Campo: y.pto.O

Campo: z.pto.O

Campo: l1

Campo: m1

Campo: n1

Campo: l2

Campo: m2

Campo: n2

Campo: l3

Campo: m3

Campo: n3

Objecto: tronco.de.cone.circular.recto
Pai: primitiva.de.volume.axissimétrica
Campo: tipo.de.forma.caract
Campo: simetria (= **axissimétrica**)
Campo: rotacionalidade (= **rotacional**)
Campo: compr
Campo: tolerância.s.compr
Campo: tolerância.i.compr
Campo: r
Campo: tolerância.s.r
Campo: tolerância.i.r
Campo: r.menor
Campo: tolerância.s.r.menor
Campo: tolerância.i.r.menor
Campo: Sfc.1
Campo: Sfc.2
Campo: Sfc.3
Campo: rug.Sfc.1
Campo: rug.Sfc.2
Campo: rug.Sfc.3
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1
Campo: volume.fc

Campo: x.pto.A
Campo: y.pto.A
Campo: z.pto.A
Campo: x.pto.B
Campo: y.pto.B
Campo: z.pto.B
Campo: fc.ref.pos.geom
Campo: x.pto.O
Campo: y.pto.O
Campo: z.pto.O
Campo: l1
Campo: m1
Campo: n1
Campo: l2
Campo: m2
Campo: n2
Campo: l3
Campo: m3
Campo: n3

Objecto: paralelepipedo.rectang
Pai: paralelepipedo
Campo: tipo.de.forma.caract
Campo: simetria (= **não.axissimétrica**)
Campo: rotacionalidade (= **não.rotacional**)
Campo: lado
Campo: tolerância.s.lado
Campo: tolerância.i.lado
Campo: lado.2
Campo: tolerância.s.lado.2
Campo: tolerância.i.lado.2
Campo: compr
Campo: tolerância.s.compr
Campo: tolerância.i.compr
Campo: Sfc.1
Campo: Sfc.2
Campo: Sfc.3
Campo: Sfc.4
Campo: Sfc.5
Campo: Sfc.6
Campo: rug.Sfc.1
Campo: rug.Sfc.2
Campo: rug.Sfc.3
Campo: rug.Sfc.4
Campo: rug.Sfc.5

Campo: rug.Sfc.6
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1
Campo: volume.fc
Campo: x.pto.A
Campo: y.pto.A
Campo: z.pto.A
Campo: x.pto.B
Campo: y.pto.B
Campo: z.pto.B
Campo: fc.ref.pos.geom
Campo: x.pto.O
Campo: y.pto.O
Campo: z.pto.O
Campo: l1
Campo: m1
Campo: n1
Campo: l2
Campo: m2
Campo: n2
Campo: l3
Campo: m3
Campo: n3

Observe-se que todas as *formas* pertencentes à classe *secção.de.forma.toroidal* são *primitivas de volume de simetria dependente*, sendo *axissimétricas* se o *ângulo da secção toroidal* for de 360° , e *não-axissimétricas* nos demais casos.

Objecto: secção.de.toróide.hexag.reg.1

Pai: secção.de.toróide.hexag

Campo: tipo.de.forma.caract

Campo: simetria (= **axissimétrica**)

Campo: rotacionalidade (= **rotacional**)

Campo: ângulo.da.secção.toroidal (= 360)

Campo: tolerância.s.do.ângulo.da.secção.toroidal

Campo: tolerância.i.do.ângulo.da.secção.toroidal

Campo: r.menor

Campo: tolerância.s.r.menor

Campo: tolerância.i.r.menor

Campo: Sfc.1

Campo: Sfc.2

Campo: Sfc.lat.1

Campo: Sfc.lat.2

Campo: Sfc.lat.3

Campo: Sfc.lat.4

Campo: Sfc.lat.5

Campo: Sfc.lat.6

Campo: rug.Sfc.1

Campo: rug.Sfc.2

Campo: rug.Sfc.lat.1

Campo: rug.Sfc.lat.2

Campo: rug.Sfc.lat.3

Campo: rug.Sfc.lat.4

Campo: rug.Sfc.lat.5

Campo: rug.Sfc.lat.6

Campo: classe.de.proc.de.fabr.1

Campo: volume.fc

Campo: x.pto.A

Campo: y.pto.A

Campo: z.pto.A

Campo: x.pto.B

Campo: y.pto.B

Campo: z.pto.B

Campo: fc.ref.pos.geom

Campo: x.pto.O

Campo: y.pto.O

Campo: z.pto.O

Campo: l1

Campo: m1

Campo: n1

Campo: l2

Campo: m2

Campo: n2

Campo: l3

Campo: m3

Campo: n3

A seguir serão apresentadas as estruturas de *objectos* relativos a *formas características* da classe *elemento de forma*.

Objecto: chaveta.de.extremidades.curvadas.aplicada.à.Sfc.cilíndrica.côncava

Pai: chaveta.de.extremidades.curvadas

Campo: tipo.de.forma.caract

(= **volume-negativo**)

Campo: simetria (= **não.axissimétrica**)

Campo: rotacionalidade (= **não.rotacional**)

Campo: tipo.de.chaveta

Campo: compr

Campo: tolerância.s.compr

Campo: tolerância.i.compr

Campo: r

Campo: tolerância.s.r

Campo: tolerância.i.r

Campo: r.ponta

Campo: tolerância.s.r.ponta

Campo: tolerância.i.r.ponta

Campo: alt

Campo: tolerância.s.alt

Campo: tolerância.i.alt

Campo: larg

Campo: tolerância.s.larg

Campo: tolerância.i.larg

Campo: Sfc.1

Campo: Sfc.2

Campo: Sfc.3

Campo: Sfc.4

Campo: Sfc.topo (= **virtual**)

Campo: Sfc.fundo

Campo: rug.Sfc.1

Campo: rug.Sfc.2

Campo: rug.Sfc.3
Campo: rug.Sfc.4
Campo: rug.Sfc.fundo
Campo: rug.Sfc.topo
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1
Campo: volume.fc
Campo: x.pto.A
Campo: y.pto.A
Campo: z.pto.A
Campo: x.pto.B
Campo: y.pto.B
Campo: z.pto.B
Campo: fc.ref.pos.geom

Campo: x.pto.O
Campo: y.pto.O
Campo: z.pto.O
Campo: l1
Campo: m1
Campo: n1
Campo: l2
Campo: m2
Campo: n2
Campo: l3
Campo: m3
Campo: n3

Observe-se que a informação presente nos *objectos* foi estruturada conforme as características das *bases de objectos* apontadas no Apêndice A, tópico A.2. Assim, por exemplo, parte da informação presente nos *objectos* apresentados acima foi definida da seguinte maneira nos diversos *objectos* seus ascendentes:

Objecto: info.forma.caracteristica
Pai: info.geometria.de.peca

Campo: fc.ref.pos.geom
Campo: x.pto.O
Campo: y.pto.O
Campo: z.pto.O
Campo: l1
Campo: m1
Campo: n1

Campo: l2
Campo: m2
Campo: n2
Campo: l3
Campo: m3
Campo: n3

Objecto: forma.discreta
Pai: forma.implicita

Campo: tipo.de.caract.forma
Campo: simetria

(= não.axissimétrica)

Campo: rotacionalidade (= não.rotacional)
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1
Campo: volume.fc

Campo: x.pto.A
Campo: y.pto.A
Campo: z.pto.A
Campo: x.pto.B
Campo: y.pto.B
Campo: z.pto.B

Objecto: elemento.de.forma
Pai: forma.discreta

Campo: compr
Campo: tolerância.s.compr
Campo: tolerância.i.compr
Campo: tipo.de.caract.forma
Campo: simetria (= não.axissimétrica)
Campo: rotacionalidade (= não.rotacional)
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1

Campo: volume.fc
Campo: x.pto.A
Campo: y.pto.A
Campo: z.pto.A
Campo: x.pto.B
Campo: y.pto.B
Campo: z.pto.B

De notar que existem também os campos descritores dos *objectos* nós-folhas definidos localmente.

Basicamente, a composição da informação de todos os *objectos* da *base* está relacionada com a optimização da estrutura de *informação a ser compartilhada* pelos diversos *objectos*. A composição e a estruturação da *árvore* estão relacionadas com isso também, mas são basicamente condicionadas pela representação dos diversos níveis de abstracção utilizados no raciocínio desenvolvido sobre as entidades significativas para o *projecto* e a *fabricação* de componentes mecânicos.

As *formas características* que representam a presença das *roscas* são subdivididas em *perfis de roscas* relativos à *porca* (definido como volume-negativo) e ao *parafuso* (definido como volume-positivo). Os *objectos* relativos à representação dessas *formas* são apresentados a seguir.

Objecto: perfil.rosca.triangular.métrica.sistema.SI.normal.parafuso

Pai: perfil.rosca.triangular.métrica.sistema.SI.normal

<u>Campo</u> : tipo.de.forma.caract (= volume-positivo)	<u>Campo</u> : Sfc.2 (=real)
<u>Campo</u> : simetria (= não.axissimétrica)	<u>Campo</u> : Sfc.roscada.1 (=real)
<u>Campo</u> : rotacionalidade (= rotacional)	<u>Campo</u> : Sfc.roscada.2 (=real)
<u>Campo</u> : diâmetro.nominal	<u>Campo</u> : rug.Sfc.1
<u>Campo</u> : compr	<u>Campo</u> : rug.Sfc.1
<u>Campo</u> : tolerância.s.compr	<u>Campo</u> : rug.Sfc.roscada.1
<u>Campo</u> : tolerância.i.compr	<u>Campo</u> : rug.Sfc.roscada.2
<u>Campo</u> : diâmetro.interno	<u>Campo</u> : classe.de.proc.de.fabr.1
<u>Campo</u> : tolerância.s.diâmetro.interno	<u>Campo</u> : volume.fc
<u>Campo</u> : tolerância.i.diâmetro.interno	<u>Campo</u> : x.pto.A
<u>Campo</u> : diâmetro.primitivo	<u>Campo</u> : y.pto.A
<u>Campo</u> : tolerância.s.diâmetro.primitivo	<u>Campo</u> : z.pto.A
<u>Campo</u> : tolerância.i.diâmetro.primitivo	<u>Campo</u> : x.pto.B
<u>Campo</u> : t	<u>Campo</u> : y.pto.B
<u>Campo</u> : tolerância.s.t	<u>Campo</u> : z.pto.B
<u>Campo</u> : tolerância.i.t	<u>Campo</u> : fc.ref.pos.geom
<u>Campo</u> : prof.da.rosca	<u>Campo</u> : x.pto.O
<u>Campo</u> : tolerância.s.prof.da.rosca	<u>Campo</u> : y.pto.O
<u>Campo</u> : tolerância.i.prof.da.rosca	<u>Campo</u> : z.pto.O
<u>Campo</u> : r.arredond	<u>Campo</u> : l1
<u>Campo</u> : tolerância.s.r.arredond	<u>Campo</u> : m1
<u>Campo</u> : tolerância.i.r.arredond	<u>Campo</u> : n1
<u>Campo</u> : sentido.da.rosca (= dextrógiro)	<u>Campo</u> : l2
<u>Campo</u> : número.de.entradadas	<u>Campo</u> : m2
<u>Campo</u> : passo.aparente	<u>Campo</u> : n2
<u>Campo</u> : passo	<u>Campo</u> : l3
<u>Campo</u> : Sfc.1 (=real)	<u>Campo</u> : m3
	<u>Campo</u> : n3

Objecto: perfil.rosca.triangular.métrica.sistema.SI.normal.porca

Pai: perfil.rosca.triangular.métrica.sistema.SI.normal

<u>Campo</u> : tipo.de.forma.caract (= volume-negativo)	<u>Campo</u> : diâmetro.nominal
<u>Campo</u> : simetria (= não.axissimétrica)	<u>Campo</u> : compr
<u>Campo</u> : rotacionalidade (= rotacional)	<u>Campo</u> : tolerância.s.compr
	<u>Campo</u> : tolerância.i.compr

<u>Campo:</u> diâmetro.externo	<u>Campo:</u> Sfc.roskada.2 (=real)
<u>Campo:</u> tolerância.s.diâmetro.externo	<u>Campo:</u> rug.Sfc.1
<u>Campo:</u> tolerância.i.diâmetro.externo	<u>Campo:</u> rug.Sfc.1
<u>Campo:</u> diâmetro.interno	<u>Campo:</u> rug.Sfc.roskada.1
<u>Campo:</u> tolerância.s.diâmetro.interno	<u>Campo:</u> rug.Sfc.roskada.2
<u>Campo:</u> tolerância.i.diâmetro.interno	<u>Campo:</u> classe.de.proc.de.fabr.1
<u>Campo:</u> diâmetro.primitivo	<u>Campo:</u> volume.fc
<u>Campo:</u> tolerância.s.diâmetro.primitivo	<u>Campo:</u> x.pto.A
<u>Campo:</u> tolerância.i.diâmetro.primitivo	<u>Campo:</u> y.pto.A
<u>Campo:</u> t	<u>Campo:</u> z.pto.A
<u>Campo:</u> tolerância.s.t	<u>Campo:</u> x.pto.B
<u>Campo:</u> tolerância.i.t	<u>Campo:</u> y.pto.B
<u>Campo:</u> prof.da.rosca	<u>Campo:</u> z.pto.B
<u>Campo:</u> tolerância.s.prof.da.rosca	<u>Campo:</u> fc.ref.pos.geom
<u>Campo:</u> tolerância.i.prof.da.rosca	<u>Campo:</u> x.pto.O
<u>Campo:</u> r.arredond	<u>Campo:</u> y.pto.O
<u>Campo:</u> tolerância.s.r.arredond	<u>Campo:</u> z.pto.O
<u>Campo:</u> tolerância.i.r.arredond	<u>Campo:</u> l1
<u>Campo:</u> sentido.da.rosca (= dextrógiro)	<u>Campo:</u> m1
<u>Campo:</u> número.de.entradas	<u>Campo:</u> n1
<u>Campo:</u> passo.aparente	<u>Campo:</u> l2
<u>Campo:</u> passo	<u>Campo:</u> m2
<u>Campo:</u> r.cilindro.base	<u>Campo:</u> n2
<u>Campo:</u> Sfc.1 (=virtual)	<u>Campo:</u> l3
<u>Campo:</u> Sfc.2 (=virtual)	<u>Campo:</u> m3
<u>Campo:</u> Sfc.roskada.1 (=real)	<u>Campo:</u> n3

Com relação aos furos, note-se que, se o *ângulo de fundo* possuir valor nulo e a *superfície de fundo* for virtual, caracterizar-se-á a existência de furos traspassantes.

<u>Objecto:</u> furo.cilíndrico	
<u>Pai:</u> furo.de.secção.arredondada	
<u>Campo:</u> tipo.de.forma.caract (= volume-negativo)	<u>Campo:</u> x.pto.A
<u>Campo:</u> simetria (= axissimétrica)	<u>Campo:</u> y.pto.A
<u>Campo:</u> rotacionalidade (= rotacional)	<u>Campo:</u> z.pto.A
<u>Campo:</u> tipo.de.fundo	<u>Campo:</u> x.pto.B
<u>Campo:</u> ângulo.de.fundo	<u>Campo:</u> y.pto.B
<u>Campo:</u> compr	<u>Campo:</u> z.pto.B
<u>Campo:</u> tolerância.s.compr	<u>Campo:</u> fc.ref.pos.geom
<u>Campo:</u> tolerância.i.compr	<u>Campo:</u> x.pto.O
<u>Campo:</u> r	<u>Campo:</u> y.pto.O
<u>Campo:</u> tolerância.s.r	<u>Campo:</u> z.pto.O
<u>Campo:</u> tolerância.i.r	<u>Campo:</u> l1
<u>Campo:</u> Sfc.lat	<u>Campo:</u> m1
<u>Campo:</u> Sfc.fundo	<u>Campo:</u> n1
<u>Campo:</u> Sfc.topo (= virtual)	<u>Campo:</u> l2
<u>Campo:</u> rug.Sfc.lat	<u>Campo:</u> m2
<u>Campo:</u> rug.Sfc.fundo	<u>Campo:</u> n2
<u>Campo:</u> classe.de.proc.de.fabr.1	<u>Campo:</u> l3
<u>Campo:</u> volume.fc	<u>Campo:</u> m3
	<u>Campo:</u> n3

Com relação às *formas agregadas*, observe-se que as *formas características* referidas pelos campos da forma *fc.ref.n* são as *formas* a serem posicionadas ao longo da circunferência (o seu número é indicado pelo campo *número de réplicas*). Observe-se que cada uma dessas *formas* deve estar individualmente definida na *base de objectos*.

Objecto: formas.agregadas.sobre.circunferência

Pai: formas.agregadas

Campo: r

Campo: tolerância.s.r

Campo: tolerância.i.r

Campo: ângulo.entre.fcs

Campo: tolerância.s.ângulo.entre.fcs

Campo: tolerância.i.ângulo.entre.fcs

Campo: número.de.réplicas

Campo: fc.ref.1

Campo: fc.ref.2

Campo: classe.de.proc.de.fabr.1

Campo: fc.ref.pos.geom

Campo: x.pto.O

Campo: y.pto.O

Campo: z.pto.O

Campo: l1

Campo: m1

Campo: n1

Campo: l2

Campo: m2

Campo: n2

Campo: l3

Campo: m3

Campo: n3

Com relação à *forma explícita* obtida por modificação de uma *forma implícita* (esta indicada no campo *fc.base*), observe-se que é possível ser definida uma classe de *forma característica* com que a *forma explícita* mantenha alguma relação de parentesco, através do campo *classe.presuntvel.da.fc* (o conteúdo desse campo possivelmente indicará a classe de *forma implícita* utilizada como *forma semente*). Admitindo-se que a *forma de base* fosse possuidora de "n" vértices, a sua representação poderia ser efectuada através do *objecto* a seguir:

Objecto: fc.obtida.de.fc.modificada

Pai: forma.explicita

Campo: tipo.de.forma.caract

Campo: simetria (= não.axissimétrica)

Campo: rotacionalidade (= não.rotacional)

Campo: classe.presuntvel.da.fc

Campo: fc.base

Campo: Sfc.1

Campo: forma.da.Sfc.1

Campo: rug.Sfc.1

Campo: classe.de.proc.de.fabr.1

Campo: volume.fc

Campo: x.pto.A

Campo: y.pto.A

Campo: z.pto.A

Campo: x.pto.B

Campo: y.pto.B

Campo: z.pto.B

Campo: fc.ref.pos.geom

Campo: x.pto.O

Campo: y.pto.O

Campo: z.pto.O

Campo: l1

Campo: m1

Campo: n1

Campo: l2

Campo: m2

Campo: n2

Campo: l3

Campo: m3

Campo: n3

Campo: x.pto.vértice.1

Campo: y.pto.vértice.1

Campo: z.pto.vértice.1

...

Campo: x.pto.vértice.n

Campo: y.pto.vértice.n

Campo: z.pto.vértice.n

Com relação à *forma* obtida pela *interpenetração* de duas outras, observe-se que deve ser indicado o processo de construção geométrica utilizado (*intersecção*, *unido* ou *diferença*). Neste último caso, a operação de diferença define-se como a subtração do volume indicado por *fc.ref.2* do volume indicado por *fc.ref.1* (isto é, "*fc.ref.1 - fc.ref.2*").

Objecto: forma.composta.por.interpenetração

Pai: forma.explicita

Campo: tipo.de.forma.caract

Campo: simetria (= não.axissimétrica)

Campo: rotacionalidade (= não.rotacional)

Campo: processo.de.construção.geométrica

Campo: classe.presumível.da.fc

Campo: fc.ref.1

Campo: fc.ref.2

Campo: Sfc.1

Campo: forma.da.Sfc.1

Campo: rug.Sfc.1

Campo: classe.de.proc.de.fabr.1

Campo: volume.fc

Campo: x.pto.A

Campo: y.pto.A

Campo: z.pto.A

Campo: x.pto.B

Campo: y.pto.B

Campo: z.pto.B

Campo: fc.ref.pos.geom

Campo: x.pto.O

Campo: y.pto.O

Campo: z.pto.O

Campo: l1

Campo: m1

Campo: n1

Campo: l2

Campo: m2

Campo: n2

Campo: l3

Campo: m3

Campo: n3

Com relação aos chanfros, note-se que as dimensões representadas (indicadas por *dimensão.1* e *dimensão.2*) possuem o mesmo valor caso o chanfro possua ângulo de 45°. Note-se ainda que as concordâncias possuem praticamente a mesma representação por *objectos* que os chanfros; considerando-se, porém, as peculiaridades de cada tipo de chanfro ou concordância evidentemente. O único campo acrescentado à definição das concordâncias denomina-se *tipo.Sfc.principal*, que indica a curvatura da(s) superfície(s) principal(ais) da *forma*, possuindo como conteúdos válidos "convexa" ou "côncava".

Objecto: chanfro.tipo.2

Pai: chanfro

Campo: tipo.de.forma.caract

Campo: simetria (= não.axissimétrica)

Campo: rotacionalidade (= não.rotacional)

Campo: dimensão.1

Campo: tolerância.s.dimensão.1

Campo: tolerância.i.dimensão.1

Campo: dimensão.2

Campo: tolerância.s.dimensão.2

Campo: tolerância.i.dimensão.2

Campo: Sfc.principal

Campo: Sfc.1

Campo: Sfc.2

Campo: Sfc.3

Campo: Sfc.4

Campo: rug.Sfc.principal

Campo: rug.Sfc.1

Campo: rug.Sfc.2

Campo: rug.Sfc.3

Campo: rug.Sfc.4

Campo: classe.de.proc.de.fabr.1

Campo: volume.fc

Campo: x.pto.A

Campo: y.pto.A

Campo: z.pto.A

Campo: x.pto.B

Campo: y.pto.B

Campo: z.pto.B

Campo: fc.ref.pos.geom

Campo: x.pto.O

Campo: y.pto.O

Campo: z.pto.O

Campo: l1

Campo: m1

Campo: n1

Campo: l2

Campo: m2

Campo: n2

Campo: l3

Campo: m3

Campo: n3

D.2.1.2.2. *Objectos relativos à informação sobre elementos de união entre formas características.*

A composição do modelo em termos de *formas características* utiliza a descrição das superposições entre as superfícies das *formas* por descendentes do *objecto* da classe *elemento de união entre formas características*. Observe-se que, em termos de implementação, sempre que ocorre uma superposição de duas superfícies, é criado um elemento declarando a existência da união entre as superfícies.

Os campos existentes nestes *objectos* indicam a ligação entre uma dada *superfície* (indicada pelo campo *Sfc.fc.ref.1*), de uma dada *forma* (indicada pelo campo *fc.ref.1*), pertencente a uma certa *peça discreta* (indicada pelo campo *peça.discreta.ref.1*), a uma outra *superfície* (*Sfc.fc.ref.2*), de outra *forma* (indicada pelo campo *fc.ref.2*), pertencente à *peça discreta* indicada por *peça.discreta.ref.2*. O *tipo* de ligação existente entre as *formas* é indicado pelo campo *tipo.união*, que pode assumir os valores *meio.contínuo*, *ligação.permanente* ou *ligação.não-permanente*. A informação contida nesses *objectos* segue o exposto no Capítulo 3, tópico 3.3.2.2.1.

Objecto: elemento.de.união.de.fcs

Pai: info.geom.de.peça

Campo: tipo.união

Campo: peça.discreta.ref.1

Campo: Sfc.fc.ref.1

Campo: Sfc.fc.ref.2

Campo: fc.ref.1

Campo: fc.ref.2

Campo: peça.discreta.ref.2

D.2.1.2.3. *Objectos relativos à informação sobre dimensões explícitas.*

Os campos existentes nesses *objectos* indicam a ligação entre um dado *elemento geométrico* de uma *forma* (indicado pelo campo *elemento.de.ref.1.a*), de um certo *tipo* (indicado pelo campo *tipo.de.elemento.de.ref.1*), pertencente a uma dada *forma* (indicado pelo campo *fc.ref.1.a*), pertencente a uma certa *peça discreta* (indicado pelo campo *peça.discreta.ref.1.a*), a outro *elemento geométrico* referenciado de maneira análoga. A informação contida nesses *objectos* segue o exposto no Capítulo 3, tópico 3.3.2.2.2, observando-se o seguinte:

- os tipos de elementos geométricos válidos são a *linha de referência* (indicada por *eixo.AB*), as superfícies de *formas características* (indicadas pelos seus identificadores nos *objectos* relativos às *formas características*), as *arestas* (rectilíneas ou curvas), os *vértices* das *formas* e os pontos A e B relativos às *linhas de referências* (indicados por A ou B);
- caso o elemento geométrico seja uma *aresta* ou um *vértice*, todas as superfícies incidentes que determinam a existência do mesmo devem ser indicadas (como *elemento.de.ref.1.a*, *elemento.de.ref.1.b*, etc.);

- c) o campo *fc.ref.1.a* referencia a *forma característica* a que pertence o elemento geométrico indicado por *elemento.de.ref.1.a*; repete-se sucessivamente a indicação (*fc.ref.1.b, fc.ref.1.c, etc.*) para os demais elementos (*elemento.de.ref.1.b, elemento.de.ref.1.c, etc.*);
- d) o campo *peça.discreta.ref.1.a* indica a peça a que pertence a *forma característica* indicada pelo campo *fc.ref.1.a*; repete-se a indicação (*peça.discreta.ref.1.b, peça.discreta.ref.1.c, etc.*) sucessivamente para as demais *formas* (*fc.ref.1.b, fc.ref.1.c, etc.*);
- e) o campo *tipo.de.valor.dimensional* especifica se a *dimensão explícita* é *angular* (indicada como *ângulo*) ou *linear* (indicada como *distância*);
- f) o campo *elemento.de.ref* indica o elemento geométrico a ser tomado como referência para a medição da *dimensão* (por exemplo, o elemento geométrico utilizado em operações de metrologia ou na especificação de operações de fabricação).

Observe-se, que, em qualquer caso, apenas um *par de elementos geométricos* é referido por cada *objecto* da classe *dimensão explícita*. Ocorre, eventualmente, que um elemento geométrico requeira ser definido de maneira indirecta, através de outros elementos geométricos, como é o caso dos *vértices* ou das *arestas*. Por esse motivo é que a indicação do elemento geométrico pode ser subdividida na forma *elemento.de.ref.1.a, elemento.de.ref.1.b, etc.*

Objecto: *dimensão.explícita*

Pai: *info.geom.de.peça*

Campo: *tipo.de.valor.dimensional*

Campo: *valor.dimensional*

Campo: *tolerância.s.valor.dimensional*

Campo: *tolerância.i.valor.dimensional*

Campo: *tipo.de.elemento.de.ref.1*

Campo: *elemento.de.ref.1.a*

Campo: *fc.ref.1.a*

Campo: *peça.discreta.ref.1.a*

Campo: *tipo.de.elemento.de.ref.2*

Campo: *elemento.de.ref.2.a*

Campo: *fc.ref.2.a*

Campo: *peça.discreta.ref.2.a*

Campo: *elemento.de.ref*

D.2.1.2.4. *Objectos relativos à informação sobre tolerâncias geométricas.*

As *tolerâncias geométricas* possuem uma estrutura de representação através de *objectos* muito semelhante à das *dimensões explícitas*, diferindo, porém, quanto a alguns aspectos:

- a) os elementos geométricos referidos pela tolerância podem apresentar uma *condição de material* pré-definida por norma (*condição de máximo material - CMM -, e condição de mínimo material - CmM*). Esta condição é representada nos *objectos* através dos campos da forma geral *condição.material.fc.ref.*, que podem assumir os valores *CMM* ou *CmM*. Observe-se que a *condição de material* do elemento geométrico diz respeito à condição da *forma característica* a que esse pertence;
- b) o campo *zona.de.tolerância* indica o valor especificado para a *tolerância geométrica*, enquanto que os campos da forma *dimensão.de.ref.n* indicam todas as dimensões afectadas pela especificação, sejam elas dimensões implicitamente definidas nas *formas características* ou *dimensões explícitas*,

as *formas características* a que pertencem cada uma dessas dimensões devem ser indicadas nos campos da forma *fc.dimensão.de.ref.n*;

- c) o elemento geométrico a ser utilizado como referência na especificação da tolerância e o seu identificador (utilizado no desenho da peça) são indicados pelos campos *elemento.de.ref* e *identificador.do.elem.de.ref*, os valores a serem indicados para o campo *elemento.de.ref* são *elemento.de.ref.1* ou *elemento.de.ref.2*, e, para o campo *identificador.do.elem.de.ref*, são as denominações usuais em desenho (como "A", "B", etc.);
- d) as *tolerâncias geométricas* podem referir apenas um (1) elemento geométrico (ao invés de dois); este é o caso das *tolerâncias de forma de elementos isolados* (*rectilineidade, planicidade, circularidade, cilindridade e tolerâncias de forma de linha e de superfície*);
- e) as *tolerâncias geométricas* relativas a elementos associados referem dois elementos geométricos, sejam essas *tolerâncias de orientação* (*paralelismo, perpendicularismo e inclinação*), *de posição* (*localização de elementos, simetria, concentricidade e coaxialidade*) e de movimento; nesses casos, apenas um par de elementos geométricos é referido por cada *objecto* da classe *tolerância geométrica*.

Da mesma forma que para as *dimensões explícitas*, um elemento geométrico pode ser definido de maneira indirecta, através de outros elementos geométricos, como é o caso dos *vértices* ou das *arestas*. Por esse motivo, a indicação do elemento geométrico pode ser subdividida na forma *elemento.de.ref.1.a*, *elemento.de.ref.1.b*, etc..

Observe-se que a informação contida nesses *objectos* segue o exposto no Capítulo 3, tópico 3.3.2.2.3.

Objecto: tolerância.de.forma.de.linha.qualquer

Pai: tolerância.de.forma.de.elemento.isolado

Campo: zona.de.tolerância

Campo: dimensão.de.ref.1

Campo: fc.dimensão.de.ref.1

Campo: identificador.do.elem.de.ref

Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.1)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1

Campo: elemento.de.ref.1.a

Campo: condição.material.fc.ref.1.a

Campo: fc.ref.1.a

Campo: peça.discreta.ref.1.a

Objecto: tolerância.de.paralelismo

Pai: tolerância.de.orient.para.elems.associados

Campo: zona.de.tolerância

Campo: dimensão.de.ref.1

Campo: fc.dimensão.de.ref.1

Campo: fc.ref.2.a

Campo: peça.discreta.ref.2.a

Campo: identificador.do.elem.de.ref

Campo: elemento.de.ref

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1

Campo: elemento.de.ref.1.a

Campo: condição.material.fc.ref.1.a

Campo: fc.ref.1.a

Campo: peça.discreta.ref.1.a

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2

Campo: elemento.de.ref.2.a

Campo: condição.material.fc.ref.2.a

D.2.2. Objectos relativos à informação sobre material de construção.

Os *objectos* relativos aos materiais de construção representam a informação sobre o *tipo* e a *forma comercial* dos mesmos. Observe-se que os *objectos* relativos aos *tipos* de materiais de construção são compostos fundamentalmente com informação sobre as propriedades físicas, químicas, estruturais e mecânicas dos materiais, para além de alguma informação sobre tratamentos que se podem aplicar a esses ou seu estado de fornecimento. A seguir é apresentado o *objecto* referente à informação utilizada nesta investigação sobre o aço Ck45. O peso específico é fornecido em *quilograma por metro cúbico* (kg/m^3).

Objecto: aço.Ck45

Pai: aço.constr.têmpera.superf

Campo: peso.especifico (= 7850)

Campo: classif.composição.quimica

(= aço.carbono)

Campo: classif.teor.carbono (= hipoeutetóide)

Campo: classif.constituição.estrutural

(= martensítico)

Campo: teor.de.C (= 0,45)

Campo: teor.de.S (= 0,030)

Campo: teor.de.P (= 0,035)

Campo: teor.de.Mn (= 0,65)

Campo: teor.de.Si (= 0,27)

Campo: teor.de.Cr (= 0,00)

Campo: teor.de.Mo (= 0,00)

Campo: teor.de.V (= 0,00)

Campo: teor.de.W (= 0,00)

Campo: teor.de.Ni (= 0,00)

Campo: teor.de.Cu (= 0,00)

Campo: teor.de.Co (= 0,00)

Campo: teor.de.Ti (= 0,00)

Campo: teor.de.Al (= 0,00)

Campo: índice.de.usinabilidade

Campo: resistência.à.tracção

Campo: resistência.à.compressão

Campo: limite.de.elasticidade

Campo: limite.de.escoamento

Campo: limite.de.ruptura

Campo: limite.de.escoamento

Campo: limite.proporcionalidade

Campo: mín.alongamento.de.ruptura

Campo: mín.constricção.de.ruptura

Campo: módulo.de.resiliência

Campo: módulo.de.elasticidade

Campo: módulo.de.tenacidade

Campo: coef.de.dilatação.linear

Campo: coef.de.Poisson

Campo: dureza.material.fornecido.Rockwell.B

Campo: dureza.material.fornecido.Rockwell.C

Campo: dureza.material.fornecido.Brinell

Campo: coef.condutividade.térmica

Campo: coef.condutividade.eléctrica

Campo: índice.de.conformabilidade

Campo: temperatura.de.fusão

Campo: coef.de.porosidade

Campo: estado.de.fornecimento.opc.1

(= laminado)

Campo: estado.de.fornecimento.opc.2 (= forjado)

Campo: estado.de.fornecimento.opc.3

(= recozido)

Campo: estado.de.fornecimento.opc.4

(= normalizado)

Campo: tratamento.após.maquinação.opc.1

(= têmpera.e.revenido)

Campo: tratamento.após.maquinação.opc.2

(= têmpera.superficial)

Os *objectos* relativos às formas comerciais dos materiais de construção são compostos basicamente por informação relativa à sua especificação para utilização no processo de construção da peça a que estão ligados (incluindo-se, por exemplo, o seu dimensionamento). Idealmente apenas valores dimensionais efectivamente encontrados comercialmente devem ser seleccionados, bastando-se cruzar a informação sobre o *tipo* do material com a relativa à *forma comercial* do material de construção especificados para se obter esses valores, desde que essa informação esteja convenientemente armazenada em *bases de dados* auxiliares. Também são armazenados valores

auxiliares derivados dos especificados, como os relacionados o volume, a massa e o peso da *peça de trabalho* obtida a partir do dimensionamento da *forma comercial* do material.

Objecto: chapa

Pai: forma.do.laminado.plano

Campo: lado.1

Campo: lado.2

Campo: espessura

Campo: peça.discreta.ref

D.2.3. *Objectos relativos à informação sobre processos tecnológicos de construção.*

A informação a ser representada nos *objectos* relativos aos processos tecnológicos de construção de peças mecânicas foi definida no Capítulo 3, tópico 3.4.2. Todos os *objectos* são descendentes do *objecto* da classe *informação sobre processo tecnológico* e basicamente são compostos pelos seguintes elementos descritores:

- a) campos relativos à especificação de todas as classes de máquinas associadas aos processos (*tipo.de.máquina.associada.n*) e das próprias máquinas (*máquina.associada.n*);
- b) para os processos de obtenção da forma de peças discretas, campos relativos à faixa de valores de tolerâncias dimensionais mais exigentes usualmente produzidos pelo processo: *tolerância.sup.usual* (relativo à máxima *diferença superior* de medida admissível) e *tolerância.inf.usual* (relativo à mínima *diferença inferior* de medida admissível - observando-se que o conteúdo desse campo é fornecido em valor absoluto);
- c) para os processos de obtenção da forma de peças discretas, campos relativos à faixa de valores de rugosidade superficial normalmente produzidos pela utilização do processo: *máx.rug.Sfc.usual* e *mín.rug.Sfc.usual*;
- d) para os processos de obtenção da forma de peças discretas, campos indicando todas as *formas características* envolvidas nas operações relativas à execução da operação e cada uma das dimensões e superfícies directamente afectadas: campos da forma *fc.ref.n*, *Sfc.k.fc.ref.n* e *dimensão.k.fc.ref.n*;
- e) campos indicando as *dimensões explícitas* afectadas pelas operações dos processos: campos da forma *dimensão.k.fc.ref.n*;
- f) campos indicando as *tolerâncias geométricas* afectadas pelas operações dos processos: campos da forma *tolerância.geométrica.n*;
- g) apenas para os processos de obtenção da forma de *peças compostas e agregados*, campos indicando os *elementos de união* entre *formas características* relacionados com a execução das operações de montagem, da forma *elemento.de.união.relacionado.n*.
- h) campos relativos à indicação sobre o sequenciamento de operações (quando compulsório), da forma *aplicação.posterior.ao.proc.n*, em que todos os processos que devem preceder o processo representado pelo *objecto* devem ser indicados.

A seguir serão apresentados um exemplo de *objecto* relacionado com a fabricação de peças discretas e um exemplo relativo à montagem de peças.

Objecto: torneamento

Pai: maquinação

Campo: tipo.de.máquina.associada.1

Campo: máquina.associada.1

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1

Campo: tolerância.sup.usual (= 0,050)

Campo: tolerância.inf.usual (= 0,050)

Campo: máx.rug.Sfc.usual (= 0,00630)

Campo: mín.rug.Sfc.usual (= 0,00040)

Campo: fc.ref.1

Campo: Sfc.1.fc.ref.1

Campo: dimensão.1.fc.ref.1

Campo: dimensão.explicita.1

Campo: tolerância.geométrica.1

Objecto: soldadura.a.arco.com.proteção.de.gás

Pai: soldadura.a.arco

Campo: elemento.de.união.relacionado.1

Campo: dimensão.relativa.1

Campo: tolerância.geométrica.1

D.2.4. *Objectos* relativos à informação sobre máquinas de construção.

Os *objectos* relativos à informação sobre máquinas de construção contêm a descrição de modelos de máquinas consoante o tipo de informação requerida para o desenvolvimento das aplicações relacionadas com o *Projecto Orientado à Fabricação*. Devem estar presentes na base de dados os modelos das máquinas efectivamente disponíveis para a execução do projecto.

Assim, foram incluídos campos relacionados com valores máximos de *peso* e *dimensões* da *peça de trabalho* suportados pelo equipamento. Com relação a essas dimensões, devem ser analisadas todas as possibilidades de fixação da peça para a realização do trabalho. Para além dessas informações, outros dados relativos às capacidades das máquinas foram representados, pois esses também podem vir a ser utilizados para a selecção de máquinas considerando-se as suas capacidades para a produção das peças em análise.

A descrição das máquinas utilizadas para *obtenção da forma* de peças discretas devem conter campos relativos aos valores de *tolerâncias geométricas* usualmente produzidos, indicados pelos campos *tolerância de planicidade*, *tolerância de circularidade*, *tolerância de cilindridade*, *tolerância de perpendicularismo*, *tolerância de movimento*, *tolerância de rectilineidade*, *tolerância de forma de linha qualquer*, *tolerância de forma de Sfc qualquer*, *tolerância de paralelismo*, *tolerância de inclinação*, *tolerância de localização de elementos*, *tolerância de concentricidade e coaxialidade* e *tolerância de simetria*.

A seguir, será apresentado um exemplo de máquina incluída na base de dados, como instância do *objecto* da classe *fresadora*. Observe-se que a potência é medida em *quilowatt* (kW).

Objecto: F.1

Pai: fresadora.vertical

Campo: máx.largura.da.peça.de.trabalho (= 320)

Campo: máx.altura.da.peça.de.trabalho (= 440)

Campo: máx.compr.da.peça.de.trabalho (= 1600)

Campo: máx.diâmetro.da.peça.de.trabalho (= 320)

Campo: máx.peso.suportado (= 4500)

Campo: máquina.de.produção (= sim)

Campo: tolerância.de.planicidade (= 0,0005)

Campo: máx.revoluções.da.ferramenta.de.corte

Campo: tolerância.de.perpendicularismo

(= 2000)

(= 0,0003)

Campo: mín.revoluções.da.ferramenta.de.corte

Campo: tolerância.de.paralelismo (= 0,002)

(= 40)

Campo: potência.nominal (= 7,50)

Campo: máquina.automática (= não)

Campo: rendimento (= 0,80)

Campo: existência.de.dispositivo.copiador

(= não)

Campo: máquina.com.CN (= sim)

Os dados sobre *tolerâncias geométricas* são fornecidos em *milímetros* de desvio admissível da medida por *milímetros* do valor da dimensão considerada (mm/mm).

D.3. A utilização de listas auxiliares para manipulação da estrutura de informação implementada.

Por razões de conveniência, a maneira pela qual os *objectos* referem os nomes das peças a cujas descrições estão ligados foi implementada através de um conjunto de listas, conforme provido pelo ambiente de suporte à implementação (*Intelligence Compiler*). Observe-se que não existe encadeamento entre os elementos destas listas.

D.3.1. Listas relativas às peças discretas.

Cada representação de *peças discretas* utiliza cinco diferentes listas, onde o identificador *nome.da.peça* refere-se ao nome da peça discreta representada. As listas possuem as formas canónicas apresentadas a seguir.

Lista dos *objectos* relativos às *formas características* da peça discreta (f_k é uma *forma característica*):

$$\text{lst-carac-forma-nome.da.peça} := [f_1, f_2, \dots, f_n].$$

Lista dos *objectos* relativos aos *elementos de união* entre as *formas* da peça discreta (u_k é uma *elemento de união entre formas características*):

$$\text{lst-união-nome.da.peça} := [u_1, u_2, \dots, u_n].$$

Lista dos *objectos* relativos às *dimensões explícitas* da peça discreta (d_k é uma *dimensão explícita*):

$$\text{lst-dims-nome.da.peça} := [d_1, d_2, \dots, d_n].$$

Lista dos *objectos* relativos às *tolerâncias geométricas* da peça discreta (t_k é uma *tolerância geométrica*):

$$\text{lst-tols-geom-nome.da.peça} := [t_1, t_2, \dots, t_n].$$

Lista dos *objectos* relativos aos *processos tecnológicos* da peça discreta (o_k é um descritor de *operação de fabricação*):

$$\text{lst-proc-nome.da.peça} := [o_1, o_2, \dots, o_n].$$

D.3.2. Listas relativas a montagens de peças discretas.

Cada representação de *montagens de peças discretas* também utiliza cinco listas de *objectos*. Neste caso, o identificador *nome.da.peça* refere-se ao nome da montagem de peças discretas representada.

Lista dos *objectos* relativos aos descritores da informação de carácter não-geométrico das peças discretas componentes da montagem de peças (p_k é uma *peça discreta*):

$$\text{lst-carac-forma-nome.da.peça} := [p_1, p_2, \dots, p_n].$$

Lista dos *objectos* relativos aos *elementos de união* entre *formas* pertencentes necessariamente a diferentes peças discretas componentes da montagem (u_k é uma *elemento de união entre formas características*):

$$\text{lst-união-nome.da.peça} := [u_1, u_2, \dots, u_n].$$

Lista dos *objectos* relativos às *dimensões explícitas* explicitadas entre diferentes peças discretas componentes da montagem (d_k é uma *dimensão explícita*):

$$\text{lst-dims-nome.da.peça} := [d_1, d_2, \dots, d_n].$$

Lista dos *objectos* relativos às *tolerâncias geométricas* especificadas entre diferentes peças discretas componentes da montagem (t_k é uma *tolerância geométrica*):

$$\text{lst-tols-geom-nome.da.peça} := [t_1, t_2, \dots, t_n].$$

Lista dos *objectos* relativos aos *processos tecnológicos* da peça discreta (o_k é um descritor de *operação de fabricação*):

$$\text{lst-proc-nome.da.peça} := [o_1, o_2, \dots, o_n].$$

Apêndice E

E. Listagens das *Bases de Regras e Bases de Factos* Elaboradas.

E.1. A representação de conhecimento no protótipo computacional.

A base de conhecimento elaborada para a validação de conceitos introduzidos nesta investigação baseou-se na utilização de diferentes paradigmas de programação: *programação baseada em regras*, *programação orientada por objectos* e *programação baseada em lógica*. Isso determinou, portanto, a implementação computacional de *bases de regras*, *bases de factos* e *bases de dados orientadas por objectos*.

Nesta implementação as *bases de regras* elaboradas com base em *lógica exacta* utilizam o modo de raciocínio *para-trás*, existindo também regras baseadas em *lógica inexata*, como as desenvolvidas para a *aplicação* relacionada com a *Seleção de Processos* tecnológicos de fabricação. As *bases de factos* são relacionadas com informação sobre materiais de construção e sobre a geometria de *formas características* (conforme exposto no tópico 3.3.2.1.2 do Capítulo 3).

Observe-se que a listagem das *bases de factos* e das *bases de regras* a ser exibida a seguir sofreu algumas adaptações para melhor apresentação comparativamente ao original obtido através da utilização do *Intelligence Compiler*. Desta forma, foi respeitada a grafia das palavras em Língua Portuguesa, sendo que todas as palavras reservadas da linguagem provida pelo ambiente computacional serão apresentadas *grifadas* (com os predicados sublinhados).

Observe-se também que cada tópico apresentado a seguir relaciona-se com a implementação de um predicado cuja tentativa de prova conduzirá à activação de um procedimento de análise elaborado para a experimentação efectuada. Esses procedimentos foram apresentados nos Capítulos 4 e 5 deste trabalho, sendo tais predicados considerados *predicados principais* - os demais serão considerados *predicados auxiliares*. Nem sempre um *predicado auxiliar* será apresentado no mesmo tópico em que é utilizado; porém, será efectuada a indicação do tópico em que ocorre a sua definição.

Tenha-se em consideração que o protótipo computacional implementado exigiu a elaboração de um conjunto de predicados em número superior ao apresentado neste apêndice, por estar em conformidade com a proposta de construção de um módulo de sistema computacional capaz de operar uma interface textual, conforme o tópico 4.1 (ilustrado à figura 4.1). Aqui serão listados apenas os predicados mais proximamente relacionados com aspectos de estruturação e aplicação do conhecimento ao *Projecto Orientado à Fabricação*, que são essenciais à análise e discussão do trabalho. Por isso, os predicados ligados à construção de interfaces com o utilizador e à manipulação das bases de dados, bases de factos e bases de regras não serão apresentados ou discutidos.

E.2. A utilização de *bases de factos* na representação do conhecimento.

As *bases de factos* constituídas para a representação do conhecimento dizem respeito à informação sobre a geometria das peças e sobre os materiais de construção a serem utilizados, sendo apresentados alguns exemplos, com o objectivo de ilustrar conceitos introduzidos nesta investigação.

E.2.1. A utilização de *bases de factos* na representação da informação geométrica sobre peças.

A seguir será apresentado o conjunto de *factos* utilizados na representação do conhecimento relacionado com a geometria das peças mecânicas.

E.2.1.1. Implementação do predicado denominado "aresta".

Este predicado foi introduzido na discussão sobre a representação da geometria da peça e utilizado em regras relacionadas com as *Recomendações para Projecto Orientado à Fabricação*.

Sfc.1, Sfc.3	<u>aresta</u>	paralelepipedo.rectang
Sfc.2, Sfc.3	<u>aresta</u>	paralelepipedo.rectang
Sfc.2, Sfc.5	<u>aresta</u>	paralelepipedo.rectang
Sfc.1, Sfc.5	<u>aresta</u>	paralelepipedo.rectang
Sfc.1, Sfc.6	<u>aresta</u>	paralelepipedo.rectang
Sfc.2, Sfc.6	<u>aresta</u>	paralelepipedo.rectang
Sfc.3, Sfc.6	<u>aresta</u>	paralelepipedo.rectang
Sfc.5, Sfc.6	<u>aresta</u>	paralelepipedo.rectang
Sfc.1, Sfc.4	<u>aresta</u>	paralelepipedo.rectang
Sfc.2, Sfc.4	<u>aresta</u>	paralelepipedo.rectang
Sfc.3, Sfc.4	<u>aresta</u>	paralelepipedo.rectang
Sfc.4, Sfc.5	<u>aresta</u>	paralelepipedo.rectang
Sfc.1, Sfc.3	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.1, Sfc.4	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.1, Sfc.5	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.1, Sfc.6	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.1, Sfc.7	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.1, Sfc.8	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.2, Sfc.3	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.2, Sfc.4	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.2, Sfc.5	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.2, Sfc.6	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.2, Sfc.7	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.2, Sfc.8	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.fundo, Sfc.1	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.fundo, Sfc.2	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.fundo, Sfc.7	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.fundo, Sfc.8	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.5, Sfc.7	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.3, Sfc.5	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.topo, Sfc.3	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.topo, Sfc.4	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.topo, Sfc.1	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.topo, Sfc.2	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.4, Sfc.6	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.6, Sfc.8	<u>aresta</u>	entalhe.em.forma.de.Tê
Sfc.topo, Sfc.1	<u>aresta</u>	entalhe.revolutivo

Sfc.topo, Sfc.2	<u>aresta</u>	entalhe.revolutivo
Sfc.interior, Sfc.1	<u>aresta</u>	entalhe.revolutivo
Sfc.interior, Sfc.2	<u>aresta</u>	entalhe.revolutivo

E.2.1.2. Implementação do predicado denominado "dimensão-transversal-e-ligada-à".

Este predicado foi introduzido na discussão sobre a representação da geometria da peça e utilizado em regras relacionadas com as *Recomendações para Projecto Orientado à Fabricação*.

compr	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.5, paralelepípedo.rectang
compr	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.6, paralelepípedo.rectang
lado	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.1, paralelepípedo.rectang
lado	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.3, paralelepípedo.rectang
lado.2	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.4, paralelepípedo.rectang
lado.2	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.6, paralelepípedo.rectang
compr	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.1, cilindro.circular.recto
compr	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.3, cilindro.circular.recto
r	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.2, cilindro.circular.recto
compr	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.1, tronco.de.cone.circular.recto
compr	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.3, tronco.de.cone.circular.recto
r	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.2, tronco.de.cone.circular.recto
r.menor	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.2, tronco.de.cone.circular.recto
compr	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.topo, rebaixamento.de.furo
compr	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.fundo, rebaixamento.cilíndrico
r.rebaix	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.1, rebaixamento.cilíndrico
r.rebaix	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.1, rebaixamento.misto
larg	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.interior, rebaixamento.de.furo
larg	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.1, rebaixamento.cilíndrico
larg	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.1, rebaixamento.misto
compr	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.topo, furo
compr	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.fundo, furo
r	<u>dimensão-transversal-e-ligada-à</u>	Sfc.lst, furo.cilíndrico

E.2.2. A utilização de *bases de factos* na representação da informação relativa aos materiais de construção.

A seguir será apresentado o conjunto de *factos* utilizados na representação do conhecimento relacionado com a informação sobre materiais de construção de peças mecânicas.

E.2.2.1. Implementação do predicado denominado "par-galvânico".

Este predicado é utilizado pelas regras relacionadas com as *Recomendações para Projecto Orientado à Fabricação*.

<u>par-galvânico</u>	latão, aço
<u>par-galvânico</u>	bronze, aço
<u>par-galvânico</u>	liga.de.chumbo, ferro.fundido

E.2.2.2. Implementação do predicado denominado "materiais-dissimilares".

Este predicado é utilizado pelas regras relacionadas com as *Recomendações para Projecto Orientado à Fabricação*; observe-se que essas regras supõem que o segundo elemento da lista de materiais seja o elemento a efectivamente sofrer corrosão.

materiais-dissimilares aço.liga, metal.duro
materiais-dissimilares aço, liga.de.alumínio
materiais-dissimilares bronze, liga.de.alumínio
materiais-dissimilares liga.de.cobre, liga.de.alumínio
materiais-dissimilares aço, liga.de.chumbo

E.2.2.3. Implementação do predicado denominado "material-do-tipo".

Este predicado é utilizado pelas regras relacionadas com as *Recomendações para Projecto Orientado à Fabricação*.

liga.de.alumínio material-do-tipo macio
liga.de.cobre material-do-tipo macio

E.2.2.4. Implementação do predicado denominado "existe-em-forma-de".

Este predicado é utilizado pelas regras relacionadas com as *Recomendações para Projecto Orientado à Fabricação*.

aço.carbono existe-em-forma-de lingote
aço.carbono existe-em-forma-de pó.para.sinterização
aço.de.construção.inoxidável existe-em-forma-de bloco
aço.de.construção.inoxidável existe-em-forma-de chapa

E.2.2.5. Implementação do predicado denominado "material-usual-em".

Este predicado é utilizado pelas regras relacionadas com as *Recomendações para Projecto Orientado à Fabricação*.

liga.de.magnésio material-usual-em maquinação
liga.de.alumínio material-usual-em maquinação
liga.de.zinco material-usual-em maquinação
bronze material-usual-em maquinação
aço.carbono material-usual-em maquinação
aço.de.construção material-usual-em maquinação
termoplástico material-usual-em maquinação
ferro material-usual-em fundição.em.molde.de.areia
aço material-usual-em fundição.em.molde.de.areia
aço material-usual-em sinterização
bronze material-usual-em sinterização
liga.de.cobre material-usual-em enformação.eletromagnética

liga.de.alumínio	<u>material-usual-em</u>	enformação.eletromagnética
liga.de.alumínio	<u>material-usual-em</u>	fundição.em.molde.de.gesso
liga.de.zinco	<u>material-usual-em</u>	fundição.em.molde.de.gesso
liga.de.alumínio	<u>material-usual-em</u>	fundição.sob.pressão
aço	<u>material-usual-em</u>	laminação
aço.carbono	<u>material-usual-em</u>	extrusão
termoplástico	<u>material-usual-em</u>	extrusão
ferro	<u>material-usual-em</u>	corde.por.chamas
aço	<u>material-usual-em</u>	corde.por.chamas
latão	<u>material-usual-em</u>	forjamento
liga.de.magnésio	<u>material-usual-em</u>	forjamento
material.ferroso	<u>material-usual-em</u>	fundição.em.molde.cerâmico
aço.carbono	<u>material-usual-em</u>	estamparia
aço.carbono	<u>material-usual-em</u>	recalcação
liga.de.alumínio	<u>material-usual-em</u>	recalcação
ferro	<u>material-usual-em</u>	fundição.em.molde.permanente
liga.de.alumínio	<u>material-usual-em</u>	fundição.em.molde.permanente
ferro	<u>material-usual-em</u>	fundição.por.centrifugação
liga.de.níquel	<u>material-usual-em</u>	fundição.de.precisão

E.2.2.6. Implementação do predicado denominado "material-inadequado-para".

Este predicado é utilizado nas regras relacionadas com as *Recomendações para Projecto Orientado à Fabricação*.

ferro	<u>material-inadequado-para</u>	extrusão
ferro	<u>material-inadequado-para</u>	forjamento
aço.inoxidável	<u>material-inadequado-para</u>	estamparia.profunda
aço.ferramenta	<u>material-inadequado-para</u>	extrusão
aço.ferramenta	<u>material-inadequado-para</u>	estamparia.convencional
liga.de.alumínio	<u>material-inadequado-para</u>	trefilação
liga.de.magnésio	<u>material-inadequado-para</u>	recalcação
liga.de.magnésio	<u>material-inadequado-para</u>	laminação
liga.de.níquel	<u>material-inadequado-para</u>	fundição.sob.pressão
liga.de.zinco	<u>material-inadequado-para</u>	fundição.de.precisão
liga.de.zinco	<u>material-inadequado-para</u>	fundição.por.centrifugação
liga.de.estanho	<u>material-inadequado-para</u>	fundição.por.centrifugação
liga.de.estanho	<u>material-inadequado-para</u>	fundição.em.molde.cerâmico
liga.de.chumbo	<u>material-inadequado-para</u>	fundição.por.centrifugação
liga.de.chumbo	<u>material-inadequado-para</u>	fundição.em.molde.cerâmico
liga.de.titânio	<u>material-inadequado-para</u>	fundição.por.centrifugação
liga.de.titânio	<u>material-inadequado-para</u>	fundição.em.molde.cerâmico

E.3. A utilização de *bases de regras* na representação do conhecimento.

Neste tópico serão apresentadas as *regras de produção* utilizadas na análise da informação relacionada com a *geometria* das peças mecânicas, e com a *Tecnologia de Grupo*, a *Seleção de Processos* e as *Recomendações para Projecto Orientado à Fabricação*.

E.3.1. A utilização de *bases de regras* para a análise da informação geométrica.

A seguir será apresentado o conjunto de *regras* utilizadas na representação do conhecimento relacionado com a análise efectuada no âmbito do tratamento da *ambiguidade* na representação de *formas características*.

E.3.1.1. Implementação do predicado denominado "verificar-existência-de-cilindro-furo".

Este predicado é utilizado na análise da existência de *furos cilíndricos* na peça inadequadamente representados através de *formas características* da classe *cilindro circular recto* (ver a descrição do procedimento relacionado com esta implementação no tópico 4.1.2 do Capítulo 4).

verificar-existência-de-cilindro-furo

```
If read 'peça' and
   'a' := "lst-carac-forma-" and
   concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
   'limite-n' := 0 and
   nro-membros 'lista', 'limite-n' and
   ciclo-cilindro-furo 'lista', 'n', 'limite-n';
```

nro-membros 'lista', 'nro'

```
If for-every list-member 'membro', 'lista'
do 'nro' := 'nro' + 1;
```

ciclo-cilindro-furo 'lista', 'n', 'limite-n'

```
If repeat and
   existe-fc-cil-circ-recto 'lista', 'n', 'limite-n', 'fc' and
   cilindro-furo 'fc' and
   'n' = 'limite-n';
```

existe-fc-cil-circ-recto 'lista', 'n', 'limite-n', 'fc'

```
If 'n' := 0 and
   repeat and
   list-member 'x', 'lista' and
   'n' := 'n' + 1 and
   existe-fc-cil-circ-recto-aux 'x', 'n', 'limite-n', 'fc';
```

existe-fc-cil-circ-recto-aux 'x', 'n', 'limite-n', 'fc'

```
If 'x' is-a cilindro.circular.recto and
   (tipo.de.forma.caracteristica of 'x') = "volume-negativo" and
   'fc' := 'x' or
   'n' = 'limite-n';
```

cilindro-furo 'fc'

```
If cilindro-furo-aux 'fc' and
   Sfc-fundo 'fc', 'rug', 'sfc', 'x.A', 'y.A', 'z.A', 'x.B', 'y.B', 'z.B' and
   'r.Sfc.lat' := (rug.Sfc.2 of 'fc') and
   'Sfc.lat' := (Sfc.2 of 'fc') and
   'r' := (r of 'fc') and
   'tol.s.r' := (tol.s.r of 'fc') and
   'tol.l.r' := (tol.l.r of 'fc') and
   'compr' := (compr of 'fc') and
   'tol.s.compr' := (tol.s.compr of 'fc') and
   'tol.l.compr' := (tol.l.compr of 'fc') and
   'x.pto.O' := (x.pto.O of 'fc') and
   'y.pto.O' := (y.pto.O of 'fc') and
   'z.pto.O' := (z.pto.O of 'fc') and
   'l1' := (l1 of 'fc') and
   'm1' := (m1 of 'fc') and
   'n1' := (n1 of 'fc') and
   'l2' := (l2 of 'fc') and
   'm2' := (m2 of 'fc') and
   'n2' := (n2 of 'fc') and
   'l3' := (l3 of 'fc') and
   'm3' := (m3 of 'fc') and
   'n3' := (n3 of 'fc') and
   'cp.1' := (classe.de.proc.de.fabr.1 of 'fc') and
   'cp.2' := (classe.de.proc.de.fabr.2 of 'fc') and
   'cp.3' := (classe.de.proc.de.fabr.3 of 'fc') and
   'fc.pos' := (fc.ref.pos.geom of 'fc') and
   'volume.fc' := (volume.fc of 'fc') and
```

delete-frame 'fc' and
new-frame 'fc', furo.cilindrico and
 (rug.Sfc.fundo of 'fc') := 'rug' and
 (Sfc.fundo of 'fc') := 'sfc' and
 (x.pto.A of 'fc') := 'x.A' and
 (y.pto.A of 'fc') := 'y.A' and
 (z.pto.A of 'fc') := 'z.A' and
 (x.pto.B of 'fc') := 'x.B' and
 (y.pto.B of 'fc') := 'y.B' and
 (z.pto.B of 'fc') := 'z.B' and
 (Sfc.lat of 'fc') := 'Sfc.lat' and
 (rug.Sfc.lat of 'fc') := 'r.Sfc.lat' and
 (r of 'fc') := 'r' and
 (tol.s.r of 'fc') := 'tol.s.r' and
 (tol.l.r of 'fc') := 'tol.l.r' and
 (compr of 'fc') := 'compr' and
 (tol.s.compr of 'fc') := 'tol.s.compr' and
 (tol.l.compr of 'fc') := 'tol.l.compr' and
 (x.pto.O of 'fc') := 'x.pto.O' and
 (y.pto.O of 'fc') := 'y.pto.O' and
 (z.pto.O of 'fc') := 'z.pto.O' and
 (l1 of 'fc') := 'l1' and
 (m1 of 'fc') := 'm1' and
 (n1 of 'fc') := 'n1' and
 (l2 of 'fc') := 'l2' and
 (m2 of 'fc') := 'm2' and
 (n2 of 'fc') := 'n2' and
 (l3 of 'fc') := 'l3' and
 (m3 of 'fc') := 'm3' and
 (n3 of 'fc') := 'n3' and
 (classe.de.proc.de.fabr.1 of 'fc') := 'cp.1' and
 (classe.de.proc.de.fabr.2 of 'fc') := 'cp.2' and
 (classe.de.proc.de.fabr.3 of 'fc') := 'cp.3' and
 (fc.ref.pos.geom of 'fc') := 'fc.pos' and
 (volume.fc of 'fc') := 'volume.fc' or
true;

cilindro-furo-aux 'fc'

If (Sfc.1 of 'fc') = "existente" or
 (Sfc.3 of 'fc') = "existente";

Sfc-fundo 'fc', 'rug', 'sfc', 'x.A', 'y.A', 'z.A', 'x.B', 'y.B', 'z.B'

If 'x' := (Sfc.1 of 'fc') and
 'x' = "existente" and
 'rug' := (rug.Sfc.1 of 'fc') and
 'sfc' := (Sfc.1 of 'fc') and
 'x.A' := (x.pto.A of 'fc') and
 'y.A' := (y.pto.A of 'fc') and
 'z.A' := (z.pto.A of 'fc') and
 'x' := (Sfc.1 of 'fc') and
 'x' = "existente" and
 'x.B' := (x.pto.B of 'fc') and
 'y.B' := (y.pto.B of 'fc') and
 'z.B' := (z.pto.B of 'fc');

Sfc-fundo 'fc', 'rug', 'sfc', 'x.A', 'y.A', 'z.A', 'x.B', 'y.B', 'z.B'

If 'x' := (Sfc.3 of 'fc') and
 'x' = "existente" and
 'rug' := (rug.Sfc.3 of 'fc') and
 'sfc' := (Sfc.3 of 'fc') and
 'x' := (Sfc.3 of 'fc') and
 'x' = "existente" and
 'x.A' := (x.pto.B of 'fc') and
 'y.A' := (y.pto.B of 'fc') and
 'z.A' := (z.pto.B of 'fc') and
 'x' := (Sfc.3 of 'fc') and
 'x' = "existente" and

'x.B' := (x.pto.A of 'fc') and
'y.B' := (y.pto.A of 'fc') and
'z.B' := (z.pto.A of 'fc');

Sfc-fundo 'fc', 'rug', 'sfc', 'x.A', 'y.A', 'z.A', 'x.B', 'y.B', 'z.B'
If 'rug' := (rug.Sfc.1 of 'fc') and
'sfc' := (Sfc.1 of 'fc') and
'x.A' := (x.pto.A of 'fc') and
'y.A' := (y.pto.A of 'fc') and
'z.A' := (z.pto.A of 'fc') and
'x.B' := (x.pto.B of 'fc') and
'y.B' := (y.pto.B of 'fc') and
'z.B' := (z.pto.B of 'fc');

E.3.2. A utilização de bases de regras na análise em Tecnologia de Grupo.

A seguir será apresentado o conjunto de regras utilizadas para representação do conhecimento relacionado com a análise efectuada no âmbito da Tecnologia de Grupo.

E.3.2.1. Implementação do predicado denominado "achar-filhos-de-objecto-1".

Este predicado é utilizado para formar grupos de todos os objectos descendentes de um determinado objecto cujo nome é fornecido.

achar-filhos-de-objecto-1
If read 'objecto' and
achar-filhos-de-objecto-aux-1 'objecto';
achar-filhos-de-objecto-aux-1 'objecto'
If for-every 'x' is-a 'objecto'
do list-add-member 'x', GRUPO;

E.3.2.2. Implementação do predicado denominado "achar-filhos-de-objecto-2".

Este predicado é utilizado para formar grupos de todos os objectos directamente descendentes de um determinado objecto cujo nome é fornecido.

achar-filhos-de-objecto-2
If read 'objecto' and
achar-filhos-de-objecto-aux-2 'objecto';
achar-filhos-de-objecto-aux-2 'objecto'
If for-every 'x' has-parent 'objecto'
do list-add-member 'x', GRUPO;

E.3.2.3. Implementação do predicado denominado "achar-filhos-de-objecto-3".

Este predicado é utilizado para formar grupos de todos os objectos em nível de nós-folhas descendentes de um determinado objecto cujo nome é fornecido.

```
achar-filhos-de-objecto-3  
If read 'objecto' and  
achar-filhos-de-objecto-aux-3 'objecto';
```

```
achar-filhos-de-objecto-aux-3 'objecto'  
If 'x' is-a 'objecto' and  
NOT 'x' has-parent 'y' and  
list-add-member 'x', GRUPO and  
fail or  
no-backtrack;
```

E.3.2.4. Implementação do predicado denominado "objecto-com-campo".

Este predicado é utilizado para formar grupos de todos os objectos *possuidores de um determinado campo* cujo nome é fornecido.

```
objecto-com-campo  
If write-text {Forneça o nome do campo que servirá de referência para a pesquisa:} and  
read 'campo' and  
objecto-com-campo-aux 'campo';
```

```
objecto-com-campo-aux 'campo'  
If 'x' is-a Thing and  
'x' has-a 'campo' and  
list-add-member 'x', GRUPO and  
fail or  
no-backtrack;
```

E.3.2.5. Implementação do predicado denominado "objecto-com-campo-com-valor-1".

Este predicado é utilizado para formar grupos de todos os objectos possuidores de um determinado campo (fornecido) cujo conteúdo é *igual a um valor fornecido* (não necessariamente numérico).

```
objecto-com-campo-com-valor-1  
If write-text {Forneça o nome do campo que servirá de referência para a pesquisa:} and  
read 'campo' and  
write-text {Forneça o valor a ser procurado para este campo:} and  
read 'valor' and  
objecto-com-campo-com-valor-1-aux 'campo', 'valor';
```

```
objecto-com-campo-com-valor-1-aux 'campo', 'valor'  
If 'x' is-a Thing and  
'x' has-a 'campo' and  
'a' := ('campo' of 'x') and  
'a' = 'valor' and  
list-add-member 'x', GRUPO and  
fail or  
no-backtrack;
```

E.3.2.6. Implementação do predicado denominado "objecto-com-campo-com-valor-2".

Este predicado é utilizado para formar grupos de todos os objectos possuidores de um determinado campo (fornecido) com valor numérico *maior que um valor numérico* (igualmente fornecido).

objecto-com-campo-com-valor-2

```
If write-text {Forneça o nome do campo que servirá de referência para a pesquisa;} and  
read 'campo' and  
write-text {Forneça o valor numérico mínimo para este campo (exclusive);} and  
read 'valor' and  
objecto-com-campo-com-valor-acima-de-mínimo 'campo', 'valor';
```

objecto-com-campo-com-valor-acima-de-mínimo 'campo', 'valor'

```
If 'x' is-a Thing and  
'x' has-a 'campo' and  
'a' := ('campo' of 'x') and  
'a' > 'valor' and  
list-add-member 'x', GRUPO and  
fail or  
no-backtrack;
```

E.3.2.7. Implementação do predicado denominado "objecto-com-campo-com-valor-3".

Este predicado é utilizado para formar grupos de todos os objectos possuidores de um determinado campo (fornecido) com valor numérico *menor que um valor numérico* (igualmente fornecido).

objecto-com-campo-com-valor-3

```
If write-text {Forneça o nome do campo que servirá de referência para a pesquisa;} and  
read 'campo' and  
write-text {Forneça o valor numérico máximo para este campo (exclusive);} and  
read 'valor' and  
objecto-com-campo-com-valor-abaixo-de-máximo 'campo', 'valor';
```

objecto-com-campo-com-valor-abaixo-de-máximo 'campo', 'valor'

```
If 'x' is-a Thing and  
'x' has-a 'campo' and  
'a' := ('campo' of 'x') and  
'a' < 'valor' and  
list-add-member 'x', GRUPO and  
fail or  
no-backtrack;
```

E.3.2.8. Implementação do predicado denominado "objecto-com-campo-com-valor-4".

Este predicado é utilizado para formar grupos de todos os objectos possuidores de um determinado campo (fornecido) cujo conteúdo seja o *nome de um objecto descendente de uma determinada classe de objectos* cujo nome é fornecido (este nome também identifica um outro objecto, portanto).

objecto-com-campo-com-valor-4

```
If write-text {Forneça o nome do campo que servirá de referência para a pesquisa;} and  
read 'campo' and  
write-text {Forneça a classe do valor a ser procurado para o campo:  
(considerando a organização da árvore de objectos)} and  
read 'valor' and  
objecto-com-campo-com-valor-de-classe 'campo', 'valor' and  
write-text {Objectos que possuem o campo "%s" com valor "%s" encontrados:}, 'campo', 'valor';
```

objecto-com-campo-com-valor-de-classe 'campo', 'valor'

```
If 'x' is-a Thing and  
'x' has-a 'campo' and  
'a' := ('campo' of 'x') and
```

'a' is-a 'valor' and
list-add-member 'x', GRUPO and
fail or
no-backtrack;

E.3.2.9. Implementação do predicado denominado "Operações-Lógicas-entre-2-grupos".

Este predicado é utilizado para efectuar operações lógicas entre dois grupos de objectos, denominados "A" e "B"; são fornecidas as operações de *união*, *intersecção* e *diferença lógica* (A - B).

Operações-Lógicas-entre-2-grupos

If read 'L1' and
read 'L2' and
operação-Lógica 'L1', 'L2';

operação-Lógica 'L1', 'L2'

If write-text {Lista resultante: (Primeiro Grupo "menos" Segundo Grupo) }, 'L1', 'L2' and
diferença-entre-listas 'L1', 'L2', GRUPO;

operação-Lógica 'L1', 'L2'

If intersecção-entre-listas 'L1', 'L2';

operação-Lógica 'L1', 'L2'

If intersecção-entre-listas 'L1', 'L2' and
diferença-entre-listas 'L1', GRUPO, GRUPO1 and
diferença-entre-listas 'L2', GRUPO, GRUPO2 and
unir-lista GRUPO1 and
unir-lista GRUPO2;

diferença-entre-listas 'L1', 'L2', 'L'

If for-every list-member 'membro', 'L1'
do diferença-entre-listas-aux 'membro', 'L2', 'L';

diferença-entre-listas-aux 'membro', 'L2', 'L'

If NOT list-member 'membro', 'L2' and
list-add-member 'membro', 'L' or
true;

intersecção-entre-listas 'L1', 'L2'

If for-every list-member 'membro', 'L1'
do intersecção-entre-listas-aux 'membro', 'L2';

intersecção-entre-listas-aux 'membro', 'L2'

If list-member 'membro', 'L2' and
list-add-member 'membro', GRUPO or
true;

unir-lista 'L'

If for-every list-member 'x', 'L'
do list-add-member 'x', GRUPO;

E.3.2.10. Implementação do predicado denominado "peças-com-fcs".

Este predicado é utilizado para formar grupos de peças discretas compostas por um determinado número mínimo (fornecido) de *formas características*, de uma determinada classe e tipo

também fornecidos - o tipo, volume-positivo ou volume-negativo, somente deve ser fornecido se a *forma* não o tem intrinsecamente estabelecido.

peças-com-fcs

```
If write-text {Forneça a classe de forma característica a ser pesquisada;} and
  read 'classe-fc' and
  read 'tipo' and
  write-text {Forneça o número mínimo de ocorrências da forma característica
    a ser utilizado como referência para a pesquisa (numero mínimo = 1);} and
  read 'ocorrências' and
  peças-com-fcs-aux 'classe-fc', 'tipo', 'ocorrências';
```

peças-com-fcs-aux 'classe-fc', 'tipo', 'ocorrências'

```
If 'peça' is-a peça.discreta and
  concatenate "lst-carac-forma-", 'peça', 'lista' and
  'n' := 0 and
  seleciona-peças-com-fcs 'classe-fc', 'tipo', 'lista', 'n' and
  NOT 'n' < 'ocorrências' and
  list-add-member 'peça', GRUPO and
  fail or
  no-backtrack;
```

seleciona-peças-com-fcs 'classe-fc', 'tipo', 'lista', 'n'

```
If for-every list-member 'fc', 'lista'
  do detectar-peças-com-fc 'classe-fc', 'tipo', 'fc', 'n';
```

detectar-peças-com-fc 'classe-fc', 'tipo', 'fc', 'n'

```
If 'fc' is-a 'classe-fc' and
  'tipo-fc' = 'tipo-classe-fc' and
  'n' := 'n' + 1;
```

E.3.2.11. Implementação do predicado denominado "fcs-na-peça".

Este predicado é utilizado para formar grupos de objectos da classe *forma característica* encontrados numa determinada peça discreta cujo nome é fornecido; a classe e o tipo da *forma* devem ser fornecidos (este, volume-positivo ou volume-negativo, somente deve ser fornecido se a *forma* não o tem intrinsecamente estabelecido).

fcs-na-peça

```
If read 'classe-fc' and
  read 'tipo' and
  read 'peça' and
  concatenate "lst-carac-forma-", 'peça', 'lista' and
  seleciona-fcs-na-peça 'classe-fc', 'tipo', 'lista';
```

seleciona-fcs-na-peça 'classe-fc', 'tipo', 'lista'

```
If for-every list-member 'fc', 'lista'
  do detectar-fcs-na-peça 'classe-fc', 'tipo', 'fc';
```

detectar-fcs-na-peça 'classe-fc', 'tipo', 'fc'

```
If 'fc' is-a 'classe-fc' and
  'tipo-fc' = 'tipo-classe-fc' and
  list-add-member 'fc', GRUPO;
```

E.3.3. A utilização de bases de regras na análise em Selecção de Processos de fabricação.

A seguir será apresentado o conjunto de *regras* utilizadas na representação do conhecimento relacionado com a abordagem orientada à *Selecção de Processos* tecnológicos de

fabricação na investigação efectuada, devendo-se observar que apenas a classe de processos de *maquinação* foi analisada.

E.3.3.1. Implementação dos predicados "dproc1" a "dproc12".

Este predicado é utilizado para a avaliação da classificação de peças orientada à análise em *Seleção de Processos* introduzida no tópico 4.3.2 do Capítulo 4, cuja utilização é discutida no tópico 4.3.3.1.1 do mesmo capítulo.

dproc1 'peça'
If (dproc.1 of 'peça') = "sim";

dproc7 'peça'
If (dproc.7 of 'peça') = "sim";

dproc2 'peça'
If (dproc.2 of 'peça') = "sim";

dproc8 'peça'
If (dproc.8 of 'peça') = "sim";

dproc3 'peça'
If (dproc.3 of 'peça') = "sim";

dproc9 'peça'
If (dproc.9 of 'peça') = "sim";

dproc4 'peça'
If (dproc.4 of 'peça') = "sim";

dproc10 'peça'
If (dproc.10 of 'peça') = "sim";

dproc5 'peça'
If (dproc.5 of 'peça') = "sim";

dproc11 'peça'
If (dproc.11 of 'peça') = "sim";

dproc6 'peça'
If (dproc.6 of 'peça') = "sim";

dproc12 'peça'
If (dproc.12 of 'peça') = "sim";

E.3.3.2. Implementação do predicado denominado "Coef-Favorável".

Este predicado é utilizado para a avaliação da classificação de peças orientada à análise em *Seleção de Processos* e a sua utilização é discutida no tópico 4.3.3.1.1 do Capítulo 4.

CF= 30 Coef-Favorável 'peça'
If dproc1 'peça';

CF= 15 Coef-Favorável 'peça'
If dproc3 'peça';

CF= 60 Coef-Favorável 'peça'
If dproc2 'peça';

CF= 15 Coef-Favorável 'peça'
If dproc4 'peça';

E.3.3.3. Implementação do predicado denominado "Coef-Desfavorável".

Este predicado é utilizado para a avaliação da classificação de peças orientada à análise em *Seleção de Processos* e a sua utilização é discutida no tópico 4.3.3.1.1 do Capítulo 4.

CF= 20 Coef-Desfavorável 'peça'
If dproc5 'peça';

CF= 60 Coef-Desfavorável 'peça'
If dproc6 'peça';

CF= 35 Coef-Desfavorável 'peça'

If dproc7 'peça';

CF= 50 Coef-Desfavorável 'peça'

If dproc8 'peça';

CF= 55 Coef-Desfavorável 'peça'

If dproc9 'peça';

CF= 95 Coef-Desfavorável 'peça'

If dproc10 'peça';

CF= 70 Coef-Desfavorável 'peça'

If dproc11 'peça';

CF= 100 Coef-Desfavorável 'peça'

If dproc12 'peça';

E.3.3.4. Implementação do predicado denominado "torneabilidade".

Este predicado é utilizado para a avaliação da possibilidade de utilização do processo de torneamento em peças maquináveis, sendo sua utilização discutida no tópico 4.3.3.1.1 do Capítulo 4. Note-se que as definições dos predicados "Coef-Favorável" e "Coef-Desfavorável" são apresentadas neste apêndice respectivamente em E.3.3.2 e E.3.3.3.

CF=100 torneabilidade 'peça'
If Coef-Favorável 'peça' and
Coef-Favorável-2 'peça';

CF= 100 Coef-Favorável-2 'peça'
If NOT Coef-Desfavorável 'peça';

E.3.3.5. Implementação do predicado denominado "classe-objecto".

Este predicado permite que *formas explícitas* possam ser avaliadas por regras destinadas à análise das *formas implícitas*, estabelecendo-se um decréscimo na confiabilidade da predição efectuada, porém. A descrição da análise relacionada com esta implementação é apresentada no tópico 4.3.3.2.1 do Capítulo 4.

CF=100 'objecto' classe-objecto 'classe'
If 'objecto' is-a 'classe' and
NOT 'objecto' is-a forma.explicita;

CF=25 'objecto' classe-objecto 'classe'
If 'objecto' has-a classe.presumível.da.fc and
'classe' = (classe.presumível.da.fc de 'objecto');

E.3.3.6. Implementação do predicado denominado "existe-dimensão-adequada-para-aplainamento".

A utilização deste predicado determina que apenas as *formas características* efectivamente possuidoras de dimensões potencialmente produtíveis por *aplainamento* sejam passíveis de serem indicadas para utilização deste processo tecnológico (conforme apresentado no tópico 4.3.3.2.1 do Capítulo 4). Note-se que este predicado utiliza uma lista denominada "*dimensões-de-fcs*", que contém os nomes de tais dimensões.

existe-dimensão-adequada-para-aplainamento 'fc'
 If 'lista' := "dimensões-de-fcs" and
 'chave' := "não" and
dimensão-para-aplainamento 'fc', 'lista', 'chave' and
 'chave' = "sim";

dimensão-para-aplainamento 'fc', 'lista', 'chave'
 If for-every list-member 'dim', 'lista'
do dimensão-para-aplainamento-aux 'fc', 'dim', 'chave';

dimensão-para-aplainamento-aux 'fc', 'dim', 'chave'
 If 'fc' has-a 'dim' and
 'valor-dim' := ('dim' of 'fc') and
 'valor-dim' > 300 and
 'chave' := "sim" or
true;

E.3.3.7. Implementação do predicado denominado "maquinável-por".

Este predicado é utilizado para sugestão de processos de maquinação para *formas características* (ver a descrição do procedimento relacionado com esta implementação no tópico 4.3.3.2.1 do Capítulo 4). Note-se que as definições dos predicados "torneabilidade", "classe-objecto" e "existe-dimensão-adequada-para-aplainamento" são apresentadas neste apêndice respectivamente em E.3.3.4, E.3.3.5 e E.3.3.6.

E.3.3.7.1. Implementação da regra identificada como "T-1":

CR=45 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', torneamento
 If 'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
torneabilidade 'peça' and
 (rotacionalidade of 'fc') = "rotacional" and
 (tipo.de.forma.caracteristica of 'fc') = "volume-positivo";

E.3.3.7.2. Implementação da regra identificada como "T-2":

CR=70 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', torneamento
 If 'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
torneabilidade 'peça' and
 (simetria of 'fc') = "axissimétrica" and
 (tipo.de.forma.caracteristica of 'fc') = "volume-positivo";

E.3.3.7.3. Implementação da regra identificada como "T-3":

CR=29 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', torneamento
 If 'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
torneabilidade 'peça' and
 (rotacionalidade of 'fc') = "rotacional" and
 (tipo.de.forma.caracteristica of 'fc') = "volume-negativo";

E.3.3.7.4. Implementação da regra identificada como "T-4":

CR=44 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', torneamento
 If 'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
torneabilidade 'peça' and
 (simetria of 'fc') = "axissimétrica" and
 (tipo.de.forma.caracteristica of 'fc') = "volume-negativo";

E.3.3.7.5. Implementação da regra identificada como "T-5":

```
CF=8 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', torneamento
If torneabilidade 'peça' and
   'classe.fc' := "cilindro.circular.recto" and
   'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
   (tipo.de.forma.característica of 'fc') = "volume-positivo";
```

E.3.3.7.6. Implementação da regra identificada como "T-6":

```
CF=10 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', torneamento
If torneabilidade 'peça' and
   'classe.fc' := "furo.cilindrico" and
   'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
   (comprimento of 'fc') <= 3;
```

E.3.3.7.7. Implementação da regra identificada como "T-7":

```
CF= 90 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', sangramento.radial, 'f'
If torneabilidade 'peça' and
   'classe.fc' := "entalhe.revolutivo" and
   'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
   (comprimento of 'fc') <= 5.0;
```

E.3.3.7.8. Implementação da regra identificada como "T-8":

```
CF= 8 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', torneamento, 'f'
If torneabilidade 'peça' and
   'classe.fc' := "tronco.de.cone.circular.recto" and
   'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
   (tipo.de.forma.característica of 'fc') = "volume-positivo";
```

E.3.3.7.9. Implementação da regra identificada como "F-1":

```
CF=45 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', fresamento
If 'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
   NOT torneabilidade 'peça' and
   (rotacionalidade of 'fc') = "não-rotacional" and
   (tipo.de.forma.característica of 'fc') = "volume-positivo";
```

E.3.3.7.10. Implementação da regra identificada como "F-2":

```
CF=70 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', fresamento
If 'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
   NOT torneabilidade 'peça' and
   (simetria of 'fc') = "não-axissimétrica" and
   (tipo.de.forma.característica of 'fc') = "volume-positivo";
```

E.3.3.7.11. Implementação da regra identificada como "F-3":

```
CF=40 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', fresamento
If 'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
   NOT torneabilidade 'peça' and
   (rotacionalidade of 'fc') = "rotacional" and
   (tipo.de.forma.característica of 'fc') = "volume-positivo";
```

E.3.3.7.12. Implementação da regra identificada como "F-4":

```
CF=65 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', fresamento
If 'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
```

NOT torneabilidade 'peça' and
(simetria of 'fc') = "axissimétrica" and
(tipo.de.forma.característica of 'fc') = "volume-positivo";

E.3.3.7.13. Implementação da regra identificada como "F-5":

CF= 26 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', fresamento
If 'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
NOT torneabilidade 'peça' and
(rotacionalidade of 'fc') = "rotacional" and
(tipo.de.forma.característica of 'fc') = "volume-negativo";

E.3.3.7.14. Implementação da regra identificada como "F-6":

CF= 42 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', fresamento
If 'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
NOT torneabilidade 'peça' and
(simetria of 'fc') = "axissimétrica" and
(tipo.de.forma.característica of 'fc') = "volume-negativo";

E.3.3.7.15. Implementação da regra identificada como "F-7":

CF=29 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', fresamento
If 'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
NOT torneabilidade 'peça' and
(rotacionalidade of 'fc') = "não-rotacional" and
(tipo.de.forma.característica of 'fc') = "volume-negativo";

E.3.3.7.16. Implementação da regra identificada como "F-8":

CF=44 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', fresamento
If 'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
NOT torneabilidade 'peça' and
(simetria of 'fc') = "não-axissimétrica" and
(tipo.de.forma.característica of 'fc') = "volume-negativo";

E.3.3.7.17. Implementação da regra identificada como "F-9":

CF=15 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', fresamento
If NOT torneabilidade 'peça' and
'classe.fc' := "furo.cilíndrico" and
'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
'diâmetro' := 2 * (raio de 'fc') and
'diâmetro' >= 70;

E.3.3.7.18. Implementação da regra identificada como "P-1":

CF= 40 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', aplainamento
If 'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
NOT torneabilidade 'peça' and
(tipo.de.forma.característica of 'fc') = "volume-positivo" and
(rotacionalidade of 'fc') = "não-rotacional" and
existe-dimensão-adequada-para-aplainamento 'fc';

E.3.3.7.19. Implementação da regra identificada como "P-2":

CF= 65 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', aplainamento
If 'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
NOT torneabilidade 'peça' and
(tipo.de.forma.característica of 'fc') = "volume-positivo" and
(simetria of 'fc') = "não-axissimétrica" and
existe-dimensão-adequada-para-aplainamento 'fc';

E.3.3.7.20. Implementação da regra identificada como "P-3":

CF= 55 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', aplainamento
If NOT torneabilidade 'peça' and
(simetria of 'fc') = "não-axissimétrica" and
'classe.fc' := "entalhe" and
'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
(compr of 'fc') > 300;

E.3.3.7.21. Implementação da regra identificada como "R-1":

CF= 80 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', rebaixação.furadeira
If NOT torneabilidade 'peça' and
'classe.fc' := "rebaixamento.de.furo" and
'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
'diâmetro.furo' := 2 * (raio.do.rebaixamento of 'fc') and
'diâmetro.furo' <= 70;

E.3.3.7.22. Implementação da regra identificada como "R-2":

CF= 75 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', rebaixação.torno
If torneabilidade 'peça' and
'classe.fc' := "rebaixamento.de.furo" and
'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
'diâmetro.furo' := 2 * (raio.do.rebaixamento of 'fc') and
'diâmetro.furo' <= 70;

E.3.3.7.23. Implementação da regra identificada como "A-1":

CF= 45 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', alargamento
If NOT torneabilidade 'peça' and
'classe.fc' := "furo.de.secção.arredondada" and
'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
'diâmetro' := 2 * (raio of 'fc') and
'diâmetro.furo' >= 70;

E.3.3.7.24. Implementação da regra identificada como "A-2":

CF= 45 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', alargamento, 'f'
If NOT torneabilidade 'peça' and
'classe.fc' := "furo.de.secção.arredondada" and
'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
(classe.de.proc.de.fabr.1 of 'fc') = "fundição";

E.3.3.7.25. Implementação da regra identificada como "D-1":

CF= 95 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', furação.furadeira
If NOT torneabilidade 'peça' and
'classe.fc' := "furo.de.secção.arredondada" and
'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
'diâmetro.furo' := 2 * (raio of 'fc') and
'diâmetro.furo' <= 70;

E.3.3.7.26. Implementação da regra identificada como "D-2":

CF= 95 maquinável-por 'fc', 'classe.fc', 'peça', furação.torno
If torneabilidade 'peça' and
'classe.fc' := "furo.de.secção.arredondada" and
'fc' classe-objecto 'classe.fc' and
'diâmetro.furo' := 2 * (raio of 'fc') and
'diâmetro.furo' <= 70.00;

E.3.3.8. Implementação do predicado denominado "sugerir-operação-básica":

Este predicado é utilizado para obtenção das sugestões de utilização dos diversos processos de fabricação relacionados com a obtenção da forma da peça por maquinaria, para cada *forma característica* presente numa peça discreta (ver a descrição do procedimento relacionado com esta implementação no tópico 4.3.3.2.1 do Capítulo 4).

sugerir-operação-básica

```
If      read 'peça' and
        read 'fc' and
        sugerir-operação-básica-aux 'peça', 'fc';
```

sugerir-operação-básica-aux 'peça', 'fc'

```
If      repeat and
        select-best-of 'factor', "maquinável-por", 'fc', 'classe.fc', 'peça', 'oper' and
        write-text {* Operação sugerida: %s (Factor de Confiança = %s)}, 'oper', 'factor' and
        sugerir-operações-precedentes 'fc', 'oper' and
        sugerir-operações-complementares 'fc', 'oper' and
        write-text { - regras para Seleção de Processos utilizadas: }or
        fail;
```

sugerir-operações-precedentes 'fc', 'oper'

```
If      'oper' = "mandrilamento" and
        write-text{---- operação anteriormente requerida: pré-furação. };
```

sugerir-operações-precedentes 'fc', 'oper'

```
If      'oper' = "alargamento" and
        write-text{---- operação anteriormente requerida: pré-furação. };
```

sugerir-operações-complementares 'fc', 'oper'

```
If      'fc' is-a semi.cilindro.circular.recto and
        'oper' = "torneamento" and
        'x':= (Sfc.3 of 'fc') and
        NOT 'x' = "inexistente" and
        write-text {operação complementar (possivelmente) requerida: fresamento (ou entalhamento) da
                    Sfc.3 da forma característica};
```

sugerir-operações-complementares 'fc', 'oper'

```
If      'fc' is-a cone.circular.recto and
        'oper' = "torneamento" and
        'x':= (Sfc.3 of 'fc') and
        NOT 'x' = "inexistente" and
        write-text {operação complementar (possivelmente) requerida: fresamento (ou entalhamento) da
                    Sfc.3 da forma característica};
```

sugerir-operações-complementares 'fc', 'oper'

```
If      NOT 'oper' = "nenhuma" and

        'fc' is-a furo.cilindrico and

        'x':= (Sfc.fundo of 'fc') and

        NOT 'x' = "inexistente" and

        'y':= (tipo.de.fundo of 'fc') and

        NOT 'y' = "cónico" and

        'z' := (ângulo.de.fundo of 'fc') and

        NOT 'z' = "120" and

        write-text {operação complementar (possivelmente) requerida: fresamento da Sfc.fundo da
                    forma característica};
```


E.3.4. A utilização de *bases de regras* na análise das *Recomendações para Projecto Orientado à Fabricação*.

A seguir será apresentado o conjunto de *regras* utilizadas na representação do conhecimento relacionado com a análise efectuada no âmbito da utilização das *Recomendações para Projecto Orientado à Fabricação* nesta investigação.

E.3.4.1. Implementação do predicado denominado "analisa-tols-em-dims-implicitas".

Este predicado é utilizado para confrontação das especificações de *tolerâncias dimensionais* numa determinada peça com a capacidade de produção das mesmas pelos processos tecnológicos a serem utilizados na sua fabricação (ver a descrição dos procedimentos e da análise relacionados com esta implementação no tópico 5.5.3 do Capítulo 5). Este predicado analisa apenas as dimensões implicitamente definidas nas *formas características*, conforme definido no modelo de representação geométrica de peças mecânicas introduzido nesta investigação.

analisa-tols-em-dims-implicitas

```
If read 'peça' and
   'a' := "1st-proc-" and
   concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
   list-member 'proc', 'lista' and
   'fc.n' := 0 and
   'n' := 0 and
   analisa-tols-em-dims-implicitas-aux 'proc', 'n', 'fc.n' and
   fail or
   no-backtrack;
```

analisa-tols-em-dims-implicitas-aux 'proc', 'n', 'fc.n'

% ciclo para fcs:

```
If 'fc.n' := 'fc.n' + 1 and
   concatenate ".fc.ref.", 'fc.n', 't1' and
   concatenate "fc.ref.", 'fc.n', 's' and
   'proc' has-a 's' and
   'fc.ref' := ('s' of 'proc') and
   NOT 'fc.ref' = "NO-VALUE" and
   ciclo-dims-implicitas 'proc', 'n', 't1', 'fc.ref' and
   analisa-tols-em-dims-implicitas-aux 'proc', 'n', 'fc.n' or
   'fc.n' := 0;
```

ciclo-dims-implicitas 'proc', 'n', 't1', 'fc.ref'

```
If 'n' := 'n' + 1 and
   concatenate "dimensão.", 'n', 't2' and
   concatenate 't2', 't1', 's' and
   'proc' has-a 's' and
   'dim.ref' := ('s' of 'proc') and
   NOT 'dim.ref' = "NO-VALUE" and
   dimensões-implicitas 'proc', 'fc.ref', 'dim.ref' and
   ciclo-dims-implicitas 'proc', 'n', 't1', 'fc.ref' or
   'n' := 0;
```

dimensões-implicitas 'proc', 'fc.ref', 'dim.ref'

```
If concatenate "tol.s.", 'dim.ref', 'tol.s.dim' and
   concatenate "tol.i.", 'dim.ref', 'tol.i.dim' and
   'valor.dim' := 0 and
   'valor.tol.s.dim' := 0 and
   'valor.tol.i.dim' := 0 and
   'valor.dim' := ('dim.ref' of 'fc.ref') and
```

```

'valor.tol.s.dim' := ('tol.s.dim' of 'fc.ref') and
'valor.tol.i.dim' := ('tol.i.dim' of 'fc.ref') and
analisa-tolerancia-s 'proc', 'dim.ref', 'fc.ref', 'valor.tol.s.dim', 'tol.s.dim' and
analisa-tolerancia-i 'proc', 'dim.ref', 'fc.ref', 'valor.tol.i.dim', 'tol.i.dim';

```

```

analisa-tolerancia-s 'proc', 'dim', 'fc', 'tol', 'tolid'
If 'tol' = "NO-VALUE";

```

```

analisa-tolerancia-s 'proc', 'dim', 'fc', 'tol', 'tolid'
If 'tol' >= 0 and
'lim-sup-tol' := (toler.sup.usual of 'proc') and
'tol' >= 'lim-sup-tol';

```

```

analisa-tolerancia-s 'proc', 'dim', 'fc', 'tol', 'tolid'
If 'tol' < 0 and
'lim-sup-tol' := -1,0 * (toler.sup.usual of 'proc') and
'tol' <= 'lim-sup-tol' or
analisa-tolerancia 'proc', 'dim', 'fc', 'tol', 'tolid';

```

```

analisa-tolerancia-i 'proc', 'dim', 'fc', 'tol', 'tolid'
If 'tol' = "NO-VALUE";

```

```

analisa-tolerancia-i 'proc', 'dim', 'fc', 'tol', 'tolid'
If 'tol' >= 0 and
'lim-inf-tol' := (toler.inf.usual of 'proc') and
'tol' >= 'lim-inf-tol';

```

```

analisa-tolerancia-i 'proc', 'dim', 'fc', 'tol', 'tolid'
If 'tol' < 0 and
'lim-inf-tol' := -1,0 * (toler.inf.usual of 'proc') and
'tol' <= 'lim-inf-tol' or
analisa-tolerancia 'proc', 'dim', 'fc', 'tol', 'tolid';

```

```

analisa-tolerancia 'proc', 'dim', 'fc', 'tol', 'tolid'
If 'lim-sup-tol' := (toler.sup.usual of 'proc') and
'lim-inf-tol' := (toler.inf.usual of 'proc') and
'proc' has-parent 'pai-proc' and
dimensao-de-fc 'fc' and
write-text {O afastamento de tolerância (%s) da dimensão "%s" esta fora da faixa de valores usualmente
obtidos pelo processo tecnológico de fabricação "%s".
Valor da tolerância analisada: %s
Limites aceitáveis (em valores absolutos) --> faixa de valores: %s / %s.
}, 'tolid', 'dim', 'pai-proc', 'tol', 'lim-inf-tol', 'lim-sup-tol';

```

```

dimensao-de-fc 'fc'
If NOT 'fc' = "inexistente" and
'fc' has-parent 'pai' and
write-text {Forma característica: %s (%s). }, 'fc', 'pai';

```

E.3.4.2. Implementação do predicado denominado "analisa-tols-em-dims-explicitas".

Este predicado é utilizado para confrontação das especificações de *tolerâncias dimensionais* numa determinada peça com a capacidade de produção das mesmas pelos processos tecnológicos a serem utilizados na sua fabricação (ver a descrição dos procedimentos e da análise relacionados com esta implementação no tópico 5.5.3 do Capítulo 5). Este predicado analisa apenas as *dimensões explicitas*, conforme definido no modelo de representação geométrica de peças mecânicas introduzido nesta investigação.

```

analisa-tols-em-dims-explicitas
If read 'peça' and
'a' := "lst-proc-" and
concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
list-member 'proc', 'lista' and
'fc.n' := 0 and
'n' := 0 and
analisa-tols-em-dims-explicitas-aux 'proc', 'n' and
fall or
no-backtrack;

```

```

analisa-tols-em-dims-explicitas-aux 'proc', 'n'
% ciclo para dims. explicitas
If      'n' := 'n' + 1 and
        concatenate "dimensão.explicita.", 'n', 's' and
        'proc' has-a 's' and
        'dim.ref' := ('s' of 'proc') and
        NOT 'dim.ref' = "NO-VALUE" and
        'fc.ref' := "inexistente" and
        dimensões-explicitas 'proc', 'fc.ref', 'dim.ref' and
        analisa-tols-em-dims-explicitas-aux 'proc', 'n' or
        'n' := 0;

```

```

dimensões-explicitas 'proc', 'fc.ref', 'dim.ref'
If      'valor.dim' := (valor.dimensional of 'dim.ref') and
        'valor.tol.s.dim' := (tol.s.valor.dimensional of 'dim.ref') and
        'valor.tol.i.dim' := (tol.i.valor.dimensional of 'dim.ref') and
        analisa-tolerância-s 'proc', 'dim.ref', 'fc.ref', 'valor.tol.s.dim', "tol.s.valor.dimensional" and
        analisa-tolerância-i 'proc', 'dim.ref', 'fc.ref', 'valor.tol.i.dim', "tol.i.valor.dimensional";

```

E.3.4.3. Implementação do predicado denominado "analisa-rugosidade-superficial".

Este predicado é utilizado para confrontação das especificações de rugosidades superficiais de uma determinada peça com a capacidade de produção das mesmas pelos processos tecnológicos a serem utilizados na sua fabricação (ver a descrição dos procedimentos e da análise relacionados com esta implementação no tópico 5.5.4 do Capítulo 5). Note-se que a definição do predicado "dimensão-de-fc" é apresentada neste apêndice em E.3.4.1.

```

analisa-rugosidade-superficial
If      read 'peça' and
        'a' := "1st-proc-" and
        concatenate 's', 'peça', 'lista' and
        list-member 'proc', 'lista' and
        'fc.n' := 0 and
        'n' := 0 and
        analisa-rugosidade-superficial-aux 'proc', 'n', 'fc.n' and
        fail or
        no-backtrack;

```

```

analisa-rugosidade-superficial-aux 'proc', 'n', 'fc.n'
% ciclo para fcs:
If      'fc.n' := 'fc.n' + 1 and
        concatenate ".fc.ref.", 'fc.n', 't1' and
        concatenate "fc.ref.", 'fc.n', 's' and
        'proc' has-a 's' and
        'fc.ref' := ('s' of 'proc') and
        NOT 'fc.ref' = "NO-VALUE" and
        ciclo-Sfcs 'proc', 'n', 't1', 'fc.ref' and
        analisa-rugosidade-superficial-aux 'proc', 'n', 'fc.n' or
        'fc.n' := 0;

```

```

ciclo-Sfcs 'proc', 'n', 't1', 'fc.ref'
If      'n' := 'n' + 1 and
        concatenate "Sfc.", 'n', 't2' and
        concatenate 't2', 't1', 's' and
        'proc' has-a 's' and
        'Sfc.ref' := ('s' of 'proc') and
        NOT 'Sfc.ref' = "NO-VALUE" and
        'status.Sfc' := ('Sfc.ref' of 'fc.ref') and
        NOT 'status.Sfc' = "inexistente" and
        superficies-1 'proc', 'fc.ref', 'Sfc.ref' and

```

superficies-2 'proc', 'fc.ref', 'Sfc.ref' and
ciclo-Sfcs 'proc', 'n', 't1', 'fc.ref' or
'n' := 0;

superficies-1 'proc', 'fc.ref', 'Sfc.ref'
If concatenate "rug.", 'Sfc.ref', 'rug.Sfc' and
'valor.rug' := (rug.Sfc' of 'fc.ref) and
NOT 'valor.rug' = "NO-VALUE" and
'lim-sup-rug' := (máx.rug.Sfc.usual of 'proc) and
'lim-inf-rug' := (mín.rug.Sfc.usual of 'proc) and
'valor.rug' > 'lim-sup-rug' and
superficies-aux 'proc', 'fc.ref', 'Sfc.ref', 'valor.rug', 'lim-sup-rug', 'lim-inf-rug';

superficies-2 'proc', 'fc.ref', 'Sfc.ref'
If concatenate "rug.", 'Sfc.ref', 'rug.Sfc' and
'valor.rug' := (rug.Sfc' of 'fc.ref) and
NOT 'valor.rug' = "NO-VALUE" and
'lim-sup-rug' := (máx.rug.Sfc.usual of 'proc) and
'lim-inf-rug' := (mín.rug.Sfc.usual of 'proc) and
'valor.rug' < 'lim-inf-rug' and
'n' := 0 and
NOT existe-proc-acabamento-superficial 'fc.ref', 'Sfc.ref', 'n' and
superficies-aux 'proc', 'fc.ref', 'Sfc.ref', 'valor.rug', 'lim-sup-rug', 'lim-inf-rug' and
write-text {Verifique a possibilidade de utilização de algum processo de refinação do acabamento
superficial para a superfície "%s" da forma característica "%s". Essa classe de processos é
descendente da entidade "maquinação.por.abrasão.ou.rebarbação"}, 'Sfc.ref', 'fc.ref';

superficies-aux 'proc', 'fc.ref', 'Sfc.ref', 'valor.rug', 'lim-sup-rug', 'lim-inf-rug'
If 'proc' has-parent 'pai-proc' and
dimensão-de-fc 'fc.ref' and
write-text {A especificação de rugosidade superficial da superfície "%s" está fora da faixa de
valores usualmente obtidos pelo processo tecnológico de fabricação "%s".
Valor da rugosidade: %s
Limites aceitáveis: valores menores que %s e valores maiores que %s.
, 'Sfc.ref', 'pai-proc', 'valor.rug', 'lim-sup-rug', 'lim-inf-rug';

existe-proc-acabamento-superficial 'fc.ref', 'Sfc.ref', 'n'
If 'proc' is-a maquinação.por.abrasão.ou.rebarbação and
NOT 'filho' has-parent 'proc' and
'proc' has-a 'slot' and
'valor.slot' := ('slot' of 'proc) and
'valor.slot' = 'fc.ref' and
existe-acab-superf 'fc.ref', 'Sfc.ref', 'n', 'slot.Sfc', 'proc', 'slot';

existe-acab-superf 'fc.ref', 'Sfc.ref', 'n', 'slot.Sfc', 'proc', 'slot'
If 'n' := 'n' + 1 and
concatenate "Sfc.", 'n', 'temp.1' and
concatenate 'temp.1', ".", 'temp.2' and
concatenate 'temp.2', 'slot', 'slot.Sfc' and
'Sfc.alvo' := ('slot.Sfc' of 'proc) and
'Sfc.ref' = 'Sfc.alvo' or
existe-acab-superf 'fc.ref', 'Sfc.ref', 'n', 'slot.Sfc', 'proc', 'slot';

E.3.4.4. Implementação do predicado denominado "cadeia-completa-de-dimensões".

Este predicado é utilizado como suporte à análise de *tolerâncias dimensionais* (ver implementação dos predicados correspondentes nos tópicos E.3.4.1 e E.3.4.2 deste apêndice), sendo dedicado a encontrar *cadeias de dimensões* nas peças (ver a descrição do procedimento relacionado com esta implementação no tópico 5.5.3.1 do Capítulo 5). Note-se que a definição do predicado "dimensão-transversal-e-ligada-à" é apresentada neste apêndice no tópico E.2.1.2.

cadeia-completa-de-dimensões

If read 'peça' and
'a' := "lst-união-" and
concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
'n' := 0 and
'tipo.fc' := "ext" and
cadeia-completa-de-dimensões-aux 'peça', 'lista', 'n', 'tipo.fc' and
'tipo.fc' := "int" and
cadeia-completa-de-dimensões-aux 'peça', 'lista', 'n', 'tipo.fc' and
elimina-cadeias-repetidas;

cadeia-completa-de-dimensões-aux 'peça', 'lista', 'n', 'tipo.fc'

If list-member 'u', 'lista' and
'n' := 'n' + 1 and
concatenate "cadeia-tols-", 'peça', 'a' and
concatenate 'a', "-", 'b' and
concatenate 'b', 'n', 'cadeia' and
's' := (Sfc.fc.ref.1 of 'u') and
'fc' := (fc.ref.1 of 'u') and
'outra.fc' := (fc.ref.2 of 'u') and
(tipo.de.forma.caract of 'fc') = 'tipo.fc' and
(tipo.de.forma.caract of 'outra.fc') = 'tipo.fc' and
cadeia-aux-2 'peça', 'lista', 'n', 's', 'fc', 'tipo.fc', 'u', 'cadeia' and
cadeia-aux-1 'peça', 'lista', 'n', 'tipo.fc', 'u', 'cadeia' and
fall or
no-backtrack;

cadeia-aux-1 'peça', 'lista', 'n', 'tipo.fc', 'u', 'cadeia'

If 's' := (Sfc.fc.ref.2 of 'u') and
'fc' := (fc.ref.2 of 'u') and
'outra.fc' := (fc.ref.1 of 'u') and
(tipo.de.forma.caract of 'fc') = 'tipo.fc' and
(tipo.de.forma.caract of 'outra.fc') = 'tipo.fc' and
cadeia-aux-2 'peça', 'lista', 'n', 's', 'fc', 'tipo.fc', 'u', 'cadeia';

cadeia-aux-2 'peça', 'lista', 'n', 's', 'fc', 'tipo.fc', 'u', 'cadeia'

If achar-dim-transv-à-Sfc 'peça', 'n', 's', 'dim', 'fc', 'classe.fc', 'cadeia' and
achar-Sfc-transv-à-dim 'peça', 'n', 'dim', 's', 's2', 'fc', 'classe.fc' and
NOT 'dim' = "inexistente" and
's' := 's2' and
'f' := "não" and
saida-cadeia-aux-2 'peça', 'lista', 'n', 's', 'fc', 'tipo.fc', 'u', 'cadeia', 'f' or
true;

saida-cadeia-aux-2 'peça', 'lista', 'n', 's', 'fc', 'tipo.fc', 'u', 'cadeia', 'f'

If Sfc-aparece-em-elem-união 'lista', 's', 'fc', 'tipo.fc', 'u', 'f' and
NOT 'f' = "não" and
cadeia-aux-2 'peça', 'lista', 'n', 's', 'fc', 'tipo.fc', 'u', 'cadeia';

saida-cadeia-aux-2 'peça', 'lista', 'n', 's', 'fc', 'tipo.fc', 'u', 'cadeia', 'f'

If true;

achar-dim-transv-à-Sfc 'peça', 'n', 's', 'dim', 'fc', 'classe.fc', 'cadeia'

If 'fc' is-a 'classe.fc' and
'dim' dimensão-transversal-e-ligada-à 's', 'classe.fc' and
list-add-member 'dim', 'cadeia' and
list-add-member 'fc', 'cadeia' or
true;

achar-Sfc-transv-à-dim 'peça', 'n', 'dim', 's', 's2', 'fc', 'classe.fc'

If 'dim' dimensão-transversal-e-ligada-à 's2', 'classe.fc' and
NOT 's' = 's2' or
'dim' := "inexistente";

Sfc-aparece-em-elem-união 'lista', 's', 'fc-ref', 'tipo.fc', 'u', 'f'

If repeat and
'f2' := "não" and
existe-elem-união-disp 'lista', 'u2', 'f2' and
NOT 'u' = 'u2' and

Sfc-aparece-em-elem-união-aux 'u', 'u2', 's', 'fc-ref', 'tipo.fc', 'f' and
teste-saída-Sfc-aparece-em-elem-união 'f', 'f2';

existe-elem-união-disp 'lista', 'u2', 'f2'

If list-member 'u2', 'lista';

existe-elem-união-disp 'lista', 'u2', 'f2'

If 'u2' := "vazio" and
'f2' := "sim";

Sfc-aparece-em-elem-união-aux 'u', 'u2', 's', 'fc-ref', 'tipo.fc', 'f'

If 'u2' = "vazio";

Sfc-aparece-em-elem-união-aux 'u', 'u2', 's', 'fc-ref', 'tipo.fc', 'f'

If NOT 'u2' = "vazio" and
(Sfc.fc.ref.1 of 'u2') = 's' and
'fc' := (fc.ref.1 of 'u2') and
'fc-ref' = 'fc' and
's2' := (Sfc.fc.ref.2 of 'u2') and
'fc2' := (fc.ref.2 of 'u2') and
(tipo.de.forma.caract of 'fc2') = 'tipo.fc' and
'fc-ref' := 'fc2' and
's' := 's2' and
'f' := "sim";

Sfc-aparece-em-elem-união-aux 'u', 'u2', 's', 'fc-ref', 'tipo.fc', 'f'

If NOT 'u2' = "vazio" and
(Sfc.fc.ref.2 of 'u2') = 's' and
'fc' := (fc.ref.2 of 'u2') and
'fc-ref' = 'fc' and
's2' := (Sfc.fc.ref.1 of 'u2') and
'fc2' := (fc.ref.1 of 'u2') and
(tipo.de.forma.caract of 'fc2') = 'tipo.fc' and
'fc-ref' := 'fc2' and
's' := 's2' and
'f' := "sim";

teste-saída-Sfc-aparece-em-elem-união 'f', 'f2'

If 'f2' = "sim" or
'f' = "sim";

elimina-cadeias-repetidas

If for-every is-a-llst 'lista-1'
do comparar-com-outras-listas 'lista-1';

comparar-com-outras-listas 'lista-1'

If is-a-llst 'lista-2' and
NOT 'lista-1' = 'lista-2' and
'f2' := "sim" and
comparar-2-listas 'lista-1', 'lista-2', 'f2' and
'f2' = "sim" and
list-remove 'lista-2' or
true;

comparar-2-listas 'lista-1', 'lista-2', 'f2'

If repeat and
read-membro-da-lista-1 'lista-1', 'membro', 'f1' and
testa-presença-de-membro 'lista-2', 'membro', 'f2' and
saída-compara-2-listas 'f1', 'f2';

read-membro-da-lista-1 'lista-1', 'membro', 'f1'

If 'f1' := "ok" and
llst-member 'membro', 'lista-1' or
'f1' := "fim";

testa-presença-de-membro 'lista', 'membro', 'flag'

If 'tamanho-lista' := 0 and
nro-membros 'lista', 'tamanho-lista' and
'flag' := "não" and
'n' := 0 and

```

NOT 'tamanho-lista' = 0 and
repeat and
ciclo-membros-lista 'x', 'lista', 'n' and
presença-de-membro 'membro', 'x', 'n', 'tamanho-lista', 'flag';

testa-presença-de-membro 'lista', 'membro', 'flag'
If 'flag' := "não";

ciclo-membros-lista 'x', 'lista', 'n'
If llist-member 'x', 'lista' and
'n' := 'n' + 1 ;

presença-de-membro 'membro', 'x', 'n', 'tamanho-lista', 'flag'
If 'x' = 'membro' and
'flag' := "sim" or
'n' = 'tamanho-lista';

saída-compara-2-listas 'f1', 'f2'
If 'f1' = "fim" or
'f2' = "não";

```

E.3.4.5. Implementação do predicado denominado "cadeia-equivalente-à-dimensão-explicita".

Este predicado é utilizado como suporte à análise de *tolerâncias dimensionais* (ver implementação dos predicados correspondentes nos tópicos E.3.4.1 e E.3.4.2 deste apêndice), sendo dedicado a encontrar *cadeias de dimensões* ou partes destas nas peças, correspondentes às definições de *dimensões explícitas* efectuadas pelo projectista (ver a descrição do procedimento relacionado com esta implementação no tópico 5.5.3.1 do Capítulo 5). Note-se que as definições dos predicados "achar-dim-transv-à-Sfc", "achar-Sfc-transv-à-dim" e "Sfc-aparece-em-elem-união" são apresentadas neste apêndice em E.3.4.4.

```

cadeia-equivalente-à-dimensão-explicita
If read 'peça' and
concatenate "lst-dims-", 'peça', 'lista-dims' and
write-text {Lista de dimensões explícitas da peça "%s": }, 'peça' and
write-text {Forneca a dimensão explícita de referência:} and
read 'dim-exp' and
's' := "lst-união-" and
concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
cadeia-de-dimensões 'peça', 'lista', 'n', 'dim-exp' and
elimina-cadeias-repetidas;

cadeia-de-dimensões 'peça', 'lista', 'n', 'dim-exp'
If 'n' := 'n' + 1 and
concatenate "cadeia-tols-", 'peça', 'a' and
concatenate 'a', "-", 'b' and
concatenate 'b', 'n', 'cadeias' and
's' := (elemento.de.ref.1.a of 'dim-exp') and
'fc' := (fc.ref.1.a of 'dim-exp') and
'outra-s' := (elemento.de.ref.2.a of 'dim-exp') and
'outra-fc' := (fc.ref.2.a of 'dim-exp') and
'tipo.fc' := (tipo.de.forma.caract of 'fc') and
(tipo.de.forma.caract of 'outra-fc') = 'tipo.fc' and
'f' := "não" and
'f2' := "não" and
achar-elem-união-corresp-a-dim-exp 's', 'fc', 'u', 'f', 'f2', 'lista' and
'f' := "não" and
'f2' := "não" and
achar-elem-união-corresp-a-dim-exp 'outra-s', 'outra-fc', 'outro-u', 'f', 'f2', 'lista' and
cadeia-de-dimensões-aux 'peça', 'lista', 'n', 's', 'fc', 'tipo.fc', 'cadeias', 'u', 'outro-u';

```

```

achar-elem-união-corresp-a-dim-exp 's', 'fc', 'u', 'f', 'f2', 'lista'
If do elem-união-corresp-a-dim-exp 's', 'fc', 'u', 'f', 'f2', 'lista', 'f2'
    until saída-elem-união-corresp-a-dim-exp 'f', 'f2';

saída-elem-união-corresp-a-dim-exp 'f', 'f2'
If 'f' = "ok" or
    'f2' = "fim";

elem-união-corresp-a-dim-exp 's', 'fc', 'u', 'f', 'lista', 'f2'
If listar-elem-união 'u', 'lista', 'f2' and
    testa-elem-união 's', 'fc', 'u', 'f';

listar-elem-união 'u', 'lista', 'f2'
If list-member 'u', 'lista' or
    'f2' := "fim";

testa-elem-união 's', 'fc', 'u', 'f'
If 's' = (Sfc.fc.ref.1 of 'u') and
    'fc' = (fc.ref.1 of 'u') and
    'f' := "ok";

testa-elem-união 's', 'fc', 'u', 'f'
If 's' = (Sfc.fc.ref.2 of 'u') and
    'fc' = (fc.ref.2 of 'u') and
    'f' := "ok";

cadeia-de-dimensões-aux 'peça', 'lista', 'n', 's', 'fc', 'tipo.fc', 'cadeia', 'u', 'outro-u'
If achar-dim-transv-à-Sfc 'peça', 'n', 's', 'dim', 'fc', 'classe.fc', 'cadeia' and
    achar-Sfc-transv-à-dim 'peça', 'n', 'dim', 's', 's2', 'fc', 'classe.fc' and
    NOT 'dim' = "inexistente" and
    NOT limite-da-cadeia 'outro-u', 's2', 'fc' and
    's' := 's2' and
    'f' := "não" and
    saída-cadeia-de-dimensões-aux 'peça', 'lista', 'n', 's', 'fc', 'tipo.fc', 'cadeia', 'u', 'outro-u', 'f' or
    true;

limite-da-cadeia 'u', 's', 'fc'
If (fc.ref.1 of 'u') = 'fc' and
    (Sfc.fc.ref.1 of 'u') = 's' or
    limite-da-cadeia-aux 'u', 's', 'fc';

limite-da-cadeia-aux 'u', 's', 'fc'
If (fc.ref.2 of 'u') = 'fc' and
    (Sfc.fc.ref.2 of 'u') = 's';

saída-cadeia-de-dimensões-aux 'peça', 'lista', 'n', 's', 'fc', 'tipo.fc', 'cadeia', 'u', 'outro-u', 'f'
If Sfc-aparece-em-elem-união 'lista', 's', 'fc', 'tipo.fc', 'u', 'f' and
    NOT 'f' = "não" and
    cadeia-de-dimensões-aux 'peça', 'lista', 'n', 's', 'fc', 'tipo.fc', 'cadeia', 'u', 'outro-u';

saída-cadeia-de-dimensões-aux 'peça', 'lista', 'n', 's', 'fc', 'tipo.fc', 'cadeia', 'u', 'outro-u', 'f'
If true;

```

E.3.4.6. Implementação do predicado denominado "sugerir-operações-TT".

Este predicado é utilizado na análise da necessidade de se proceder a operações de *tratamento térmico* numa peça discreta em função de suas *características* físicas e dos processos de fabricação relacionados com a obtenção da forma seleccionados para a sua fabricação (ver a descrição do procedimento relativo a esta implementação no tópico 5.5.5 do Capítulo 5). Note-se que a definição do predicado "material-do-tipo" é apresentada neste apêndice no tópico E.2.2.3.

sugerir-operações-TT 'peça'

If 'a' := "lst-proc-" and
concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
sugerir-operações-TT-aux 'lista', 'peça';

sugerir-operações-TT-aux 'lista', 'peça'

If 'tipo.mat' := (tipo.de.material.de.construção of 'peça') and
NOT 'tipo.mat' = "NO-VALUE" and
'f' := "não" and
existência-de-proc-TT 'lista', 'f' and
'f' = "não" and
análise-de-maciez 'tipo.mat' and
processos-que-exigem-dureza 'tipo.mat', 'lista', 'peça' and
fail or
no-backtrack;

existência-de-proc-TT 'lista', 'f'

If list-member 'p', 'lista' and
'p' is-a tratamento.não.superficial and
'f' := "sim" and
fail or
no-backtrack;

análise-de-maciez 'tipo.mat'

If 'tipo.mat' material-do-tipo macio;

análise-de-maciez 'tipo.mat'

If 'tipo.mat' is-a 'mat' and
'mat' material-do-tipo macio;

processos-que-exigem-dureza 'tipo.mat', 'lista', 'peça'

If list-member 'proc', 'lista' and
'proc' is-a rectificação and
encontra-valor-da-dureza-superf 'peça', 'dureza' and
write-text{ O tipo de material (%s) que será utilizado para a construção
da peça "%s" provavelmente exigirá algum tratamento para
endurecimento superficial, a fim de se poder efectuar a operação
de rectificação especificada em "%s".
Obs.: Valor previsto para dureza da peça acabada %s.}, 'tipo.mat', 'peça', 'proc', 'dureza';

encontra-valor-da-dureza-superf 'peça', 'dureza'

If has-value 'peça', dureza.Rockwell.B.peça.acabada and
'dur' := (dureza.Rockwell.B.peça.acabada of 'peça') and
'tipo.dureza' := ": Rb " and
concatenate 'tipo.dureza', 'dur', 'dureza';

encontra-valor-da-dureza-superf 'peça', 'dureza'

If has-value 'peça', dureza.Rockwell.C.peça.acabada and
'dur' := (dureza.Rockwell.C.peça.acabada of 'peça') and
'tipo.dureza' := ": Rc " and
concatenate 'tipo.dureza', 'dur', 'dureza' or
'dureza' := "não foi especificado";

E.3.4.7. Implementação do predicado denominado "sugerir-tipo-mat-constr-processos".

Este predicado é utilizado para a sugestão de *tipos* de materiais de construção para as peças discretas, conforme introduzido no tópico 5.5.6 do Capítulo 5. Este predicado verifica paralelamente a adequação e a inadequação de um determinado material para um determinado processo tecnológico. Note-se que as definições dos predicados "material-usual-em" e "material-inadequado-para" são apresentadas respectivamente nos tópicos E.2.2.5 e E.2.2.6 deste apêndice.

sugerir-tipo-mat-constr-processos

```
Se      read 'peça' and
        'a' := "lst-proc-" and
        concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
        'flag' := "não" and
        'mat' := (tipo.de.material.de.construção of 'peça') and
        testar-material-1 'mat', 'lista', 'flag' and
        testar-material-2 'mat', 'lista', 'flag' and
        material-contrá-indicado 'peça', 'flag', 'mat' and
        testar-material-3 'lista';

testar-material-1 'mat', 'lista', 'flag'
If      for-every list-member 'proc', 'lista'
        do testar-material-1-aux 'mat', 'proc', 'flag';

testar-material-1-aux 'mat', 'proc', 'flag'
If      'proc' is-a 'classe-proc' and

testar-material-1-aux-b 'mat', 'classe-proc', 'flag'
If      'mat' material-inadequado-para 'classe-proc' and
        'flag' := "sim";

testar-material-2 'mat', 'lista', 'flag'
If      for-every list-member 'proc', 'lista'
        do testar-material-2-aux 'mat', 'proc', 'flag';

testar-material-2-aux 'mat', 'proc', 'flag'
If      'proc' is-a 'classe-proc' and
        testar-material-2-aux-b 'mat', 'classe-proc', 'flag';

testar-material-2-aux-b 'mat', 'classe-proc', 'flag'
If      'mat' is-a 'classe-mat' and
        'classe-mat' material-inadequado-para 'classe-proc' and
        'flag' := "sim";

testar-material-3 'lista'
If      for-every list-member 'proc', 'lista'
        do testar-material-3-aux 'proc';

testar-material-3-aux 'proc'
If      'proc' is-a 'classe-proc' and
        testar-material-3-aux-b 'classe-proc', 'proc';

testar-material-3-aux-b 'classe-proc', 'proc'
If      'mat' is-a tipo.de.material and
        'mat' material-usual-em 'classe-proc' and
        write-text {Material indicado para a peça: %s - processo %s (%s)}, 'mat', 'proc', 'classe-proc' and
        'mens' := "Deseja nova sugestão?" and
        read-no 'mens';

material-contrá-indicado 'peça', 'flag', 'mat'
If      'flag' = "sim" and
        write-text {Material não recomendado para a peça "%s": %s}, 'peça', 'mat' or
        true;
```

E.3.4.8. Implementação do predicado denominado "tipo-versus-forma-comercial".

Este predicado é utilizado para a averiguação da existência de um *tipo* de material de construção de peças mecânicas numa determinada *forma comercial*, conforme exposto no tópico 5.5.6 do Capítulo 5. Note-se que a definição do predicado "existe-em-forma-de" é apresentada em E.2.2.4 neste apêndice.

```

tipo-versus-forma-comercial
If read 'material' and
write-text {O material "%s" pode ser encontrado na(s) seguinte(s) forma(s) comercial(is):
}, 'material' and
tipo-versus-forma-comercial-aux-1 'material' and
tipo-versus-forma-comercial-aux-2 'material' and
tipo-versus-forma-comercial-aux-3 'material' and
tipo-versus-forma-comercial-aux-4 'material';

tipo-versus-forma-comercial-aux-1 'material'
If 'material' existe-em-forma-de 'forma' and
listar-formas-comerciais 'material' or
true;

tipo-versus-forma-comercial-aux-2 'material'
If 'material' is-a 'superclasse-de-material' and
'superclasse-de-material' existe-em-forma-de 'forma' and
listar-formas-comerciais 'superclasse-de-material' or
true;

tipo-versus-forma-comercial-aux-3 'material'
If 'material' is-a aço and
'x' := (classif.composição.química of 'material') and
'x' existe-em-forma-de 'forma' and
listar-formas-comerciais 'material' or
true;

tipo-versus-forma-comercial-aux-4 'material'
If mostrar-lista-aux TEMP or
write-text {(Impossível encontrar opções de forma comercial de material
disponível para o material "%s").}, 'material';

listar-formas-comerciais 'material'
If for-every 'material' existe-em-forma-de 'forma'
do write-text {O material %s está disponível na forma comercial %s.}, 'material', 'forma';

```

E.3.4.9. Implementação do predicado denominado "peso-da-forma-comercial".

Este predicado é utilizado na análise do peso da *peça de trabalho* a ser utilizada face ao peso máximo suportado pelas máquinas seleccionadas para sua fabricação (ver a descrição do procedimento relacionado com esta implementação no tópico 5.5.7 do Capítulo 5).

```

peso-da-forma-comercial 'peça', 'lista'
If read 'peça' and
'a' := "lst-proc-" and
concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
'n' := 0 and
peso-da-forma-comercial-aux 'lista', 'peça', 'n';

peso-da-forma-comercial-aux 'lista', 'peça', 'n'
If list-member 'proc', 'lista' and
'n' := 0 and
'proc' has-parent 'cp' and
'forma.mat' := (forma.do.material.de.construção of 'peça') and
concatenate 'forma.mat', ".", 'a' and
concatenate 'a', 'peça', 'forma.mat.peça' and
'peso.peça.trab' := (peso.forma.material of 'forma.mat.peça') and
analisa-forma-mat-X-máquina-2 'proc', 'peso.peça.trab', 'n' and
fail or
no-backtrack;

analisa-forma-mat-X-máquina-2 'proc', 'peso.peça.trab', 'n'
If 'n' := 'n' + 1 and

```

```
'flag' := "ok" and
concatenate "tipo.de.máquina.associada.", 'n', 'tipo.máq.assoc' and
'proc' has-a 'tipo.máq.assoc' and
'classe.máq' := ('tipo.máq.assoc' of 'proc') and
analisa-forma-mat-2 'peso.peça.trab', 'classe.máq', 'flag' and
analisa-forma-mat-X-máquina-2 'proc', 'peso.peça.trab', 'n' or
true;
```

```
analisa-forma-mat-2 'peso.peça.trab', 'classe.máq', 'flag'
If 'máq' is-a 'classe.máq' and
analisa-peso-forma-mat-X-peça 'peso.peça.trab', 'máq', 'flag' and
msg-analisa-máquina 'flag', 'máq', 'classe.máq' and
fail or
no-backtrack;
```

```
analisa-peso-forma-mat-X-peça 'peso.peça.trab', 'máq', 'flag'
If 'peso.máx' := (máx.peso.suportado of 'máq') and
'peso.máx' > 'peso.peça.trab' and
'flag' := "ok" or
'flag' := "problema";
```

```
msg-analisa-máquina 'flag2', 'máq', 'classe.máq'
If 'flag2' = "ok" and
testa-existência-de-máq 'máq' and
'máq' has-parent 'cmáq' and
write-text {* máquina aprovada : %s (%s).}, 'máq', 'cmáq';
```

```
msg-analisa-máquina 'flag2', 'máq', 'classe.máq'
If 'flag2' = "problema" and
testa-existência-de-máq 'máq' and
'máq' has-parent 'cmáq' and
write-text {* máquina não aprovada : %s (%s).}, 'máq', 'cmáq' or
true;
```

```
testa-existência-de-máq 'máq'
If NOT 'filho' has-parent 'máq' and
'x' := (máx.compr.mater.trab of 'máq') and
NOT 'x' = "NO-VALUE";
```

E.3.4.10. Implementação do predicado denominado "dims-máquinas".

Este predicado é utilizado na análise do tamanho especificado da *peça de trabalho* face ao tamanho máximo suportado pelas máquinas a serem utilizadas na sua fabricação (ver a descrição do procedimento relacionado com esta implementação no tópico 5.5.7 do Capítulo 5). Note-se que a definição do predicado "msg-analisa-máquina" é apresentada neste apêndice no tópico E.3.4.9.

```
dims-máquinas 'peça', 'lista'
If read 'peça' and
'a' := "lst-proc-" and
concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
'n' := 0 and
dims-máquinas-aux 'lista', 'peça', 'n';
```

```
dims-máquinas-aux 'lista', 'peça', 'n'
If list-member 'proc', 'lista' and
'n' := 0 and
'proc' has-parent 'cp' and
analisa-forma-mat-X-máquina-1 'proc', 'peça', 'n' and
fail or
no-backtrack;
```

analisa-forma.mat-X-máquina-1 'proc', 'peça', 'n'

If 'n' := 'n' + 1 and
'flag' := "ok" and
concatenate "tipo.de.máquina.associada.", 'n', 'tipo.máq.assoc' and
'proc' has-a 'tipo.máq.assoc' and
'classe.máq' := ('tipo.máq.assoc' of 'proc') and
analisa-forma.mat-1 'peça', 'classe.máq' and
analisa-forma.mat-X-máquina-1 'proc', 'peça', 'n' or
true;

analisa-forma.mat-1 'peça', 'classe.máq'

If 'forma.mat.peça' := (identificador.forma.comercial of 'peça') and
dims-forma.mat 'forma.mat.peça', 'h', "alt" and
dims-forma.mat 'forma.mat.peça', 'l', "larg" and
dims-forma.mat 'forma.mat.peça', 'l1', "lado.1" and
dims-forma.mat 'forma.mat.peça', 'l2', "lado.2" and
dims-forma.mat 'forma.mat.peça', 'c', "compr" and
dims-forma.mat 'forma.mat.peça', 'd', "dimensão.1.seção.transv" and
dims-forma.mat 'forma.mat.peça', 'e', "espessura" and
máqs-X-dims 'classe.máq', 'h', 'l', 'l1', 'l2', 'c', 'd', 'e';

dims-forma.mat 'forma.mat', 'dim', 'slot.dim'

If 'forma.mat' has-a 'slot.dim' and
'dim' := ('slot.dim' of 'forma.mat') or
'dim' := "NO-VALUE";

máqs-X-dims 'classe.máq', 'h', 'l', 'l1', 'l2', 'c', 'd', 'e'

If for-every 'máq' is-a 'classe.máq'
do analisa-dims-envelope 'classe.máq', 'máq', 'h', 'l', 'l1', 'l2', 'c', 'd', 'e';

analisa-dims-envelope 'classe.máq', 'máq', 'h', 'l', 'l1', 'l2', 'c', 'd', 'e'

If 'larg.máx' := (máx.larg.mater.trab of 'máq') and
'alt.máx' := (máx.alt.mater.trab of 'máq') and
'compr.máx' := (máx.compr.mater.trab of 'máq') and
'diâm.máx' := (máx.diâm.mater.trab of 'máq') and
'flag2' := "ok" and
analisa-envelope 'máq', 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'l', 'c', 'diâm.máx', 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx' and
msg-analisa-máquina 'flag2', 'máq', 'classe.máq' or
true;

analisa-envelope 'máq', 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'l', 'c', 'diâm.máx', 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx'

If máqs-mistas 'máq' and
'flag' := "ok" and
analisa-dims-envelope-aux 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'l', 'c', 'diâm.máx', 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx';

analisa-envelope 'máq', 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'l', 'c', 'diâm.máx', 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx'

If 'flag' := "ok" and
analisa-dims-envelope-aux-1 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'l', 'c', 'diâm.máx', 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx'
or
true;

máqs-mistas 'máq'

If 'máq' is-a fresadora.mista or
'máq' is-a centro.de.maquinação.misto;

analisa-dims-envelope-aux 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'l', 'c', 'diâm.máx', 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx'

If analisa-dims-envelope-aux-1 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'l', 'c', 'diâm.máx', 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx'
or
analisa-dims-envelope-aux-2 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'l', 'c', 'diâm.máx', 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx'
or
analisa-dims-envelope-aux-3 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'l', 'c', 'diâm.máx', 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx'
or
analisa-dims-envelope-aux-4 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'l', 'c', 'diâm.máx', 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx'
or
analisa-dims-envelope-aux-5 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'l', 'c', 'diâm.máx', 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx'
or
analisa-dims-envelope-aux-6 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'l', 'c', 'diâm.máx', 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx'
or
true;

analisa-dims-envelope-aux-1 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'T', 'c', 'diâm.máx', 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx'

If 'flag2' := "ok" and
compara-dims 'alt.máx', 'h', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
compara-dims 'alt.máx', 'e', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
compara-dims 'diâm.máx', 'd', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
compara-dims 'larg.máx', 'T', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
compara-dims 'compr.máx', 'c', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
analisa-lado1-lado2 'l1', 'l2', 'larg.máx', 'compr.máx', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
no-backtrack and
testa-problema-com-envelope 'flag2';

analisa-dims-envelope-aux-2 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'T', 'c', 'diâm.máx', 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx'

If 'flag2' := "ok" and
compara-dims 'alt.máx', 'h', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
compara-dims 'alt.máx', 'e', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
compara-dims 'diâm.máx', 'd', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
compara-dims 'compr.máx', 'T', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
compara-dims 'larg.máx', 'c', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
analisa-lado1-lado2 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
no-backtrack and
testa-problema-com-envelope 'flag2';

analisa-dims-envelope-aux-3 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'T', 'c', 'diâm.máx', 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx'

If 'flag2' := "ok" and
compara-dims 'compr.máx', 'h', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
compara-dims 'compr.máx', 'e', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
compara-dims 'diâm.máx', 'd', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
compara-dims 'larg.máx', 'T', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
compara-dims 'alt.máx', 'c', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
analisa-lado1-lado2 'l1', 'l2', 'larg.máx', 'alt.máx', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
no-backtrack and
testa-problema-com-envelope 'flag2';

analisa-dims-envelope-aux-4 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'T', 'c', 'diâm.máx', 'l1', 'l2', 'compr.máx', 'larg.máx'

If 'flag2' := "ok" and
compara-dims 'compr.máx', 'h', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
compara-dims 'compr.máx', 'e', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
compara-dims 'diâm.máx', 'd', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
compara-dims 'alt.máx', 'T', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
compara-dims 'compr.máx', 'c', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
analisa-lado1-lado2 'l1', 'l2', 'alt.máx', 'compr.máx', 'flag' and
teste-flag 'flag', 'flag2' and
no-backtrack and
testa-problema-com-envelope 'flag2';

analisa-dims-envelope-aux-5 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'T', 'c', 'diám.máx', 'I1', 'I2', 'compr.máx', 'larg.máx'

```
If 'flag2' := "ok" and
  compara-dims 'larg.máx', 'h', 'flag' and
  teste-flag 'flag', 'flag2' and
  compara-dims 'larg.máx', 'e', 'flag' and
  teste-flag 'flag', 'flag2' and
  compara-dims 'diám.máx', 'd', 'flag' and
  teste-flag 'flag', 'flag2' and
  compara-dims 'alt.máx', 'T', 'flag' and
  teste-flag 'flag', 'flag2' and
  compara-dims 'compr.máx', 'c', 'flag' and
  teste-flag 'flag', 'flag2' and
  analisa-lado1-lado2 'I1', 'I2', 'alt.máx', 'compr.máx', 'flag' and
  teste-flag 'flag', 'flag2' and
  no-backtrack and
  testa-problema-com-envelope 'flag2';
```

analisa-dims-envelope-aux-6 'flag', 'flag2', 'alt.máx', 'h', 'e', 'd', 'T', 'c', 'diám.máx', 'I1', 'I2', 'compr.máx', 'larg.máx'

```
If 'flag2' := "ok" and
  compara-dims 'larg.máx', 'h', 'flag' and
  teste-flag 'flag', 'flag2' and
  compara-dims 'larg.máx', 'e', 'flag' and
  teste-flag 'flag', 'flag2' and
  compara-dims 'diám.máx', 'd', 'flag' and
  teste-flag 'flag', 'flag2' and
  compara-dims 'compr.máx', 'T', 'flag' and
  teste-flag 'flag', 'flag2' and
  compara-dims 'alt.máx', 'c', 'flag' and
  teste-flag 'flag', 'flag2' and
  analisa-lado1-lado2 'I1', 'I2', 'compr.máx', 'alt.máx', 'flag' and
  teste-flag 'flag', 'flag2' and
  no-backtrack and
  testa-problema-com-envelope 'flag2';
```

compara-dims 'dim.máq', 'dim.peça', 'flag'

```
If 'flag' := "ok" and
  NOT 'dim.peça' = "NO-VALUE" and
  NOT 'dim.máq' = "NO-VALUE" and
  compara-dims-aux 'dim.máq', 'dim.peça', 'flag' or
  true;
```

compara-dims-aux 'dim.máq', 'dim.peça', 'flag'

```
If 'dim.peça' <= 'dim.máq' or
  'flag' := "problema";
```

teste-flag 'flag', 'flag2'

```
If 'flag' = "problema" and
  'flag2' := "problema" or
  true;
```

analisa-lado1-lado2 'I1', 'I2', 'larg.máx', 'compr.máx', 'flag'

```
If 'flag' := "ok" and
  'I1' := "ok" and
  'I2' := "ok" and
  compara-dims 'larg.máx', 'I1', 'I1' and
  'I1' = "ok" and
  compara-dims 'compr.máx', 'I2', 'I2' and
  'I2' = "ok" or
  analisa-lado1-lado2-aux 'I1', 'I2', 'larg.máx', 'compr.máx', 'flag';
```

analisa-lado1-lado2-aux 'I1', 'I2', 'larg.máx', 'compr.máx', 'flag'

```
If 'I1' := "ok" and
  'I2' := "ok" and
  compara-dims 'larg.máx', 'I2', 'I1' and
  'I1' = "ok" and
  compara-dims 'compr.máx', 'I1', 'I2' and
  'I2' = "ok" or
  'flag' := "problema";
```

```

testa-problema-com-envelope 'flag2'
If NOT 'flag2' = "problema" ;

```

E.3.4.11. Implementação do predicado denominado "projecto-orientado-à-fabricação-1".

Este predicado é utilizado para recomendação da utilização de *chanfros* e *concordâncias* em peças discretas (ver a descrição do procedimento relacionado com esta implementação no tópico 5.5.1 do Capítulo 5). Este predicado analisa a utilização de *chanfros* e *concordâncias* nas zonas de união entre duas *formas características*.

```

projecto-orientado-à-fabricação-1 'peça'
If read 'peça' and
  'a' := "lst-união-" and
  concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
  projecto-orientado-à-fabricação-1-aux 'lista';

```

```

projecto-orientado-à-fabricação-1-aux 'lista'
If list-member 'união', 'lista' and
  analisa-união 'união' and
  fail or
  no-backtrack;

```

```

analisa-união 'união'
If 's1' := (Sfc.fc.ref.1 of 'união') and
  'fc1' := (fc.ref.1 of 'união') and
  NOT 'fc1' is-a chanfro and
  NOT 'fc1' is-a concordância and
  (tipo.de.forma.característica of 'fc1') = "volume-positivo" and
  's2' := (Sfc.fc.ref.2 of 'união') and
  'fc2' := (fc.ref.2 of 'união') and
  NOT 'fc2' is-a chanfro and
  NOT 'fc2' is-a concordância and
  (tipo.de.forma.característica of 'fc2') = "volume-positivo" and
  'status.s1' := ('s1' of 'fc1') and
  'status.s2' := ('s2' of 'fc2') and
  NOT sfc-perfeitamente-acopladas 'status.s1', 'status.s2' and
  write-text {Na região determinada pela união entre a superfície "%s" da forma característica "%s" e
    a superfície "%s" da forma característica "%s", existe grande probabilidade de ser
    aconselhável a existência de chanfro ou concordância ligando as formas características.
    Verifique a possibilidade de utilização de alguma dessas formas!}, 's1', 'fc1', 's2', 'fc2';

```

```

sfc-perfeitamente-acopladas 'status.s1', 'status.s2'
If 'status.s1' = "inexistente" and
  'status.s2' = "inexistente";

```

E.3.4.12. Implementação do predicado denominado "projecto-orientado-à-fabricação-2".

Este predicado é utilizado para recomendação da utilização de *chanfros* e *concordâncias* em peças discretas (ver a descrição do procedimento relacionado com esta implementação no tópico 5.5.1 do Capítulo 5). Este predicado analisa a utilização de *chanfros* e *concordâncias* entre as superfícies de uma mesma *forma característica*.

```

projecto-orientado-à-fabricação-2
If read 'peça' and
  'a' := "lst-proc-" and
  concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
  list-member 'proc', 'lista' and

```



```

'n' := 0 and
ciclo-fcs-projecto-orientado-à-fabricação-2 'proc', 'n' and
fail or
no-backtrack;

ciclo-fcs-projecto-orientado-à-fabricação-2 'proc', 'n'
If 'n' := 'n' + 1 and
concatenate "fc.ref.", 'n', 'fc.ref' and
'proc' has-a 'fc.ref' and
'fc' := ('fc.ref' of 'proc') and
NOT 'fc' = "NO-VALUE" and
(tipo.de.forma.caracteristica of 'fc') = "volume-negativo" and
ciclo-arestas 'fc';

ciclo-arestas 'fc'
If classe-da-forma-caracteristica 'fc', 'x' and
's1', 's2' aresta 'x' and
análise-arestas 's1', 's2', 'fc' and
fail or
no-backtrack;

classe-da-forma-caracteristica 'fc', 'x'
If 'fc' is-a 'x' and
NOT 'x' is-a forma.explicita or
'x' := 'fc';

análise-arestas 's1', 's2', 'fc'
If ('s1' of 'fc') = "existente" and
('s2' of 'fc') = "existente" and
'nível' := "considerável" and
msg-aconselha-arredond-ou-chanfro 's1', 's2', 'fc', 'nível';

análise-arestas 's1', 's2', 'fc'
If ('s1' of 'fc') = "parcial" and
('s2' of 'fc') = "existente" and
'nível' := "razoável" and
msg-aconselha-arredond-ou-chanfro 's1', 's2', 'fc', 'nível';

análise-arestas 's1', 's2', 'fc'
If ('s1' of 'fc') = "existente" and
('s2' of 'fc') = "parcial" and
'nível' := "razoável" and
msg-aconselha-arredond-ou-chanfro 's1', 's2', 'fc', 'nível';

análise-arestas 's1', 's2', 'fc'
If ('s1' of 'fc') = "parcial" and
('s2' of 'fc') = "parcial" and
'nível' := "certa" and
msg-aconselha-arredond-ou-chanfro 's1', 's2', 'fc', 'nível';

msg-aconselha-arredond-ou-chanfro 's1', 's2', 'fc', 'nível'
If write-text {Na região determinada pela união entre a superfície "%s" e a superfície "%s" da forma
caracteristica "%s", existe uma %s probabilidade de ser aconselhável a existência de
chanfro ou concordância ligando as superfícies.
Verifique a possibilidade de utilização de alguma dessas formas!}, 's1', 's2', 'fc', 'nível';

```

E.3.4.13. Implementação do predicado denominado "projecto-orientado-à-fabricação-3".

Este predicado é utilizado para confrontação das especificações de *tolerâncias geométricas* numa determinada peça com a capacidade de produção das mesmas pelos processos tecnológicos a serem utilizados na sua fabricação (ver a descrição dos procedimentos e da análise relacionados com esta implementação no tópico 5.5.4 do Capítulo 5).

projecto-orientado-à-fabricação-3

```
If read 'peça' and
   'a' := "lst-proc-" and
   concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
   projecto-orientado-à-fabricação-3-aux 'lista';
```

projecto-orientado-à-fabricação-3-aux 'lista'

```
If lst-member 'proc', 'lista' and
   'n' := 0 and
   analisa-tols-geoms 'proc', 'n' and
   fail or
   no-backtrack;
```

analisa-tols-geoms 'proc', 'n'

% ciclo para tolerâncias geométricas

```
If 'a' := "tolerância geométrica." and
   'n' := 'n' + 1 and
   concatenate 'a', 'n', 's' and
   'proc' has-a 's' and
   'tg.ref' := ('s' of 'proc') and
   máquina-associada-ao-processo 'maq', 'proc' and
   tolerâncias-geométricas 'maq', 'proc', 'tg.ref' and
   analisa-tols-geoms 'proc', 'n';
```

máquina-associada-ao-processo 'maq', 'proc'

```
If 'maq' := (máquina.associada.1 of 'proc') and
   NOT 'maq' = "NO-VALUE";
```

máquina-associada-ao-processo 'maq', 'proc'

```
If 'maq' := (tipo.de.máquina.associada.1 of 'proc') and
   NOT 'maq' = "NO-VALUE";
```

tolerâncias-geométricas 'maq', 'proc', 'tg.ref'

```
If NOT 'tg.ref' = "NO-VALUE" and
   'tg.ref' has-parent 'classe.tg.ref' and
   'tol.tg.ref' := 0 and
   'tol.classe.tg.ref' := 0 and
   'tol.tg.ref' := (zona.de.tolerância of 'tg.ref') and
   'tol.classe.tg.ref' := ('classe.tg.ref' of 'proc') and
   'm' := 0 and
   ciclo-dims-toleradas-tg 'maq', 'proc', 'tol.classe.tg.ref', 'tol.tg.ref', 'tg.ref', 'm';
```

ciclo-dims-toleradas-tg 'maq', 'proc', 'tol.classe.tg.ref', 'tol.tg.ref', 'tg.ref', 'm'

```
If 'a' := "dimensão.de.ref." and
   'm' := 'm' + 1 and
   concatenate 'a', 'm', 's' and
   'tg.ref' has-a 's' and
   concatenate "fc.dimensão.de.ref.", 'm', 's2' and
   'fc.ref' := ('s2' of 'tg.ref') and
   'dim' := ('s' of 'tg.ref') and
   'valor.dim' := ('dim' of 'fc.ref') and
   testar-dim-diâmetro 'dim', 'valor.dim' and
   dim-tg 'valor.dim', 'tol.classe.tg.ref', 'tol.tg.ref', 'tg.ref', 'maq', 'proc', 'dim', 'fc.ref' and
   ciclo-dims-toleradas-tg 'maq', 'proc', 'tol.classe.tg.ref', 'tol.tg.ref', 'tg.ref', 'm';
```

testar-dim-diâmetro 'dim', 'valor.dim'

```
If 'dim' = "raio" and
   'valor.dim' := 2 * 'valor.dim';
```

testar-dim-diâmetro 'dim', 'valor.dim'

```
If 'dim' = "raio.menor" and
   'valor.dim' := 2,0 * 'valor.dim' or
   true;
```

dim-tg 'valor.dim', 'tol.classe.tg.ref', 'tol.tg.ref', 'tg.ref', 'maq', 'proc', 'dim', 'fc.ref'

```
If NOT 'valor.dim' = "NO-VALUE" and
   'tol' := 'valor.dim' * 'tol.classe.tg.ref' and
```

```

'tol.tg.ref' < 'tol' and
'classe-maq' := (tipo.de.máquina.associada.1 of 'proc') and
write-text {A tolerância geométrica "%s" referida pelo processo "%s" é inadequada, considerando-se
a dimensão "%s" da forma característica "%s" e a utilização da máquina "%s"
(a classe da máquina especificada é "%s").
A zona de tolerância especificada vale %s mm, e deveria ser igual ou superior a %s mm.
}, 'tg.ref', 'proc', 'dim', 'fc.ref', 'maq', 'classe-maq', 'tol.tg.ref', 'tol';

```

E.3.4.14. Implementação do predicado denominado "projecto-orientado-à-fabricação-4".

Este predicado é utilizado na análise da adequação do dimensionamento de *formas características* da classe *furo cilíndrico* face à utilização de operações de *furação* na sua obtenção (ver a descrição do procedimento relacionado com esta implementação no tópico 5.5.2 do Capítulo 5).

projecto-orientado-à-fabricação-4

```

If read 'peça' and
'a' := "lst-proc-" and
concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
projecto-orientado-à-fabricação-4-aux 'lista', 'peça';

```

projecto-orientado-à-fabricação-4-aux 'lista', 'peça'

```

If list-member 'proc', 'lista' and
'n' := 0 and
ciclo-fcs-projecto-orientado-à-fabricação-4 'proc', 'n', 'peça' and
fail or
no-backtrack;

```

ciclo-fcs-projecto-orientado-à-fabricação-4 'proc', 'n', 'peça'

```

If 'proc' is-a furação.em.cheio and
'n' := 'n' + 1 and
concatenate "fc.ref.", 'n', 'fc.ref' and
'proc' has-a 'fc.ref' and
razão 'proc', 'fc.ref', 'peça' and
ciclo-fcs-projecto-orientado-à-fabricação-4 'proc', 'n', 'peça';

```

razão 'proc', 'fc.ref', 'peça'

```

If 'fc' := ('fc.ref' of 'proc') and
'fc' is-a furo.de.secção.arredondada and
T := (compr of 'fc') and % "compr" é comprimento
'd' := 2,0 * (raio of 'fc') and
'razão' := T / 'd' and
'razão' > 8 and
msg-diâm-versus-compr-furos 'peça', 'proc', 'fc', 'd', T;

```

msg-diâm-versus-compr-furos 'peça', 'proc', 'fc', 'd', T

```

If write-text {É aconselhável que o comprimento não exceda em mais de 8 vezes o diâmetro de furos a serem
obtidos por processos convencionais de furação!
Forma característica: %s (classe: furo.de.secção.arredondada)
- diâmetro: %s mm - comprimento: %s mm
Processo especificado: %s (peça: %s)}, 'fc', 'd', T, 'proc', 'peça';

```

E.3.4.15. Implementação do predicado denominado "projecto-orientado-à-fabricação-5".

Este predicado é utilizado na análise da localização de *formas características* da classe *furo cilíndrico* posicionados com a utilização de *dimensões explícitas* em peças discretas não-axissimétricas, face à utilização de processos de *tratamentos térmicos* na sua fabricação (ver a descrição do procedimento relacionado com esta implementação no tópico 5.5.2 do Capítulo 5).

projecto-orientado-à-fabricação-5

If read 'peça' and
'a' := "lst-proc-" and
'b' := "lst-carac-forma-" and
'c' := "lst-dims-" and
concatenate 'a', 'peça', 'lista-1' and
concatenate 'b', 'peça', 'lista-2' and
concatenate 'c', 'peça', 'lista-3' and
'proc-TT' := "inexistente" and
existe-TT 'lista-1', 'proc-TT' and
NOT 'proc-TT' = "inexistente" and
projecto-orientado-à-fabricação-5-aux 'lista-2', 'lista-3', 'peça', 'proc-TT' and
write-text {Existindo furos posicionados de forma inadequada, verifique o posicionamento de todos os demais furos da peça, especialmente aqueles encontrados em posição semelhante aos porventura relacionados.};

existe-TT 'lista-1', 'proc-TT'

If list-member 'proc', 'lista-1' and
existe-TT-aux 'proc', 'proc-TT' and
fall or
no-backtrack;

existe-TT-aux 'proc', 'proc-TT'

If 'proc' is-a tratamento.térmico and
'proc-TT' := 'proc' or
true;

projecto-orientado-à-fabricação-5-aux 'lista-2', 'lista-3', 'peça', 'proc-TT'

If list-member 'fc', 'lista-2' and
existe-furo 'fc', 'lista-3', 'peça', 'proc-TT' and
fall or
no-backtrack;

existe-furo 'fc', 'lista-3', 'peça', 'proc-TT'

If 'fc' is-a furo.de.secção.arredondada and
analisa-furos-cil-prox-limites 'fc', 'lista-3', 'peça', 'proc-TT' or
true;

analisa-furos-cil-prox-limites 'fc', 'lista-3', 'peça', 'proc-TT'

If list-member 'dim', 'lista-3' and
dims-relativas-a-furos 'fc', 'dim', 'peça', 'proc-TT' and
fall or
no-backtrack;

dims-relativas-a-furos 'fc', 'dim', 'peça', 'proc-TT'

If (tipo.de.valor.dimensional of 'dim') = "distância" and
'd' := (valor.dimensional of 'dim') and
(tipo.de.elemento.de.ref.1 of 'dim') = "eixo.AB" and
(fc.ref.1.a of 'dim') = 'fc' and
(tipo.de.elemento.de.ref.2 of 'dim') = "superfície.de.fc" and
'fc-alvo' := (fc.ref.2.a of 'dim') and
'elem-ref-alvo' := (elemento.de.ref.2.a of 'dim') and
(elem-ref-alvo of 'fc-alvo') = "existente" and
(tipo.de.forma.característica of 'fc-alvo') = "volume-positivo" and
'raio' := (raio of 'fc') and
'dist-segurança' := 2 * ('raio' * 2,0) and
'd' < 'dist-segurança' and
'proc-TT' is-a 'classe-TT' and
write-text {A distância entre a superfície "%s" da forma característica "%s" e o centro da forma característica "%s" (furo) deve ser igual ou superior a 1,5 vezes o valor do diâmetro do furo. Isto se deve à existência de tratamento térmico previsto para a peça.
Tratamento térmico: %s (%s) Peça: %s
Distância: %s (prevista em %s) Raio do furo: %s
Distância mínima aconselhável: %s.
}, 'elem-ref-alvo', 'fc-alvo', 'fc', 'proc-TT', 'classe-TT', 'peça', 'd', 'dim', 'raio', 'dist-segurança';

dims-relativas-a-furos 'fc', 'dim', 'peça', 'proc-TT'

If (tipo.de.valor.dimensional of 'dim') = "distância" and
'd' := (valor.dimensional of 'dim') and

```

(tipo.de.elemento.de.ref.2 of 'dim') = "eixo.AB" and
(fc.ref.2.a of 'dim') = 'fc' and
(tipo.de.elemento.de.ref.1 of 'dim') = "superficie.de.fc" and
'fc-alvo' := (fc.ref.1.a of 'dim') and
'elem-ref-alvo' := (elemento.de.ref.1.a of 'dim') and
('elem-ref-alvo' of 'fc-alvo') = "existente" and
(tipo.de.forma.caracteristica of 'fc-alvo') = "volume-positivo" and
'raio' := (raio of 'fc') and
'dist-seguranca' := 2 * 'raio' * 1,5 and
'd' < 'dist-seguranca' and
'proc-TT' is-a 'classe-TT' and
write-text {A distância entre a superfície "%s" da forma característica "%s" e o centro da forma
característica "%s" (furo) deve ser igual ou superior a 1,5 vezes o valor do diâmetro do furo.
Isto se deve à existência de tratamento térmico previsto para a peça.
Tratamento térmico:      %s (%s)  Peça:      %s
Distância:                %s (prevista em %s)
Raio do furo:              %s  Distância mínima aconselhável: %s.
}, 'elem-ref-alvo', 'fc-alvo', 'fc', 'proc-TT', 'classe-TT', 'peça', 'd', 'dim', 'raio', 'dist-seguranca';

```

```

dms-relativas-a-furos 'fc', 'dim', 'peça', 'proc-TT'
If true;

```

E.3.4.16. Implementação do predicado denominado "projecto-orientado-à-fabricação-6".

Este predicado é utilizado na análise da adequação da escolha de *formas características* da classe *entalhe em forma de chaveta* aplicadas sobre uma *forma* cilíndrica obtidas por *fresamento* e quando (ver a descrição do procedimento relacionado com esta implementação no tópico 5.5.1 do Capítulo 5).

```

projecto-orientado-à-fabricação-6
If read 'peça' and
'a' := "lst-proc-" and
concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
projecto-orientado-à-fabricação-6-aux 'lista';

projecto-orientado-à-fabricação-6-aux 'lista'
If list-member 'proc', 'lista' and
'n' := 0 and
analisa-chavetas-aplics-Sfcs-curvas 'proc', 'n' and
fall or
no-backtrack;

analisa-chavetas-aplics-Sfcs-curvas 'proc', 'n'
If 'proc' is-a fresamento and
'n' := 'n' + 1 and
'chave' := "não" and
concatenate "fc.ref.", 'n', 'fc.ref' and
'proc' has-a 'fc.ref' and
'fc' := ('fc.ref' of 'proc') and
achar-chavetas-aplics-Sfcs-curvas 'fc', 'chave', 'classe.fc' and
msg-chavetas-aplics-Sfcs-curvas 'fc', 'chave', 'classe.fc', 'proc' and
analisa-chavetas-aplics-Sfcs-curvas 'proc', 'n' or
true;

achar-chavetas-aplics-Sfcs-curvas 'fc', 'chave', 'classe.fc'
If 'classe.fc' := "chaveta.extrems.planas.aplic.Sfc.cilindr.côncava" and
'fc' is-a 'classe.fc' and
(tipo.de.chaveta of 'fc') = "fechada" and
'chave' := "sim";

achar-chavetas-aplics-Sfcs-curvas 'fc', 'chave', 'classe.fc'

```

```

If 'classe.fc' := "chaveta.extrems.planas.aplic.Sfc.cilindr.convexa" and
'fc' is-a 'classe.fc' and
(tipo.de.chaveta of 'fc') = "fechada" and
'chave' := "sim" or
true;

```

msg-chavetas-aplics-Sfcs-curvas 'fc', 'chave', 'classe.fc', 'proc'

```

If 'chave' = "sim" and
write-text {A forma característica "%s" devesa' ser obtida por processo de fresamento, conforme
especificado em "%s". Essa forma característica e' da classe "%s", devendo ser substituída por uma chaveta
(fecheda) de fundo curvo ou de extremidades curvas, a fim de poder ser obtida por processo de fresamento.
}, 'c', 'proc', 'classe.fc' or
true;

```

E.3.4.17. Implementação do predicado denominado "projecto-orientado-à-montagem-1".

Este predicado diz respeito à adequação da escolha de materiais utilizáveis em processos de soldadura considerando-se a dissimilaridade entre os *tipos* de materiais das peças discretas a serem unidas (ver a descrição do procedimento relacionado com esta implementação no tópico 5.5.9 do Capítulo 5).

projecto-orientado-à-montagem-1

```

If read 'peça' and
'peça' is-a peça.composta and
'a' := "lst-proc-" and
concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
projecto-orientado-à-montagem-1-aux 'lista', 'peça';

```

projecto-orientado-à-montagem-1-aux 'lista', 'peça'

```

If list-member 'proc', 'lista' and
'n' := 0 and
soldadura-entre-materiais-dissimilares 'peça', 'proc', 'n' and
fail or
no-backtrack;

```

soldadura-entre-materiais-dissimilares 'peça', 'proc', 'n'

```

If 'proc' is-a soldadura and
NOT 'proc' is-a soldadura.à.resistência and
'n' := 'n' + 1 and
concatenate "elemento.de.união.relac.", 'n', 'ref.união' and
'proc' has-a 'ref.união' and
'elem.união' := (ref.união of 'proc') and
união-entre-peças-discretas 'elem.união', 'peça', 'pd1', 'pd2', 'sfc.pd1', 'sfc.pd2' and
'mat1' := (tipo.de.material.de.construção of 'pd1') and
'mat2' := (tipo.de.material.de.construção of 'pd2') and
materiais-dissimilares-soldadura 'mat1', 'mat2', 'peça', 'pd1', 'pd2', 'proc';

```

união-entre-peças-discretas 'elem.união', 'peça', 'pd1', 'pd2', 'sfc.pd1', 'sfc.pd2'

```

If 'pd1' := (peça.discreta.ref.1 of 'elem.união') and
'pd1' is-a peça.discreta and
'pd2' := (peça.discreta.ref.2 of 'elem.união') and
'pd2' is-a peça.discreta and
NOT 'pd1' = "NO-VALUE" and
NOT 'pd2' = "NO-VALUE" and
NOT 'pd1' = 'pd2' and
'sfc.pd1' := (Sfc.fc.ref.1 of 'elem.união') and
'sfc.pd2' := (Sfc.fc.ref.2 of 'elem.união') and
'a' := "lst-carac-forma-" and
concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
'f1' := "não" and
'f2' := "não" and
testa-presença-de-membro 'lista', 'pd1', 'f1' and

```

```

'f1' = "sim" and
testa-presença-de-membro 'lista', 'pd1', 'f2' and
'f2' = "sim";

materiais-dissimilares-soldadura 'mat1', 'mat2', 'peça', 'pd1', 'pd2', 'proc'
If NOT mats-dissimilares-soldadura 'mat1', 'mat2' or
msg-mats-dissimilares 'mat1', 'mat2', 'peça', 'pd1', 'pd2', 'proc';

mats-dissimilares-soldadura 'mat1', 'mat2'
If materiais-dissimilares 'mat1', 'mat2';

mats-dissimilares-soldadura 'mat1', 'mat2'
If 'mat1' is-a 'm1' and
materiais-dissimilares 'm1', 'mat2';

mats-dissimilares-soldadura 'mat1', 'mat2'
If 'mat2' is-a 'm2' and
materiais-dissimilares 'mat1', 'm2';

mats-dissimilares-soldadura 'mat1', 'mat2'
If 'mat1' is-a 'm1' and
'mat2' is-a 'm2' and
materiais-dissimilares 'm1', 'm2';

msg-mats-dissimilares 'mat1', 'mat2', 'peça', 'pd1', 'pd2', 'proc'
If write-text {Peça composta: "%s".
Os materiais "%s" (da peça discreta "%s") e "%s" (da peça discreta "%s") são
dissimilares, o que provocará problemas para a realização do processo de soldadura
especificado em "%s"}.}, 'peça', 'mat1', 'pd1', 'mat2', 'pd2', 'proc';

```

E.3.4.18. Implementação do predicado denominado "projecto-orientado-à-montagem-2".

Este predicado é utilizado na análise da montagem de peças discretas fabricadas com materiais que reagem quimicamente entre si com ocorrência de oxidação num dos componentes (ver a descrição do procedimento relacionado com esta implementação no tópico 5.5.9 do Capítulo 5).

```

projecto-orientado-à-montagem-2 'peça'
If read 'peça' and
'peça' is-a peças.discretas.agrupadas and
'a' := "1st-união-" and
concatenate 'a', 'peça', 'lista' and
projecto-orientado-à-montagem-2-aux 'lista', 'peça';

projecto-orientado-à-montagem-2-aux 'lista', 'peça'
If list-member 'elem.união', 'lista' and
união-entre-materiais-reagentes 'peça', 'elem.união' and
fail or
no-backtrack;

união-entre-materiais-reagentes 'peça', 'elem.união'
If união-entre-peças-discretas 'elem.união', 'peça', 'pd1', 'pd2', 'sfc.pd1', 'sfc.pd2' and
'mat1' := (tipo.de.material.de.construção of 'pd1') and
'mat2' := (tipo.de.material.de.construção of 'pd2') and
união-entre-materiais-reagentes-aux 'mat1', 'mat2', 'peça', 'pd1', 'pd2', 'sfc.pd1', 'sfc.pd2';

união-entre-materiais-reagentes-aux 'mat1', 'mat2', 'peça', 'pd1', 'pd2', 'sfc.pd1', 'sfc.pd2'
If 'corr' := "0" and
mats-reagentes 'mat1', 'mat2', 'corr' and
msg-mats-reagentes 'mat1', 'mat2', 'peça', 'corr', 'pd1', 'pd2', 'sfc.pd1', 'sfc.pd2';

```

```
mats-reagentes 'mat1', 'mat2', 'corr'  
If par-galvânico 'mat1', 'mat2' and  
'corr' := "2";
```

```
mats-reagentes 'mat1', 'mat2', 'corr'  
If par-galvânico 'mat2', 'mat1' and  
'corr' := "1";
```

```
mats-reagentes 'mat1', 'mat2', 'corr'  
If 'mat1' is-a 'm1' and  
par-galvânico 'm1', 'mat2' and  
'corr' := "2";
```

```
mats-reagentes 'mat1', 'mat2', 'corr'  
If 'mat1' is-a 'm1' and  
par-galvânico 'mat2', 'm1' and  
'corr' := "1";
```

```
mats-reagentes 'mat1', 'mat2', 'corr'  
If 'mat2' is-a 'm2' and  
par-galvânico 'mat1', 'm2' and  
'corr' := "2";
```

```
mats-reagentes 'mat1', 'mat2', 'corr'  
If 'mat2' is-a 'm2' and  
par-galvânico 'm2', 'mat1' and  
'corr' := "1";
```

```
mats-reagentes 'mat1', 'mat2', 'corr'  
If 'mat1' is-a 'm1' and  
'mat2' is-a 'm2' and  
par-galvânico 'm1', 'm2' and  
'corr' := "2";
```

```
mats-reagentes 'mat1', 'mat2', 'corr'  
If 'mat1' is-a 'm1' and  
'mat2' is-a 'm2' and  
par-galvânico 'm2', 'm1' and  
'corr' := "1";
```

```
msg-mats-reagentes 'mat1', 'mat2', 'peça', 'corr', 'pd1', 'pd2', 'sfc.pd1', 'sfc.pd2'
```

```
If write-text {Agregado de peças discretas: "%s.
```

Os materiais da peça discreta #1 e da peça discreta #2 formam um par galvânico, o que poderá provocar corrosão na peça #%, especialmente onde as superfícies das peças estão em contacto permanente.

```
Peça discreta #1: %s Tipo de material: %s Superfície atingida: %s  
Peça discreta #2: %s Tipo de material: %s Superfície atingida: %s },  
'peça', 'corr', 'pd1', 'mat1', 'sfc.pd1', 'pd2', 'mat2', 'sfc.pd2';
```


Apêndice F

F. Exemplos de Implementação da Representação de Peças.

A seguir serão apresentados os dados referentes à implementação computacional da representação de peças mecânicas introduzida no Capítulo 5. Para compreensão dos conteúdos dos campos dos *objectos* a serem referidos ao longo do texto, consulte-se o Apêndice D.

F.1. A representação de peças discretas.

Com relação à representação das *peças discretas*, observe-se que apenas os campos dos *objectos* aos quais tenham sido atribuídos conteúdos serão compulsoriamente apresentados na descrição da informação relativa às peças apresentada a seguir.

F.1.1. A representação da peça discreta 5.1.

A peça 5.1, cuja representação gráfica foi introduzida à figura 5.1, constitui um exemplo de peça discreta não-axissimétrica cujas *formas características* não estão alinhadas pelas suas *linhas de referência*. A representação da informação de carácter não-geométrico sobre o produto é efectuada através do *objecto* denominado *peça.5.1*, conforme apresentado a seguir:

Objecto: peça.5.1

Pai: peça.discreta

Campo: volume.peça (= 0,0394)

Campo: massa (= 309,46)

Campo: peso (= 3035,80)

Campo: tipo.de.material.de.construção(= aço.Ck45)

Campo: forma.do.material.de.construção (= bloco)

Campo: identificador.forma.comercial
(= bloco.peça.5.1)

Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= máquina)

Campo: dureza.Rockwell.C.peça.acabada (= 55)

Campo: d.1 (= 0)

Campo: d.2 (= 0)

Campo: d.3 (= 0)

Campo: d.4 (= 1)

Campo: d.5 (= 0)

Campo: d.6 (= 4)

Campo: d.7 (= 1)

Campo: d.8 (= 1)

Campo: dproc.1 (= 0)

Campo: dproc.2 (= 0)

Campo: dproc.3 (= 0)

Campo: dproc.4 (= 0)

Campo: dproc.5 (= 0)

Campo: dproc.6 (= 0)

Campo: dproc.7 (= 0)

Campo: dproc.8 (= 0)

Campo: dproc.9 (= 0)

Campo: dproc.10 (= 0)

Campo: dproc.11 (= 0)

Campo: dproc.12 (= 1)

A seguir serão apresentados os *objectos* utilizados para o armazenamento da informação relativa às *formas características*:

Objecto: fc.5.1.1

Pai: paralelepípedo.rectang

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-positivo)

Campo: simetria (= não.axissimétrica)

Campo: rotacionalidade (= não.rotacional)

Campo: volume.fc (= 0,0500)

Campo: compr (= 500)

Campo: tolerância.s.compr

Campo: tolerância.i.compr

Campo: lado (= 500)

Campo: tolerância.s.lado (= 0,05)

Campo: tolerância.i.lado (= -0,01)

Campo: lado.2 (= 200)

Campo: tolerância.s.lado.2 (= 0,15)

Campo: tolerância.i.lado.2 (= 0,10)

Campo: Sfc.1 (= parcial)

Campo: Sfc.2 (= parcial)

Campo: Sfc.3 (= real)

Campo: Sfc.4 (= parcial)

Campo: Sfc.5 (= real)

Campo: Sfc.6 (= real)

Campo: rug.Sfc.1

Campo: rug.Sfc.2

Campo: rug.Sfc.3

Campo: rug.Sfc.4

Campo: rug.Sfc.5

Campo: rug.Sfc.6

Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)

Campo: x.pto.A (= 250)

Campo: y.pto.A (= 250)

Campo: z.pto.A (= 200)

Campo: x.pto.B (= 250)

Campo: y.pto.B (= 250)

Campo: z.pto.B (= 0)

Campo: fc.ref.pos.geom (= 0)

Campo: x.pto.O (= 0)

Campo: y.pto.O (= 0)

Campo: z.pto.O (= 0)

Campo: l1 (= 1)

Campo: m1 (= 0)

Campo: n1 (= 0)

Campo: l2 (= 0)

Campo: m2 (= 1)

Campo: n2 (= 0)

Campo: l3 (= 0)

Campo: m3 (= 0)

Campo: n3 (= 1)

Objecto: fc.5.1.2

Pai: entalhe.em.forma.de.Tê

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-negativo)

Campo: simetria (= não.axissimétrica)

Campo: rotacionalidade (= não.rotacional)

Campo: volume.fc (= 0,0075)

Campo: compr (= 500)

Campo: tolerância.s.compr

Campo: tolerância.i.compr

Campo: larg (= 200)

Campo: tolerância.s.larg (= 0,10)

Campo: tolerância.i.larg (= -0,10)

Campo: larg.menor (= 100)

Campo: tolerância.s.larg.menor (= 0,01)

Campo: tolerância.i.larg.menor (= -0,01)

Campo: alt (= 100)

Campo: tolerância.s.alt (= 0,20)

Campo: tolerância.i.alt (= 0)

Campo: alt.menor (= 50)

Campo: tolerância.s.alt.menor (= 0,05)

Campo: tolerância.i.alt.menor (= 0)

Campo: Sfc.1 (= virtual)

Campo: Sfc.2 (= virtual)

Campo: Sfc.3 (= real)

Campo: Sfc.4 (= real)

Campo: Sfc.5 (= real)

Campo: Sfc.6 (= real)

Campo: Sfc.7 (= real)

Campo: Sfc.8 (= real)

Campo: Sfc.fundo (= real)

Campo: Sfc.topo (= virtual)

Campo: rug.Sfc.1

Campo: rug.Sfc.2

Campo: rug.Sfc.3

Campo: rug.Sfc.4

Campo: rug.Sfc.5

Campo: rug.Sfc.6

Campo: rug.Sfc.7

Campo: rug.Sfc.8

Campo: rug.Sfc.fundo

Campo: rug.Sfc.topo

Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)

Campo: x.pto.A (= 0)

Campo: y.pto.A (= 250)

Campo: z.pto.A (= 100)

Campo: x.pto.B (= 500)

Campo: y.pto.B (= 250)

Campo: z.pto.B (= 100)

Campo: fc.ref.pos.geom (= fc.5.1.1)

Campo: x.pto.O (= 0)

Campo: y.pto.O (= 150)
Campo: z.pto.O (= 100)
Campo: l1 (= 1)
Campo: m1 (= 0)
Campo: n1 (= 0)
Campo: l2 (= 0)

Campo: m2 (= 1)
Campo: n2 (= 0)
Campo: l3 (= 0)
Campo: m3 (= 0)
Campo: n3 (= 1)

Objecto: fc.5.1.3

Pai: furo.cilindrico

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-negativo)
Campo: simetria (= axissimétrica)
Campo: rotacionalidade (= rotacional)
Campo: volume.fc (= 0,00076969)
Campo: tipo.de.fundo (= plano)
Campo: ângulo.de.fundo (= 0)
Campo: Sfc.lat (= real)
Campo: Sfc.fundo (= virtual)
Campo: Sfc.topo (= virtual)
Campo: rug.Sfc.lat
Campo: rug.Sfc.fundo
Campo: rug.Sfc.topo
Campo: r (= 35)
Campo: tolerância.s.r (= 0,10)
Campo: tolerância.i.r (= 0)
Campo: compr (= 200)
Campo: tolerância.s.compr
Campo: tolerância.i.compr
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)

Campo: x.pto.A (= 50)
Campo: y.pto.A (= 450)
Campo: z.pto.A (= 200)
Campo: x.pto.B (= 50)
Campo: y.pto.B (= 450)
Campo: z.pto.B (= 0)
Campo: fc.ref.pos.geom (= fc.5.1.1)
Campo: x.pto.O (= 50)
Campo: y.pto.O (= 450)
Campo: z.pto.O (= 200)
Campo: l1 (= 0)
Campo: m1 (= 1)
Campo: n1 (= 0)
Campo: l2 (= 1)
Campo: m2 (= 0)
Campo: n2 (= 0)
Campo: l3 (= 0)
Campo: m3 (= 0)
Campo: n3 (= -1)

Objecto: fc.5.1.4

Pai: furo.cilindrico

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-negativo)
Campo: simetria (= axissimétrica)
Campo: rotacionalidade (= rotacional)
Campo: volume.fc (= 0,00076969)
Campo: tipo.de.fundo (= plano)
Campo: ângulo.de.fundo (= 0)
Campo: Sfc.lat (= real)
Campo: Sfc.fundo (= virtual)
Campo: Sfc.topo (= virtual)
Campo: rug.Sfc.lat
Campo: rug.Sfc.fundo
Campo: rug.Sfc.topo
Campo: r (= 35)
Campo: tolerância.s.r (= 0,10)
Campo: tolerância.i.r (= 0,05)
Campo: compr (= 200)
Campo: tolerância.s.compr
Campo: tolerância.i.compr
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)

Campo: x.pto.A (= 450)
Campo: y.pto.A (= 450)
Campo: z.pto.A (= 200)
Campo: x.pto.B (= 450)
Campo: y.pto.B (= 450)
Campo: z.pto.B (= 0)
Campo: fc.ref.pos.geom (= fc.5.1.1)
Campo: x.pto.O (= 450)
Campo: y.pto.O (= 450)
Campo: z.pto.O (= 200)
Campo: l1 (= 0)
Campo: m1 (= 1)
Campo: n1 (= 0)
Campo: l2 (= 1)
Campo: m2 (= 0)
Campo: n2 (= 0)
Campo: l3 (= 0)
Campo: m3 (= 0)
Campo: n3 (= -1)

Objecto: fc.5.1.5
Pai: furo.cilindrico

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-negativo)
Campo: simetria (= axissimétrica)
Campo: rotacionalidade (= rotacional)
Campo: volume.fc (= 0,00076969)
Campo: tipo.de.fundo (= plano)
Campo: ângulo.de.fundo (= 0)
Campo: Sfc.lat (= real)
Campo: Sfc.fundo (= virtual)
Campo: Sfc.topo (= virtual)
Campo: rug.Sfc.lat
Campo: rug.Sfc.fundo
Campo: rug.Sfc.topo
Campo: r (= 35)
Campo: tolerância.s.r (= 0,10)
Campo: tolerância.i.r (= 0)
Campo: compr (= 200)
Campo: tolerância.s.compr
Campo: tolerância.i.compr
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= máquinação)

Campo: x.pto.A (= 450)
Campo: y.pto.A (= 50)
Campo: z.pto.A (= 200)
Campo: x.pto.B (= 450)
Campo: y.pto.B (= 50)
Campo: z.pto.B (= 0)
Campo: fc.ref.pos.geom (= fc.5.1.1)
Campo: x.pto.O (= 450)
Campo: y.pto.O (= 50)
Campo: z.pto.O (= 200)
Campo: l1 (= 0)
Campo: m1 (= 1)
Campo: n1 (= 0)
Campo: l2 (= 1)
Campo: m2 (= 0)
Campo: n2 (= 0)
Campo: l3 (= 0)
Campo: m3 (= 0)
Campo: n3 (= -1)

Objecto: fc.5.1.6
Pai: furo.cilindrico

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-negativo)
Campo: simetria (= axissimétrica)
Campo: rotacionalidade (= rotacional)
Campo: volume.fc (= 0,00076969)
Campo: tipo.de.fundo (= plano)
Campo: ângulo.de.fundo (= 0)
Campo: Sfc.lat (= real)
Campo: Sfc.fundo (= virtual)
Campo: Sfc.topo (= virtual)
Campo: rug.Sfc.lat
Campo: rug.Sfc.fundo
Campo: rug.Sfc.topo
Campo: r (= 35)
Campo: tolerância.s.r (= 0)
Campo: tolerância.i.r (= -0,10)
Campo: compr (= 200)
Campo: tolerância.s.compr
Campo: tolerância.i.compr
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= máquinação)

Campo: x.pto.A (= 50)
Campo: y.pto.A (= 50)
Campo: z.pto.A (= 200)
Campo: x.pto.B (= 50)
Campo: y.pto.B (= 50)
Campo: z.pto.B (= 0)
Campo: fc.ref.pos.geom (= fc.5.1.1)
Campo: x.pto.O (= 50)
Campo: y.pto.O (= 50)
Campo: z.pto.O (= 200)
Campo: l1 (= 0)
Campo: m1 (= 1)
Campo: n1 (= 0)
Campo: l2 (= 1)
Campo: m2 (= 0)
Campo: n2 (= 0)
Campo: l3 (= 0)
Campo: m3 (= 0)
Campo: n3 (= -1)

A seguir serão apresentados os *objectos* relativos aos *elementos de união* entre as *formas características*, cujas posições relativas na peça 5.1 podem ser verificadas através da figura 5.4.

Objecto: u.5.1.1
Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)
Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.1)
Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.1)
Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.1)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.1)
Campo: fc.ref.2 (= fc.5.1.2)
Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.1)

Objecto: u.5.1.2

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.1)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.2)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.1.2)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.2)

Objecto: u.5.1.3

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.1)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.4)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.1.2)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.topo)

Objecto: u.5.1.4

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.1)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.4)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.1.3)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.topo)

Objecto: u.5.1.5

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.1)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.6)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.1.3)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.fundo)

Objecto: u.5.1.6

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.1)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.4)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.1.4)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.topo)

Objecto: u.5.1.7

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.1)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.6)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.1.4)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.fundo)

Objecto: u.5.1.8

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.1)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.4)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.1.5)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.topo)

Objecto: u.5.1.9

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.1)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.6)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.1.5)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.fundo)

Objecto: u.5.1.10

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.1)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.4)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.1.6)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.topo)

Objecto: u.5.1.11

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.1)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.6)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.1)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.1.6)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.fundo)

A informação contida nos *objectos* da classe *dimensão explícita* relativa à peça 5.1 é apresentada a seguir:

Objecto: d.5.1.d5

Pai: dimensão.explícita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)

Campo: tolerância.s.valor.dimensional (= 0,02)

Campo: tolerância.i.valor.dimensional (= -0,02)

Campo: valor.dimensional (= 200)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superficie.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.5)

Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.1.1)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.1)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2(= superficie.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.2.a (= Sfc.3)

Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.1.2)

Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.1)

Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.1)

Objecto: d.5.1.d6

Pai: dimensão.explicita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)

Campo: tolerância.s.valor.dimensional (= 0,02)

Campo: tolerância.i.valor.dimensional (= -0,02)

Campo: valor.dimensional (= 150)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superfície.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.5)

Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.1.1)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.1)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2(= superfície.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.2.a (= Sfc.7)

Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.1.2)

Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.1)

Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.1)

Objecto: d.5.1.d10.a

Pai: dimensão.explicita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)

Campo: tolerância.s.valor.dimensional (= 0,05)

Campo: tolerância.i.valor.dimensional (= 0)

Campo: valor.dimensional (= 50)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superfície.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.5)

Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.1.1)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.1)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2 (= eixo.AB)

Campo: elemento.de.ref.2.a (= eixo.AB)

Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.1.3)

Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.1)

Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.1)

Objecto: d.5.1.d10.b

Pai: dimensão.explicita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)

Campo: tolerância.s.valor.dimensional (= 0,05)

Campo: tolerância.i.valor.dimensional (= 0)

Campo: valor.dimensional (= 50)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superfície.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.5)

Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.1.1)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.1)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2 (= eixo.AB)

Campo: elemento.de.ref.2.a (= eixo.AB)

Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.1.4)

Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.1)

Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.1)

Objecto: d.5.1.d11.a

Pai: dimensão.explicita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)

Campo: tolerância.s.valor.dimensional (= 0,02)

Campo: tolerância.i.valor.dimensional (= -0,02)

Campo: valor.dimensional (= 450)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superfície.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.5)

Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.1.1)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.1)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2 (= eixo.AB)

Campo: elemento.de.ref.2.a (= eixo.AB)

Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.1.5)

Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.1)

Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.1)

Objecto: d.5.1.d11.b

Pai: dimensão.explicita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)

Campo: tolerância.s.valor.dimensional (= 0,02)

Campo: tolerância.i.valor.dimensional (= -0,02)

Campo: valor.dimensional (= 450)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superfície.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.5)

Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.1.1)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.1)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2 (= eixo.AB)

Campo: elemento.de.ref.2.a (= eixo.AB)

Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.1.6)
Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.1)

Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.1)

Objecto: d.5.1.d12.a
Pai: dimensão.explicita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)
Campo: tolerância.s.valor.dimensional (= 0,05)
Campo: tolerância.i.valor.dimensional (= 0)
Campo: valor.dimensional (= 50)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superfície.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.2)
Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.1.1)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.1)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2 (= eixo.AB)
Campo: elemento.de.ref.2.a (= eixo.AB)
Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.1.4)
Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.1)
Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.1)

Objecto: d.5.1.d12.b
Pai: dimensão.explicita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)
Campo: tolerância.s.valor.dimensional (= 0,05)
Campo: tolerância.i.valor.dimensional (= 0)
Campo: valor.dimensional (= 50)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superfície.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.2)
Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.1.1)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.1)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2 (= eixo.AB)
Campo: elemento.de.ref.2.a (= eixo.AB)
Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.1.5)
Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.1)
Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.1)

Objecto: d.5.1.d13.a
Pai: dimensão.explicita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)
Campo: tolerância.s.valor.dimensional (= 0,02)
Campo: tolerância.i.valor.dimensional (= -0,02)
Campo: valor.dimensional (= 450)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superfície.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.2)
Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.1.1)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.1)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2 (= eixo.AB)
Campo: elemento.de.ref.2.a (= eixo.AB)
Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.1.3)
Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.1)
Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.1)

Objecto: d.5.1.d13.b
Pai: dimensão.explicita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)
Campo: tolerância.s.valor.dimensional (= 0,02)
Campo: tolerância.i.valor.dimensional (= -0,02)
Campo: valor.dimensional (= 450)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superfície.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.2)
Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.1.1)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.1)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2 (= eixo.AB)
Campo: elemento.de.ref.2.a (= eixo.AB)
Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.1.6)
Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.1)
Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.1)

A seguir serão apresentados os *objectos* relativos às *tolerâncias geométricas* da *peça 5.1*.

Objecto: tg.5.1.1

Pai: tolerância.de.planicidade

Campo: zona.de.tolerância (= 0,01)

Campo: dimensão.de.ref.1 (= compr)

Campo: fc.dimensão.de.ref.1 (= fc.5.1.1)

Campo: dimensão.de.ref.2 (= lado)

Campo: fc.dimensão.de.ref.2 (= fc.5.1.1)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superficie.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.4)

Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.1.1)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.1)

Objecto: tg.5.1.2

Pai: tolerância.de.paralelismo

Campo: zona.de.tolerância (= 0,20)

Campo: dimensão.de.ref.1 (= lado)

Campo: fc.dimensão.de.ref.1 (= fc.5.1.1)

Campo: dimensão.de.ref.2 (= lado.2)

Campo: fc.dimensão.de.ref.2 (= fc.5.1.1)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superficie.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.3)

Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.1.1)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.1)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2(= superficie.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.2.a (= Sfc.5)

Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.1.1)

Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.1)

O *objecto* apresentado a seguir representa as especificações da forma comercial escolhida para a *peça 5.1*. Observe-se que o nome desse *objecto* foi previamente indicado no *objecto* relativo à informação de carácter não-geométrico sobre especificação de produto (denominado *peça.5.1*), através do campo denominado *identificador.forma.comercial*.

Objecto: bloco.peça.5.1

Pai: bloco

Campo: volume (= 0,05228)

Campo: massa (= 410,40)

Campo: peso (= 4026,02)

Campo: peça.discreta.ref (= peça.5.1)

Campo: lado.1 (= 505)

Campo: lado.2 (= 505)

Campo: alt (= 205)

A seguir serão apresentados os *objectos* referentes à especificação das *operações de fabricação* estabelecidas para a *peça 5.1*.

Objecto: p.5.1.1

Pai: fresamento

Campo: tipo.de.máquina.associada.1 (= fresadora)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.1)

Campo: Sfc.1.fc.ref.1 (= Sfc.1)

Campo: Sfc.2.fc.ref.1 (= Sfc.2)

Campo: Sfc.3.fc.ref.1 (= Sfc.3)

Campo: Sfc.4.fc.ref.1 (= Sfc.4)

Campo: Sfc.5.fc.ref.1 (= Sfc.5)

Campo: Sfc.6.fc.ref.1 (= Sfc.6)

Campo: dimensão.1.fc.ref.1 (= compr)

Campo: dimensão.2.fc.ref.1 (= lado)

Campo: dimensão.3.fc.ref.1 (= lado.2)

Campo: tolerância.geométrica.1 (= tg.5.1.1)

Campo: tolerância.geométrica.2 (= tg.5.1.2)

Campo: toler.sup.usual (= 0,050)

Campo: toler.inf.usual (= 0,050)

Campo: máx.rug.Sfc.usual (= 0,00625)

Campo: mín.rug.Sfc.usual (= 0,00080)

Objecto: p.5.1.2

Pai: fresamento

Campo: tipo.de.máquina.associada.1 (= fresadora)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1 (= p.5.1.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.2)

Campo: Sfc.1.fc.ref.1 (= Sfc.3)

Campo: Sfc.2.fc.ref.1 (= Sfc.4)

Campo: Sfc.3.fc.ref.1 (= Sfc.5)

Campo: Sfc.4.fc.ref.1 (= Sfc.6)

Campo: Sfc.5.fc.ref.1 (= Sfc.7)

Campo: Sfc.6.fc.ref.1 (= Sfc.8)

Campo: Sfc.7.fc.ref.1 (= Sfc.fundo)

Campo: dimensão.1.fc.ref.1 (= compr)

Campo: dimensão.2.fc.ref.1 (= larg)

Campo: dimensão.3.fc.ref.1 (= larg.menor)

Campo: dimensão.4.fc.ref.1 (= alt)

Campo: dimensão.5.fc.ref.1 (= alt.menor)

Campo: dimensão.explicita.1 (= d.5.1.d5)

Campo: dimensão.explicita.2 (= d.5.1.d6)

Campo: toler.sup.usual (= 0,050)

Campo: toler.inf.usual (= 0,050)

Campo: máx.rug.Sfc.usual (= 0,00625)

Campo: mín.rug.Sfc.usual (= 0,00080)

Objecto: p.5.1.3

Pai: fresamento

Campo: tipo.de.máquina.associada.1 (= fresadora)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1 (= p.5.1.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.3)

Campo: Sfc.1.fc.ref.1 (= Sfc.lat)

Campo: dimensão.1.fc.ref.1 (= compr)

Campo: dimensão.explicita.1 (= d.5.1.d10.a)

Campo: dimensão.explicita.2 (= d.5.1.d13.a)

Campo: toler.sup.usual (= 0,050)

Campo: toler.inf.usual (= 0,050)

Campo: máx.rug.Sfc.usual (= 0,00625)

Campo: mín.rug.Sfc.usual (= 0,00080)

Objecto: p.5.1.4

Pai: fresamento

Campo: tipo.de.máquina.associada.1 (= fresadora)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1 (= p.5.1.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.4)

Campo: Sfc.1.fc.ref.1 (= Sfc.lat)

Campo: dimensão.1.fc.ref.1 (= compr)

Campo: dimensão.explicita.1 (= d.5.1.d10.b)

Campo: dimensão.explicita.2 (= d.5.1.d12.a)

Campo: toler.sup.usual (= 0,050)

Campo: toler.inf.usual (= 0,050)

Campo: máx.rug.Sfc.usual (= 0,00625)

Campo: mín.rug.Sfc.usual (= 0,00080)

Objecto: p.5.1.5

Pai: fresamento

Campo: tipo.de.máquina.associada.1 (= fresadora)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1 (= p.5.1.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.5)

Campo: Sfc.1.fc.ref.1 (= Sfc.lat)

Campo: dimensão.1.fc.ref.1 (= compr)

Campo: dimensão.explicita.1 (= d.5.1.d11.a)

Campo: dimensão.explicita.2 (= d.5.1.d12.b)

Campo: toler.sup.usual (= 0,050)

Campo: toler.inf.usual (= 0,050)

Campo: máx.rug.Sfc.usual (= 0,00625)

Campo: mín.rug.Sfc.usual (= 0,00080)

Objecto: p.5.1.6

Pai: fresamento

Campo: tipo.de.máquina.associada.1 (= fresadora)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1 (= p.5.1.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.1.6)

Campo: Sfc.1.fc.ref.1 (= Sfc.lat)

Campo: dimensão.1.fc.ref.1 (= compr)

Campo: dimensão.explicita.1 (= d.5.1.d11.b)

Campo: dimensão.explicita.2 (= d.5.1.d13.b)

Campo: toler.sup.usual (= 0,050)

Campo: toler.inf.usual (= 0,050)

Campo: máx.rug.Sfc.usual (= 0,00625)

Campo: mín.rug.Sfc.usual (= 0,00080)

Objecto: p.5.1.7

Pai: têmpera

Campo: dureza.Rockwell.C.após.tratamento(= 55)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1 (= p.5.1.1)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.2 (= p.5.1.2)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.3 (= p.5.1.3)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.4 (= p.5.1.4)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.5 (= p.5.1.5)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.6 (= p.5.1.6)

Finalmente, para simplificação da manipulação da informação armazenada na *base de objectos*, é estabelecida uma ligação desses à peça a cuja representação pertencem através de *listas* (não encadeadas), conforme providas pelo ambiente computacional utilizado para implementação do protótipo de sistema computacional criado. Essas listas são conjuntos de *objectos* e referem-se respectivamente ao seguinte:

- lista dos *objectos* relativos às *formas características* da *peça discreta*, denominada *lst-carac-forma-peça.5.1*: [fc.5.1.1, fc.5.1.2, fc.5.1.3, fc.5.1.4, fc.5.1.5, fc.5.1.6];
- lista dos *objectos* relativos aos *elementos de união* entre as *formas da peça discreta*, denominada *lst-união-peça.5.1*: [u.5.1.1, u.5.1.2, u.5.1.3, u.5.1.4, u.5.1.5, u.5.1.6, u.5.1.7, u.5.1.8, u.5.1.9, u.5.1.10, u.5.1.11];
- lista dos *objectos* relativos às *dimensões explícitas* da *peça discreta*, denominada *lst-dims-peça.5.1*: [d.5.1.d5, d.5.1.d6, d.5.1.d10.a, d.5.1.d10.b, d.5.1.d11.a, d.5.1.d11.b, d.5.1.d12.a, d.5.1.d12.b, d.5.1.d13.a, d.5.1.d13.b];
- lista dos *objectos* relativos às *tolerâncias geométricas* especificadas para a *peça discreta*, denominada *lst-tols-geom-peça.5.1*: [tg.5.1.1, tg.5.1.2];
- lista dos *objectos* relativos aos *processos tecnológicos* a serem aplicados à construção da *peça discreta*, da forma *lst-proc-peça.5.1*: [p.5.1.1, p.5.1.2, p.5.1.3, p.5.1.4, p.5.1.5, p.5.1.6, p.5.1.7].

F.1.2. A representação da *peça discreta* 5.2.

A *peça* 5.2, cuja representação gráfica é apresentada à figura 5.6, constitui um exemplo de *peça discreta* não-axissimétrica cujas *formas características* estão alinhadas pelas suas *linhas de referência*. A representação da informação de carácter não-geométrico sobre o produto é efectuada através do *objecto peça.5.2*, conforme apresentado a seguir:

Objecto: peça.5.2

Pai: peça.discreta

Campo: volume.peça (= 0,0000179)

Campo: massa (= 0,140)

Campo: peso (= 1,38)

Campo: tipo.de.material.de.construção
(= aço.X7Cr13)

Campo: forma.do.material.de.construção
(= vergalhão.perfil.hexagonal)

Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)

Campo: d.1 (= 0)

Campo: d.2 (= 0)

Campo: d.3 (= 0)

Campo: d.4 (= 2)

Campo: d.5 (= 1)

Campo: d.6 (= 0)

Campo: d.7 (= 2)

Campo: d.8 (= 0)

Campo: dproc.1 (= 0)

Campo: dproc.2 (= 1)

Campo: dproc.3 (= 0)

Campo: dproc.4 (= 0)

Campo: dproc.5 (= 0)

Campo: dproc.6 (= 0)

Campo: dproc.7 (= 0)

Campo: dproc.8 (= 1)

Campo: dproc.9 (= 0)

Campo: dproc.10 (= 0)

Campo: dproc.11 (= 0)

Campo: dproc.12 (= 0)

A seguir serão apresentados os *objectos* utilizados para o armazenamento da informação relativa às *formas características*:

Objecto: fc.5.2.1

Pai: prisma.hexag.reg

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-positivo)

Campo: simetria (= não.axissimétrica)

Campo: rotacionalidade (= não.rotacional)

Campo: volume.fc (= 0,000006928)

Campo: compr (= 20)

Campo: tolerância.s.compr (= 0,10)

Campo: tolerância.i.compr (= -0,10)

Campo: alt (= 20)

Campo: tolerância.s.alt (= 0,15)

Campo: tolerância.i.alt (= -0,15)

Campo: Sfc.1 (= real)

Campo: Sfc.2 (= real)

Campo: Sfc.3 (= real)

Campo: Sfc.4 (= real)

Campo: Sfc.5 (= real)

Campo: Sfc.6 (= real)

Campo: Sfc.7 (= real)

Campo: Sfc.8 (= parcial)

Campo: rug.Sfc.1

Campo: rug.Sfc.2

Campo: rug.Sfc.3

Campo: rug.Sfc.4

Campo: rug.Sfc.5

Campo: rug.Sfc.6

Campo: rug.Sfc.7

Campo: rug.Sfc.8

Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)

Campo: x.pto.A (= 0)

Campo: y.pto.A (= 0)

Campo: z.pto.A (= 0)

Campo: x.pto.B (= 0)

Campo: y.pto.B (= 0)

Campo: z.pto.B (= 20)

Campo: fc.ref.pos.geom (= 0)

Campo: x.pto.O (= 0)

Campo: y.pto.O (= 0)

Campo: z.pto.O (= 0)

Campo: l1 (= 1)

Campo: m1 (= 0)

Campo: n1 (= 0)

Campo: l2 (= 0)

Campo: m2 (= 1)

Campo: n2 (= 0)

Campo: l3 (= 0)

Campo: m3 (= 0)

Campo: n3 (= 1)

Objecto: fc.5.2.2

Pai: cilindro.circular.recto

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-positivo)

Campo: simetria (= axissimétrica)

Campo: rotacionalidade (= rotacional)

Campo: volume.fc (=0,00000402124)

Campo: r (= 8)

Campo: tolerância.s.r (= 0,10)

Campo: tolerância.i.r (= -0,10)

Campo: compr (= 20)

Campo: tolerância.s.compr

Campo: tolerância.i.compr

Campo: Sfc.1 (= parcial)

Campo: Sfc.2 (= real)

Campo: Sfc.3 (= parcial)

Campo: rug.Sfc.1

Campo: rug.Sfc.2 (= 0,0006)

Campo: rug.Sfc.3

Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)

Campo: x.pto.A (= 0)

Campo: y.pto.A (= 0)

Campo: z.pto.A (= 20)

Campo: x.pto.B (= 0)

Campo: y.pto.B (= 0)

Campo: z.pto.B (= 40)

Campo: fc.ref.pos.geom (= fc.5.2.1)

Campo: x.pto.O (= 0)

Campo: y.pto.O (= 0)

Campo: z.pto.O (= 20)

Campo: l1 (= 1)

Campo: m1 (= 0)

Campo: n1 (= 0)

Campo: l2 (= 0)

Campo: m2 (= 1)

Campo: n2 (= 0)

Campo: l3 (= 0)

Campo: m3 (= 0)

Campo: n3 (= 1)

Objecto: fc.5.2.3

Pai: prisma.hexag.reg

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-positivo)

Campo: simetria (= não.axissimétrica)

Campo: rotacionalidade (= não.rotacional)

Campo: volume.fc (= 0,000006928)

Campo: compr (= 20)

Campo: tolerância.s.compr

Campo: tolerância.i.compr

Campo: alt (= 20)

Campo: tolerância.s.alt (= 0,15)

Campo: tolerância.i.alt (= -0,15)

Campo: Sfc.1 (= real)

Campo: Sfc.2 (= real)

Campo: Sfc.3 (= real)
Campo: Sfc.4 (= real)
Campo: Sfc.5 (= real)
Campo: Sfc.6 (= real)
Campo: Sfc.7 (= parcial)
Campo: Sfc.8 (= real)
Campo: rug.Sfc.1
Campo: rug.Sfc.2
Campo: rug.Sfc.3
Campo: rug.Sfc.4
Campo: rug.Sfc.5
Campo: rug.Sfc.6
Campo: rug.Sfc.7
Campo: rug.Sfc.8
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)
Campo: x.pto.A (= 0)
Campo: y.pto.A (= 0)

Campo: z.pto.A (= 40)
Campo: x.pto.B (= 0)
Campo: y.pto.B (= 0)
Campo: z.pto.B (= 60)
Campo: fc.ref.pos.geom (= fc.5.2.2)
Campo: x.pto.O (= 0)
Campo: y.pto.O (= 0)
Campo: z.pto.O (= 20)
Campo: l1 (= 1)
Campo: m1 (= 0)
Campo: n1 (= 0)
Campo: l2 (= 0)
Campo: m2 (= 1)
Campo: n2 (= 0)
Campo: l3 (= 0)
Campo: m3 (= 0)
Campo: n3 (= 1)

A seguir serão apresentados os *objectos* relativos aos elementos de *união* entre as *formas características*, cujas posições relativas na peça podem ser verificadas através da figura 5.7:

Objecto: u.5.2.1

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)
Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.2)
Campo: fc.ref.1 (= fc.5.2.1)
Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.8)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.2)
Campo: fc.ref.2 (= fc.5.2.2)
Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.3)

Objecto: u.5.2.2

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)
Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.2)
Campo: fc.ref.1 (= fc.5.2.2)
Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.1)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.2)
Campo: fc.ref.2 (= fc.5.2.3)
Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.7)

A informação contida nos *objectos* da classe *dimensão explícita* relativa à peça 5.2 é apresentada a seguir:

Objecto: d.5.2.d2

Pai: dimensão.explícita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)
Campo: valor.dimensional (= 40)
Campo: tolerância.s.valor.dimensional (= 0,20)
Campo: tolerância.i.valor.dimensional (= -0,20)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superficie.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.7)
Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.2.1)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.2)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2(= superficie.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.2.a (= Sfc.1)
Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.2.2)
Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.2)
Campo: elemento.de.ref(= elemento.de.ref.1)

Objecto: d.5.2.d3

Pai: dimensão.explicita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)

Campo: valor.dimensional (= 60)

Campo: tolerância.s.valor.dimensional (= 0,30)

Campo: tolerância.i.valor.dimensional(= -0,30)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superficie.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.8)

Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.2.3)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.2)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2(= superficie.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.2.a (= Sfc.7)

Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.2.1)

Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.2)

Campo: elemento.de.ref(= elemento.de.ref.2)

A escolha da *forma comercial* do material a ser utilizado na construção da peça 5.2 é representada através do *objecto* a seguir. Observe-se que o nome desse *objecto* foi indicado no *objecto* relativo à informação de carácter não-geométrico sobre *especificação de produto* (identificado como *peça.5.2*), através do campo denominado *identificador.forma.comercial*.

Objecto: vergalhão.perfil.hexagonal.peça.5.2

Pai: vergalhão.perfil.hexagonal

Campo: peça.discreta.ref (= peça.5.2)

Campo: volume.peça (= 0,0002217)

Campo: massa (= 0,174)

Campo: peso (= 1,707)

Campo: alt (= 20)

Campo: compr (= 65)

Campo: qualidade (= calibrado)

As listas que relacionam os *objectos* à peça 5.2 utilizadas pelo protótipo de sistema computacional implementado são as seguintes:

- lista das *formas características*, denominada *lst-carac-forma-peça.5.2*: [fc.5.2.1, fc.5.2.2, fc.5.2.3];
- lista dos *elementos de união* entre *formas*, denominada *lst-união-peça.5.2*: [u.5.2.1, u.5.2.2];
- lista das *dimensões explícitas*, denominada *lst-dims-peça.5.2*: [d.5.2.d2, d.5.2.d3].

F.1.3. A representação da *peça discreta 5.3*.

A peça 5.3, cuja representação gráfica é introduzida à figura 5.8, constitui um exemplo de peça discreta axissimétrica. A representação da informação de carácter não-geométrico sobre o produto é efectuada através do *objecto* denominado *peça.5.3*, conforme apresentado a seguir:

Objecto: peça.5.3

Pai: peça.discreta

Campo: volume.peça (= 0,000052)

Campo: massa (= 0,459)

Campo: peso (= 4,51)

Campo: dureza.Rockwell.C.peça.acabada (= 45)

Campo: tipo.de.material.de.construção (= bronze)

Campo: forma.do.material.de.construção

(= vergalhão.perfil.circular)

Campo: identificador.forma.comercial

(= vergalhão.perfil.circular.peça.5.3)

Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)

Campo: d.1 (= 1)
Campo: d.2 (= 1)
Campo: d.3 (= 1)
Campo: d.4 (= 2)
Campo: d.5 (= 4)
Campo: d.6 (= 4)
Campo: d.7 (= 0)
Campo: d.8 (= 0)
Campo: dproc.1 (= 1)
Campo: dproc.2 (= 1)

Campo: dproc.3 (= 0)
Campo: dproc.4 (= 1)
Campo: dproc.5 (= 0)
Campo: dproc.6 (= 0)
Campo: dproc.7 (= 0)
Campo: dproc.8 (= 0)
Campo: dproc.9 (= 0)
Campo: dproc.10 (= 0)
Campo: dproc.11 (= 0)
Campo: dproc.12 (= 0)

A seguir serão apresentados os *objectos* utilizados para o armazenamento da informação relativa às *formas características*:

Objecto: fc.5.3.1

Pai: furo.cilindrico

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-negativo)
Campo: simetria (= axissimétrica)
Campo: rotacionalidade (= rotacional)
Campo: volume.fc (= 0,000006833)
Campo: tipo.de.fundo (= plano)
Campo: ângulo.de.fundo (= 0)
Campo: compr (= 87)
Campo: tolerância.s.compr
Campo: tolerância.i.compr
Campo: r (= 5,0)
Campo: tolerância.s.r (= 0)
Campo: tolerância.i.r (= -0,001)
Campo: Sfc.lat (= real)
Campo: Sfc.fundo (= virtual)
Campo: Sfc.topo (= virtual)
Campo: rug.Sfc.lat (= 0,001)
Campo: rug.Sfc.fundo
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)
Campo: x.pto.A (= 0)

Campo: y.pto.A (= 0)
Campo: z.pto.A (= 0)
Campo: x.pto.B (= 0)
Campo: y.pto.B (= 0)
Campo: z.pto.B (= 87)
Campo: fc.ref.pos.geom (= fc.5.3.8)
Campo: x.pto.O (= 0)
Campo: y.pto.O (= 0)
Campo: z.pto.O (= 0)
Campo: l1 (= 1)
Campo: m1 (= 0)
Campo: n1 (= 0)
Campo: l2 (= 0)
Campo: m2 (= 1)
Campo: n2 (= 0)
Campo: l3 (= 0)
Campo: m3 (= 0)
Campo: n3 (= 1)

Objecto: fc.5.3.2

Pai: rebaixamento.cônico

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-negativo)
Campo: simetria (= axissimétrica)
Campo: rotacionalidade (= rotacional)
Campo: volume.fc (= 0,000000524)
Campo: compr (= 5,0)
Campo: tolerância.s.compr
Campo: tolerância.i.compr
Campo: r.rebaix (= 10,0)
Campo: tolerância.s.r.rebaix
Campo: tolerância.i.r.rebaix
Campo: larg (= 5,0)
Campo: tolerância.s.larg
Campo: tolerância.i.larg
Campo: Sfc.1 (= real)
Campo: Sfc.topo (= virtual)

Campo: Sfc.interior (= virtual)
Campo: rug.Sfc.1
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)
Campo: x.pto.A (= 0)
Campo: y.pto.A (= 0)
Campo: z.pto.A (= 0)
Campo: x.pto.B (= 0)
Campo: y.pto.B (= 0)
Campo: z.pto.B (= 5)
Campo: fc.ref.pos.geom (= fc.5.3.8)
Campo: x.pto.O (= 0)
Campo: y.pto.O (= 0)
Campo: z.pto.O (= 0)
Campo: l1 (= 1)
Campo: m1 (= 0)

Campo: n1 (= 0)
Campo: l2 (= 0)
Campo: m2 (= 1)
Campo: n2 (= 0)

Campo: l3 (= 0)
Campo: m3 (= 0)
Campo: n3 (= 1)

Objecto: fc.5.3.3

Pai: cilindro.circular.recto

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-positivo)
Campo: simetria (= axissimétrica)
Campo: rotacionalidade (= rotacional)
Campo: compr (= 35,0)
Campo: tolerância.s.compr
Campo: tolerância.i.compr
Campo: r (= 15,0)
Campo: tolerância.s.r
Campo: tolerância.i.r
Campo: Sfc.1 (= virtual)
Campo: Sfc.2 (= parcial)
Campo: Sfc.3 (= virtual)
Campo: rug.Sfc.1
Campo: rug.Sfc.2 (= 0,00005)
Campo: rug.Sfc.3
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)
Campo: volume.fc (= 0,00002474)
Campo: x.pto.A (= 0)

Campo: y.pto.A (= 0)
Campo: z.pto.A (= 10)
Campo: x.pto.B (= 0)
Campo: y.pto.B (= 0)
Campo: z.pto.B (= 45)
Campo: fc.ref.pos.geom (= fc.5.3.8)
Campo: x.pto.O (= 0)
Campo: y.pto.O (= 0)
Campo: z.pto.O (= 10)
Campo: l1 (= 1)
Campo: m1 (= 0)
Campo: n1 (= 0)
Campo: l2 (= 0)
Campo: m2 (= 1)
Campo: n2 (= 0)
Campo: l3 (= 0)
Campo: m3 (= 0)
Campo: n3 (= 1)

Objecto: fc.5.3.4

Pai: chanfro.tipo.1

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-negativo)
Campo: simetria (= axissimétrica)
Campo: rotacionalidade (= rotacional)
Campo: volume.fc (= 0,0000001173)
Campo: r (= 10)
Campo: tolerância.s.r
Campo: tolerância.i.r
Campo: dimensão.1 (= 2)
Campo: dimensão.2 (= 2)
Campo: orientação.Sfc.principal (= interior)
Campo: Sfc.principal (= real)
Campo: Sfc.1 (= virtual)
Campo: Sfc.2 (= virtual)
Campo: rug.Sfc.principal
Campo: rug.Sfc.1
Campo: rug.Sfc.2
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)
Campo: fc.ref.pos.geom (= fc.5.3.6)

Campo: x.pto.O (= 0)
Campo: y.pto.O (= -10)
Campo: z.pto.O (= 22)
Campo: l1 (= -1)
Campo: m1 (= 0)
Campo: n1 (= 0)
Campo: l2 (= 0)
Campo: m2 (= 1)
Campo: n2 (= 0)
Campo: l3 (= 0)
Campo: m3 (= 0)
Campo: n3 (= -1)
Campo: x.pto.A (= 0)
Campo: y.pto.A (= 0)
Campo: z.pto.A (= 85)
Campo: x.pto.B (= 0)
Campo: y.pto.B (= 0)
Campo: z.pto.B (= 87)

Objecto: fc.5.3.5

Pai: tronco.de.cone.circular.recto

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-positivo)
Campo: simetria (= axissimétrica)

Campo: rotacionalidade (= rotacional)
Campo: volume.fc (= 0,000009948)

Campo: compr (= 20,0)
Campo: tolerância.s.compr
Campo: tolerância.i.compr
Campo: r (= 15,0)
Campo: tolerância.s.r
Campo: tolerância.i.r
Campo: r.menor (= 10,0)
Campo: tolerância.s.r.menor
Campo: tolerância.i.r.menor
Campo: Sfc.1 (= virtual)
Campo: Sfc.2 (= real)
Campo: Sfc.3 (= virtual)
Campo: rug.Sfc.1
Campo: rug.Sfc.2 (= 0,00002)
Campo: rug.Sfc.3
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)
Campo: x.pto.A (= 0)
Campo: y.pto.A (= 0)

Campo: z.pto.A (= 65)
Campo: x.pto.B (= 0)
Campo: y.pto.B (= 0)
Campo: z.pto.B (= 45)
Campo: fc.ref.pos.geom (= fc.5.3.3)
Campo: x.pto.O (= 0)
Campo: y.pto.O (= 0)
Campo: z.pto.O (= 55)
Campo: l1 (= -1)
Campo: m1 (= 0)
Campo: n1 (= 0)
Campo: l2 (= 0)
Campo: m2 (= 1)
Campo: n2 (= 0)
Campo: l3 (= 0)
Campo: m3 (= 0)
Campo: n3 (= -1)

Objecto: fc.5.3.6

Pai: cilindro.circular.recto

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-positivo)
Campo: simetria (= axissimétrica)
Campo: rotacionalidade (= rotacional)
Campo: volume.fc (= 0,000006912)
Campo: compr (= 22,0)
Campo: tolerância.s.compr
Campo: tolerância.i.compr
Campo: r (= 10,0)
Campo: tolerância.s.r
Campo: tolerância.i.r (= 0)
Campo: Sfc.1 (= parcial)
Campo: Sfc.2 (= parcial)
Campo: Sfc.3 (= virtual)
Campo: rug.Sfc.1
Campo: rug.Sfc.2 (= 0,00003)
Campo: rug.Sfc.3
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)
Campo: x.pto.A (= 0)

Campo: y.pto.A (= 0)
Campo: z.pto.A (= 65)
Campo: x.pto.B (= 0)
Campo: y.pto.B (= 0)
Campo: z.pto.B (= 87)
Campo: fc.ref.pos.geom (= fc.5.3.5)
Campo: x.pto.O (= 0)
Campo: y.pto.O (= 0)
Campo: z.pto.O (= 0)
Campo: l1 (= -1)
Campo: m1 (= 0)
Campo: n1 (= 0)
Campo: l2 (= 0)
Campo: m2 (= 1)
Campo: n2 (= 0)
Campo: l3 (= 0)
Campo: m3 (= 0)
Campo: n3 (= -1)

Objecto: fc.5.3.7

Pai: entalhe.revolutivo

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-negativo)
Campo: simetria (= axissimétrica)
Campo: rotacionalidade (= rotacional)
Campo: volume.fc (= 0,000001571)
Campo: compr (= 4,0)
Campo: tolerância.s.compr
Campo: tolerância.i.compr
Campo: r (= 15,0)
Campo: tolerância.s.r
Campo: tolerância.i.r
Campo: r.menor (= 10,0)
Campo: tolerância.s.r.menor

Campo: tolerância.i.r.menor
Campo: Sfc.1 (= real)
Campo: Sfc.2 (= real)
Campo: Sfc.interior (= real)
Campo: Sfc.topo (= virtual)
Campo: rug.Sfc.1
Campo: rug.Sfc.2
Campo: rug.Sfc.interior
Campo: rug.Sfc.topo
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)
Campo: x.pto.A (= 0)
Campo: y.pto.A (= 0)

Campo: z.pto.A (= 25)
Campo: x.pto.B (= 0)
Campo: y.pto.B (= 0)
Campo: z.pto.B (= 29)
Campo: fc.ref.pos.geom (= fc.5.3.3)
Campo: x.pto.O (= 0)
Campo: y.pto.O (= 0)
Campo: z.pto.O (= 15)
Campo: l1 (= 1)

Campo: m1 (= 0)
Campo: n1 (= 0)
Campo: l2 (= 0)
Campo: m2 (= 1)
Campo: n2 (= 0)
Campo: l3 (= 0)
Campo: m3 (= 0)
Campo: n3 (= 1)

Objecto: fc.5.3.8

Pai: cilindro.circular.recto

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-positivo)
Campo: simetria (= axissimétrica)
Campo: rotacionalidade (= rotacional)
Campo: compr (= 10,0)
Campo: tolerância.s.compr (= 0,001)
Campo: tolerância.i.compr (= -0,001)
Campo: r (= 25,0)
Campo: tolerância.s.r
Campo: tolerância.i.r
Campo: Sfc.1 (= parcial)
Campo: Sfc.2 (= real)
Campo: Sfc.3 (= parcial)
Campo: rug.Sfc.1
Campo: rug.Sfc.2 (= 0,00005)
Campo: rug.Sfc.3
Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)
Campo: volume.fc (= 0,000019635)
Campo: x.pto.A (= 0)

Campo: y.pto.A (= 0)
Campo: z.pto.A (= 0)
Campo: x.pto.B (= 0)
Campo: y.pto.B (= 0)
Campo: z.pto.B (= 10)
Campo: fc.ref.pos.geom (= 0)
Campo: x.pto.O (= 0)
Campo: y.pto.O (= 0)
Campo: z.pto.O (= 0)
Campo: l1 (= 1)
Campo: m1 (= 0)
Campo: n1 (= 0)
Campo: l2 (= 0)
Campo: m2 (= 1)
Campo: n2 (= 0)
Campo: l3 (= 0)
Campo: m3 (= 0)
Campo: n3 (= 1)

A seguir serão apresentados os *objectos* relativos aos *elementos de união* entre as *formas características*, cujas posições relativas na peça podem ser verificadas através da figura 5.12.

Objecto: u.5.3.1

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)
Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.3)
Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.1)
Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.topo)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.3)
Campo: fc.ref.2 (= fc.5.3.8)
Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.3)

Objecto: u.5.3.2

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)
Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.3)
Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.2)
Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.topo)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.3)
Campo: fc.ref.2 (= fc.5.3.8)
Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.3)

Objecto: u.5.3.3

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)
Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.3)
Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.1)
Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.lat)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.3)
Campo: fc.ref.2 (= fc.5.3.2)
Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.interior)

Objecto: u.5.3.4

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.3)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.8)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.1)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.3)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.3.3)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.3)

Objecto: u.5.3.5

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.3)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.7)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.topo)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.3)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.3.3)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.2)

Objecto: u.5.3.6

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.3)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.3)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.1)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.3)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.3.5)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.1)

Objecto: u.5.3.7

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.3)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.5)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.3)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.3)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.3.6)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.3)

Objecto: u.5.3.8

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.3)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.6)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.2)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.3)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.3.4)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.1)

Objecto: u.5.3.9

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.3)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.4)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.2)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.3)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.3.6)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.1)

Objecto: u.5.3.10

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= meio.contínuo)
Campo: peça.discreta.ref.1 (= peça.5.3)
Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.1)
Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.fundo)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= peça.5.3)
Campo: fc.ref.2 (= fc.5.3.6)
Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.1)

A informação contida nos *objectos* da classe *dimensão explícita* relativa à peça 5.3 é apresentada a seguir:

Objecto: d.5.3.d7

Pai: dimensão.explícita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)
Campo: valor.dimensional (= 25,0)
Campo: tolerância.s.valor.dimensional (= 0,0030)
Campo: tolerância.i.valor.dimensional (= -0,0015)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superficie.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.3)
Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.3.8)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.3)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2(= superficie.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.2.a (= Sfc.1)
Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.3.7)
Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.3)
Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.1)

Objecto: d.5.3.d8

Pai: dimensão.explícita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)
Campo: valor.dimensional (= 29,0)
Campo: tolerância.s.valor.dimensional
Campo: tolerância.i.valor.dimensional
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superficie.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.3)
Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.3.8)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.3)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2(= superficie.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.2.a (= Sfc.2)
Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.3.7)
Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.3)
Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.1)

Objecto: d.5.3.d9

Pai: dimensão.explícita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)
Campo: valor.dimensional (= 45,0)
Campo: tolerância.s.valor.dimensional
Campo: tolerância.i.valor.dimensional
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superficie.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.3)
Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.3.8)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.3)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2(= superficie.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.2.a (= Sfc.3)
Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.3.3)
Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.3)
Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.1)

Objecto: d.5.3.d10

Pai: dimensão.explícita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)
Campo: valor.dimensional (= 65,0)
Campo: tolerância.s.valor.dimensional (= 0,001)
Campo: tolerância.i.valor.dimensional (= 0)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superficie.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.3)
Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.3.8)
Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.3)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2(= superficie.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.2.a (= Sfc.3)
Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.3.5)

Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.3)
Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.1)

Objecto: d.5.3.d11

Pai: dimensão.explicita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)
Campo: valor.dimensional (= 87,0)
Campo: tolerância.s.valor.dimensional (= 0,003)
Campo: tolerância.i.valor.dimensional (= -0,001)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superficie.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.3)
Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.3.8)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.3)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2(= superficie.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.2.a (= Sfc.1)
Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.3.6)
Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.3)
Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.1)

A seguir serão apresentados os *objectos* relativos às *tolerâncias geométricas* da peça 5.3.

Objecto: tg.5.3.1

Pai: tolerância.de.circularidade

Campo: zona.de.tolerância (= 0,001)
Campo: dimensão.de.ref.1 (= r)
Campo: fc.dimensão.de.ref.1 (= fc.5.3.6)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superficie.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.2)
Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.3.6)
Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.3)

Objecto: tg.5.3.2

Pai: tolerância.de.perpendicularismo

Campo: zona.de.tolerância (= 0,30)
Campo: dimensão.de.ref.1 (= r)
Campo: fc.dimensão.de.ref.1 (= fc.5.3.8)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superficie.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.3)
Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.3.8)
Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.3)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2 (= eixo.AB)
Campo: elemento.de.ref.2.a (= eixo.AB)
Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.3.1)
Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.1)
Campo: identificador.do.elem.de.ref.2 (= A)
Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.2)

Objecto: tg.5.3.3

Pai: tolerância.de.movimento

Campo: tipo.de.batida (= radial)
Campo: zona.de.tolerância (= 0,05)
Campo: dimensão.de.ref.1 (= r)
Campo: fc.dimensão.de.ref.1 (= fc.5.3.3)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1(= superficie.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.2)
Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.3.3)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.1)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2 (= eixo.AB)
Campo: elemento.de.ref.2.a (= eixo.AB)
Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.3.1)
Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.1)
Campo: identificador.do.elem.de.ref.2 (= A)
Campo: elemento.de.ref (= elemento.de.ref.2)

A escolha da *forma comercial* do material a ser utilizado na construção da peça 5.3 é representada através do *objecto* apresentado a seguir. Note-se que o nome desse *objecto* é previamente indicado no *objecto* relativo à informação de carácter não-geométrico sobre especificação de produto (denominado *peça.5.3*), através do campo chamado *identificador.forma.comercial*.

Objecto: vergalhão.perfil.circular.peça.5.3

Pai: vergalhão.perfil.circular

Campo: peça.discreta.ref (= peça.5.3)
Campo: volume (=0,000213825)
Campo: massa (= 1,88)
Campo: peso (=18,45)

Campo: diâmetro (= 55)
Campo: compr (= 90)
Campo: qualidade (= não.calibrado)

A seguir serão apresentados os *objectos* referentes à especificação das *operações de fabricação* estabelecidas para a peça 5.3.

Objecto: p.5.3.1

Pai: torneamento.cilindrico

Campo: tipo.de.máquina.associada.1 (= torno)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.8)

Campo: Sfc.1.fc.ref.1 (= Sfc.2)

Campo: dimensão.1.fc.ref.1 (= compr)

Campo: dimensão.2.fc.ref.1 (= r)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.3.3)

Campo: Sfc.1.fc.ref.2 (= Sfc.2)

Campo: dimensão.1.fc.ref.2 (= r)

Campo: fc.ref.3 (= fc.5.3.6)

Campo: Sfc.1.fc.ref.3 (= Sfc.2)

Campo: dimensão.1.fc.ref.3 (= r)

Campo: fc.ref.4 (= fc.5.3.7)

Campo: dimensão.1.fc.ref.4 (= r)

Campo: dimensão.explicita.1 (= d.5.3.d9)

Campo: dimensão.explicita.2 (= d.5.3.d10)

Campo: tolerância.geométrica.1 (= tg.5.3.1)

Campo: tolerância.geométrica.2 (= tg.5.3.3)

Campo: toler.sup.usual (= 0,050)

Campo: toler.inf.usual (= 0,050)

Campo: máx.rug.Sfc.usual (= 0,00630)

Campo: mín.rug.Sfc.usual (= 0,00040)

Objecto: p.5.3.2

Pai: torneamento.de.facejamento

Campo: tipo.de.máquina.associada.1 (= torno)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1 (= p.5.3.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.8)

Campo: Sfc.1.fc.ref.1 (= Sfc.3)

Campo: Sfc.2.fc.ref.1 (= Sfc.1)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.3.6)

Campo: Sfc.1.fc.ref.2 (= Sfc.1)

Campo: dimensão.explicita.1 (= d.5.3.d11)

Campo: tolerância.geométrica.1 (= tg.5.3.2)

Campo: toler.sup.usual (= 0,050)

Campo: toler.inf.usual (= 0,050)

Campo: máx.rug.Sfc.usual (= 0,00630)

Campo: mín.rug.Sfc.usual (= 0,00040)

Objecto: p.5.3.3

Pai: torneamento.cônico

Campo: tipo.de.máquina.associada.1 (= torno)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1 (= p.5.3.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.4)

Campo: Sfc.1.fc.ref.1 (= Sfc.principal)

Campo: dimensão.1.fc.ref.1 (= dimensão.1)

Campo: dimensão.2.fc.ref.1 (= dimensão.2)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.3.5)

Campo: Sfc.1.fc.ref.2 (= Sfc.2)

Campo: dimensão.explicita.1 (= d.5.3.d9)

Campo: dimensão.explicita.2 (= d.5.3.d10)

Campo: toler.sup.usual (= 0,050)

Campo: toler.inf.usual (= 0,050)

Campo: máx.rug.Sfc.usual (= 0,00630)

Campo: mín.rug.Sfc.usual (= 0,00040)

Objecto: p.5.3.4

Pai: sangramento.radial

Campo: tipo.de.máquina.associada.1 (= torno)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1 (= p.5.3.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.7)

Campo: dimensão.1.fc.ref.1 (= r.menor)

Campo: dimensão.explicita.1 (= d.5.3.d7)

Campo: dimensão.explicita.2 (= d.5.3.d8)

Campo: toler.sup.usual (= 0,050)

Campo: toler.inf.usual (= 0,050)

Campo: máx.rug.Sfc.usual (= 0,00630)

Campo: mín.rug.Sfc.usual (= 0,00040)

Objecto: p.5.3.5

Pai: furação.em.cheio

Campo: tipo.de.máquina.associada.1 (= torno)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1 (= p.5.3.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.1)

Campo: Sfc.1.fc.ref.1 (= Sfc.lat)

Campo: dimensão.1.fc.ref.1 (= r)

Campo: fc.ref.2 (= fc.5.3.2)

Campo: dimensão.1.fc.ref.2 (= r.rebaix)

Campo: toler.sup.usual (= 0,150)

Campo: toler.inf.usual (= 0,025)

Campo: máx.rug.Sfc.usual (= 0,00320)

Campo: mín.rug.Sfc.usual (= 0,00160)

Objecto: p.5.3.6

Pai: torneamento.cónico

Campo: tipo.de.máquina.associada.1 (= torno)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1 (= p.5.3.5)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.2)

Campo: Sfc.1.fc.ref.1 (= Sfc.1)

Campo: dimensão.1.fc.ref.1 (= r.rebaix)

Campo: dimensão.2.fc.ref.1 (= compr)

Campo: toler.sup.usual (= 0,050)

Campo: toler.inf.usual (= 0,050)

Campo: máx.rug.Sfc.usual (= 0,00630)

Campo: mín.rug.Sfc.usual (= 0,00040)

Objecto: p.5.3.7

Pai: rectificação.cilíndrica.de.exteriores

Campo: tipo.de.máquina.associada.1
(= rectificadora.universal)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1(= p.5.3.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.3)

Campo: Sfc.1.fc.ref.1 (= Sfc.2)

Campo: dimensão.1.fc.ref.1 (= r)

Campo: tolerância.geométrica.1 (= tg.5.3.1)

Campo: toler.sup.usual (= 0,0005)

Campo: toler.inf.usual (= 0,0130)

Campo: máx.rug.Sfc.usual (= 0,00160)

Campo: mín.rug.Sfc.usual (= 0,00005)

Objecto: p.5.3.8

Pai: rectificação.cilíndrica.de.interiores

Campo: tipo.de.máquina.associada.1
(= rectificadora.cilíndrica.de.exteriores)

Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1 (= p.5.3.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.1)

Campo: Sfc.1.fc.ref.1 (= Sfc.lat)

Campo: dimensão.1.fc.ref.1 (= r)

Campo: toler.sup.usual (= 0,0130)

Campo: toler.inf.usual (= 0,0005)

Campo: máx.rug.Sfc.usual (= 0,00160)

Campo: mín.rug.Sfc.usual (= 0,00005)

As listas de *objectos* da peça 5.3 utilizadas pelo protótipo de sistema computacional elaborado para a investigação são as seguintes:

- lista das *formas características*, denominada *lst-carac-forma-peça.5.3*:
[fc.5.3.1, fc.5.3.2, fc.5.3.3, fc.5.3.4, fc.5.3.5, fc.5.3.6, fc.5.3.7, fc.5.3.8];
- lista dos *elementos de união* entre *formas características*, denominada *lst-união-peça.5.3*:
[u.5.3.1, u.5.3.2, u.5.3.3, u.5.3.4, u.5.3.5, u.5.3.6, u.5.3.7, u.5.3.8, u.5.3.9, u.5.3.10];
- lista das *dimensões explícitas*, denominada *lst-dims-peça.5.3*:
[d.5.3.d7, d.5.3.d8, d.5.3.d9, d.5.3.d10, d.5.3.d11];
- lista das *tolerâncias geométricas*, denominada *lst-tols-geom-peça.5.3*:
[tg.5.3.1, tg.5.3.2, tg.5.3.3];
- lista de *processos* de fabricação, denominada *lst-proc-peça.5.3*:
[p.5.3.1, p.5.3.2, p.5.3.3, p.5.3.4, p.5.3.5, p.5.3.6, p.5.3.7, p.5.3.8].

F.1.4. Representação parcial da *peça discreta 5.1-b*.

A *peça 5.1-b* difere da *peça discreta 5.1* pela substituição das *formas características* da classe *furo cilíndrico* por *formas* da classe *cilindro circular recto*. Assim, a representação da *peça 5.1-b* através de *objectos* é basicamente a mesma da *peça 5.1*, sendo apresentado neste tópico apenas um dos

objectos relativos às *formas características* da classe *cilindro circular recto* introduzidos. O *objecto* utilizado para a representação da *forma* fc.5.1.3.orig é apresentado a seguir:

Objecto: fc.5.1.3.orig

Pai: cilindro.circular.recto

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-negativo)

Campo: simetria (= axissimétrica)

Campo: rotacionalidade (= rotacional)

Campo: volume.fc (= 0,000769690)

Campo: compr (= 200)

Campo: toI.s.compr (= 0,10)

Campo: toI.i.compr (= -0,10)

Campo: r (= 35)

Campo: toI.s.r (= 0,10)

Campo: toI.i.r (= -0,10)

Campo: Sfc.1 (= virtual)

Campo: Sfc.2 (= real)

Campo: Sfc.3 (= virtual)

Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)

Campo: x.pto.A (= 50)

Campo: y.pto.A (= 450)

Campo: z.pto.A (= 200)

Campo: x.pto.B (= 50)

Campo: y.pto.B (= 450)

Campo: z.pto.B (= 0)

Campo: fc.ref.pos.geom (= fc.5.1.1)

Campo: x.pto.O (= 50)

Campo: y.pto.O (= 450)

Campo: z.pto.O (= 200)

Campo: I1 (= 0)

Campo: m1 (= 1)

Campo: n1 (= 0)

Campo: I2 (= 1)

Campo: m2 (= 0)

Campo: n2 (= 0)

Campo: I3 (= 0)

Campo: m3 (= 0)

Campo: n3 (= -1)

F.1.5. Representação parcial da *peça discreta* 5.3-b.

A *peça* 5.3-b, apresentada à figura 5.14, difere da *peça discreta* 5.3 pela substituição da *forma característica* fc.5.3.5 pela *forma explícita* fc.5.3.5.b. Assim, a representação da *peça* 5.3-b através de *objectos* é basicamente a mesma efectuada para a *peça* 5.3, sendo apresentados neste tópico apenas os novos *objectos* introduzidos.

O *objecto* utilizado para a representação da *forma característica* fc.5.3.5.b é apresentado a seguir:

Objecto: fc.5.3.5.b

Pai: forma.explícita.obtida.por.revolução.de.perfil

Campo: tipo.de.forma.caract (= volume-positivo)

Campo: simetria (= axissimétrica)

Campo: rotacionalidade (= rotacional)

Campo: ângulo.de.revolução (= 360)

Campo: classe.presumível.da.fc

(= tronco.de.cone.circular.recto)

Campo: forma.do.perfil (= curva.plana)

Campo: linha.de.base (= segmento.de.recta)

Campo: Sfc.1 (= virtual)

Campo: Sfc.2 (= real)

Campo: Sfc.3 (= virtual)

Campo: rug.Sfc.1

Campo: rug.Sfc.2 (= 0,00002)

Campo: rug.Sfc.3

Campo: classe.de.proc.de.fabr.1 (= maquinação)

Campo: x.pto.1.linha.de.base (= 0)

Campo: y.pto.1.linha.de.base (= 0)

Campo: z.pto.1.linha.de.base (= 65)

Campo: x.pto.2.linha.de.base (= 0)

Campo: y.pto.2.linha.de.base (= 0)

Campo: z.pto.2.linha.de.base (= 45)

Campo: x.pto.A (= 0)

Campo: y.pto.A (= 0)

Campo: z.pto.A (= 65)

Campo: x.pto.B (= 0)

Campo: y.pto.B (= 0)

Campo: z.pto.B (= 45)
Campo: fc.ref.pos.geom (= fc.5.3.3)
Campo: x.pto.O (= 0)
Campo: y.pto.O (= 0)
Campo: z.pto.O (= 55)
Campo: l1 (= -1)
Campo: m1 (= 0)

Campo: n1 (= 0)
Campo: l2 (= 0)
Campo: m2 (= 1)
Campo: n2 (= 0)
Campo: l3 (= 0)
Campo: m3 (= 0)
Campo: n3 (= -1)

A representação das *dimensões explícitas* d_{int1} , d_{int2} e d_{int3} é apresentada a seguir:

Objecto: d.int.1

Pai: dimensão.explícita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)
Campo: valor.dimensional (= 20,0)
Campo: tol.s.valor.dimensional (= 0,05)
Campo: tol.i.valor.dimensional (= -0,05)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1
 (= superfície.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.1)
Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.3.5.b)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.3-b)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2
 (= superfície.de.fc)
Campo: elemento.de.ref.2.a (= Sfc.3)
Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.3.5.b)
Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.3-b)
Campo: elemento.a.tomar.como.ref
 (= elemento.de.ref.2)

Objecto: d.int.2

Pai: dimensão.explícita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)
Campo: valor.dimensional (= 10,0)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1 (= eixo.AB)
Campo: elemento.de.ref.1.a (= eixo.AB)
Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.3.5.b)
Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.3-b)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2 (= aresta)

Campo: elemento.de.ref.2.a (= Sfc.2)
Campo: elemento.de.ref.2.b (= Sfc.3)
Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.3.5.b)
Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.3-b)
Campo: elemento.a.tomar.como.ref
 (= elemento.de.ref.1)

Objecto: d.int.3

Pai: dimensão.explícita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)
Campo: valor.dimensional (= 15,0)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1 (= eixo.AB)
Campo: elemento.de.ref.1.a (= eixo.AB)
Campo: fc.ref.1.a (= fc.5.3.5.b)
Campo: peça.discreta.ref.1.a (= peça.5.3-b)
Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2 (= aresta)

Campo: elemento.de.ref.2.a (= Sfc.2)
Campo: elemento.de.ref.2.b (= Sfc.1)
Campo: fc.ref.2.a (= fc.5.3.5.b)
Campo: peça.discreta.ref.2.a (= peça.5.3-b)
Campo: elemento.a.tomar.como.ref
 (= elemento.de.ref.1)

A operação de *perfilamento axial* é representada pelo *objecto* apresentado a seguir:

Objecto: p.5.3.3.b

Pai: perfilamento.axial

Campo: tipo.de.máquina.associada.1 (= torno)
Campo: aplicação.posterior.ao.proc.1 (= p.5.3.1)
Campo: fc.ref.1 (= fc.5.3.5.b)
Campo: Sfc.1.fc.ref.1 (= Sfc.2)

Campo: toler.sup.usual (= 0,025)
Campo: toler.inf.usual (= 0,025)
Campo: máx.rug.Sfc.usual (= 0,00160)
Campo: mín.rug.Sfc.usual (= 0,00040)

F.2. A representação da *peça composta* 5.4.

A peça 5.4 é composta pela união de duas *peças discretas* (denominadas P_1 e P_2), sendo obtida através de um processo de *soldadura contínua à resistência*. Será apresentado aqui apenas o *objecto* relativo ao *elemento de união* entre *formas características* gerado pela união entre as peças discretas componentes:

Objecto: u

Pai: elemento.de.união.de.fcs

Campo: tipo.união (= ligação.permanente)

Campo: peça.discreta.ref.1 (= P.1)

Campo: fc.ref.1 (= fc.P.1.1)

Campo: Sfc.fc.ref.1 (= Sfc.6)

Campo: peça.discreta.ref.2 (= P.2)

Campo: fc.ref.2 (= fc.P.2.1)

Campo: Sfc.fc.ref.2 (= Sfc.4)

A seguir serão apresentados os *objectos* relativos à descrição das *dimensões explícitas*:

Objecto: d.1

Pai: dimensão.explicita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)

Campo: valor.dimensional (= 50,0)

Campo: tol.s.valor.dimensional (= 0,10)

Campo: tol.i.valor.dimensional (= -0,10)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1

(=superficie.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.5)

Campo: fc.ref.1.a (= fc.P.2.1)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= P.2)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2

(= superficie.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.2.a (= Sfc.5)

Campo: fc.ref.2.a (= fc.P.1.1)

Campo: peça.discreta.ref.2.a (= P.1)

Campo: elemento.a.tomar.como.ref

(= elemento.de.ref.1)

Objecto: d.2

Pai: dimensão.explicita

Campo: tipo.de.valor.dimensional (= distância)

Campo: valor.dimensional (= 30,0)

Campo: tol.s.valor.dimensional (= 0,15)

Campo: tol.i.valor.dimensional (= -0,15)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.1

(= superficie.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.1.a (= Sfc.6)

Campo: fc.ref.1.a (= fc.P.2.1)

Campo: peça.discreta.ref.1.a (= P.2)

Campo: tipo.de.elemento.de.ref.2

(= superficie.de.fc)

Campo: elemento.de.ref.2.a (= Sfc.4)

Campo: fc.ref.2.a (= fc.P.1.1)

Campo: peça.discreta.ref.2.a (= P.1)

Campo: elemento.a.tomar.como.ref

(= elemento.de.ref.1)

A seguir é apresentado o *objecto* relacionado com a obtenção da *peça composta* 5.4:

Objecto: soldadura.peça.5.4

Pai: soldadura.contínua.à.resistência

Campo: elemento.de.união.relacionado.1 (= u)

Campo: dimensão.relative.1 (= d.1)

Bibliografia.

1. Referências Bibliográficas.

A relação das referências bibliográficas consultadas foi organizada por critério de ordem de ocorrência no texto. A bibliografia indicada a seguir foi referida no texto da dissertação de tese.

1. HORVATH, M. Manufacturing Engineering: the Birth and Growth of a New Science. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 4 (1/2):285-292, 1988.
2. MERCHANT, M.E. The Precepts and Sciences of Manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 4 (1/2):1-6, 1988.
3. WELBOURN, D.B. What has happened to CAD/CAM?. *Computer-Aided Engineering Journal*, :229-232, dez. 1991.
4. PREISS, K.; NAGEL, R.N.; KRENZ, K. Design and Manufacturing in an Information-Limited Environment. *Journal of Design and Manufacturing*, 1 :17-25, 1991.
5. CHANG, T.-C. & WYSK, R.A. *An Introduction to Automated Process Planning Systems*. Nova Jérsei, EUA, Prentice-Hall Inc., 1985.
6. CURTIS, M.A. *Process Planning*. John Wiley & Sons, 1988.
7. LEE-MORTIMER, A. Simultaneous Engineering - the Reality behind the Jargon. *Integrated Manufacturing Systems*, :11-14, jan. 1991.
8. STOLL, H. W. Design for Manufacture. *Manufacturing Engineering*, :67-73, jan. 1988.
9. MOURÃO, A.J.F. A Engenharia Simultânea como Metodologia Organizativa de Suporte à Aplicação do Projecto para Fabrico e Montagem. *Terceiras Jornadas Nacionais de Projecto, Planeamento e Produção Assistidos por Computador*, Lisboa, :123-131, dez. 1991.
10. BOOTHROYD, G. Design for Assembly - The Key to Design for Manufacture. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2 (3):3-11, 1987.
11. DEWHURST, P. & BOOTHROYD, G. Early Cost Estimating in Product Design. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 7(3):183-191.
12. BRALLA, J. et alii. *Handbook of Product Design for Manufacturing*. Nova Iorque, EUA, McGraw-Hill Book Company, 1986.
13. GALLAGHER, C.C. & KNIGHT, W.A. *Group Technology Production Methods in Manufacture*. Chichester, Inglaterra, Ellis Horwood Ltd., 1986.
14. PATEL, R.M. & McLEOD, A.J. Engineering Feature Description in Mechanical Engineering Design. *Computer-Aided Engineering Journal*, :180-183, out. 1988.
15. CUNNINGHAM, J.J. & DIXON, J.R. Designing with Features: the Origin of Features. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference*, San Francisco, California, EUA, :237-243, jul./ago. 1988.

16. CHANG, T.-C. *Expert Process Planning for Manufacturing*. Addison-Wesley, 1990.
17. BUTTERFIELD, W.; GREEN, M.; SCOTT, D.; STOKER, W. Part Features for Process Planning. *CAM-I Report R-86-PPP-01*, nov. 1986.
18. SHAH, J.J.; SEN, S.; GHOSH, S. An Intelligent Environment for Routine Mechanical Design. *Proceedings of the ASME - Computers in Engineering Conference*, San Jose, E.E.U.U., 1991.
19. DIXON, J.R.; CUNNINGHAM, J.J.; SIMMONS, M.K. Research in Designing with Features. *Proceedings of the IFIP TC 5/WG S. 2 Workshop on Intelligent CAD*, Boston, Massachusetts, :137-148, out. 1987.
20. UNGER, M.B. & RAY, S.R. Feature-based Process Planning in the AMRF. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference*, San Francisco, California, EUA, :563-569, jul./ago. 1988.
21. LUBY, S.C.; DIXON, J.R.; Simmons, M.K. Creating and Using a Features Data Base. *Computers in Mechanical Engineering*, :25-33, nov. 1986.
22. SHAH, J.J. Conceptual Development of Form Features and Feature Modelers. *Research in Engineering Design*, Springer-Verlag, v. 2:93-108, 1991.
23. DIXON, J.R.; LIBARDI, E.; NIELSEN, E. Unresolved Research Issues in Development of Design-with-Features Systems. *Geometric Modeling for Product Engineering*, Elsevier Science Publishers, IFIP, :183-196, 1990.
24. GROOVER, M. P. *Automation, Production Systems, and Computer-Aided Manufacturing*. Prentice-Hall Inc., 1980.
25. SHAH, J.J. Assessment of Feature Technology. *Computer-Aided Design*, v. 23 (5), jun. 1991.
26. KIM, J.-Y.; O'GRADY P.; YOUNG, R.E. Feature Taxonomies for Rotational Parts: a Review and Proposed Taxonomies. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v. 4 (6):341-350, 1991.
27. PRATT, M.J. Synthesis of an Optimal Approach to Form Feature Modelling. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference*, San Francisco, California, EUA, :263-274, jul./ago. 1988.
28. PRATT, M.J. A Hybrid Feature-based Modelling System. *Advanced Geometric Modelling for Engineering Applications*, Elsevier Science Publishers, IFIP, :189-201, 1990.
29. REQUICHA, A.A.G. & VANDENBRANDE, J.H. Form Features for Mechanical Design and Manufacturing. *Proceedings of the ASME - Computers in Engineering Conference*, Anaheim, California, E.E.U.U., :47-52, ago. 1989.
30. BOND, A.H. & JAIN, R. The Formal Definition and Extraction of Group Technology Codes. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference*, San Francisco, California, EUA, :537-542, jul./ago. 1988.
31. CHANG, T.C.; ANDERSON, D.C.; MITCHELL, O.R. QTC - An Integrated Design / Manufacturing / Inspection System for Prismatic Parts. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference*, San Francisco, California, EUA, :417-426, jul./ago. 1988.

32. DRAKE, S. & SELA, S. A Foundation for Features. *Mechanical Engineering* , :66-73, jan. 1989.
33. KLEIN, A. A Solid Groove : Feature-Based Programming of Parts. *Mechanical Engineering* , :37- 39, mar. 1988.
34. KING, M.S.; BROOKS, S.L.; SHAEFER, R.M. Knowledge-based Systems. *Mechanical Engineering* , :58-61, out. 1986.
35. KUTTNER, B.C. Manufacturing Expert System: An Object-oriented Approach to Feature-Driven Process Automation. *Journal of Manufacturing Systems* , v. 7 (1):67-69.
36. HAYES, C. & WRIGHT, P. Automating Process Planning: Using Feature Interactions to Guide Search. *Journal of Manufacturing Systems* , v. 8 (1):1-15.
37. KRAUSE, F.-L.; KRAMER, S.; RIEGER, E. Features as a Basis for Intelligent Product Modelling. *Proceedings of Integrated Modelling of Products and Processes using Advanced Computer Technologies Workshop* , Berlin, fev. 1991.
38. SHAH, J.J. Feature Transformations between Application-Specific Feature Spaces. *Computer-Aided Engineering Journal* , :247-255, dez. 1988.
39. SHAH, J.J.; BHATNAGAR, A.; HSIAO, D. Feature Mapping and Application Shell. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference* , San Francisco, California, EUA, :489-496, jul./ago. 1988.
40. DEITZ, D. The Power of Parametrics. *Mechanical Engineering* , :58-64, jan. 1989.
41. PATEL, R.M. & McLEOD, A.J. The Implementation of a Mechanical Engineering Design Interface Using Engineering Features. *Computer-Aided Engineering Journal* , :241-246, dez. 1988.
42. SHAH, J.J. & WILSON, P.R. Analysis of Knowledge Representation and Interaction Requirements for Computer Aided Engineering. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference* , San Francisco, California, EUA, :17-24, jul./ago. 1988.
43. PLUMMER, J.C.S. & HANNAM, R.G. Design for Manufacture Using a CAD/CAM System - a Methodology for Turned Parts. *Proc. Inst. Mech. Engrs* , v. 197B:187-195, ago. 1983.
44. KUSIAK, A. *Artificial Intelligence - Implications for CIM*. Nova Iorque, Springer-Verlag, 1988.
45. KLAUCK, C. & SCHWAGEREIT, J. GGD: Graph Grammar Developer for Features in CAD/CAM. *7th Symposium on Methodologies for Intelligent Systems*, :571-580, Trondheim, Noruega, jun. 1993.
46. JOSHI, S. & CHANG, T.-C. Feature Extraction and Feature-based Design Approaches in the Development of Design Interface for Process Planning. *Journal of Intelligent Manufacturing* , 1:1-15, 1990.
47. FLORIANI, L. Representation and Extraction of Shape Features in a Solid Model. *Theoretical Foundations of Computer Graphics and CAD* , Springer-Verlag, :919-940, 1988.

48. WANG, H.-P. & CHANG, H. Automated Classification and Coding Based on Extracted Surface Features in a CAD Data Base. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2 (1):25-38, 1987.
49. JARED, G. Shape Features in Geometric Modeling. *Solid Modeling by Computers: From Theory to Applications*, Plenum Press, Nova Iorque, E.E.U.U., :121-137.
50. VARADY, T.; GAAL, B.; JARED, G.E.M. Identifying Features in Solid Modelling. *Computers in Industry*, 14:43-50, 1990.
51. KUMAR, B.; ANAND, D.K.; KIRK, J.A. Knowledge Representation Scheme for an Intelligent Feature Extractor. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference*, San Francisco, California, EUA, :543-550, jul./ago. 1988.
52. SAKURAI, H. & GOSSARD, D.C. Shape Feature Recognition from 3D Models. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference*, San Francisco, California, EUA, :515-519, jul./ago. 1988.
53. HENDERSON, M.R. & CHANG, G.-J. FRAPP: Automated Feature Recognition and Process Planning from Solid Model Data. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference*, San Francisco, California, EUA, :529-536, jul./ago. 1988.
54. ZHANG, K.F.; WRIGHT, A.J.; DAVIES, B.J. A Feature-Recognition Knowledge Base for Process Planning of Rotational Mechanical Components. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 4:13-25, 1989.
55. KROLL, E.; LENZ, E.; WOLBERG, J.R. A Knowledge-based Solution to the Design-for-Assembly Problem. *Manufacturing Review*, v. 1 (2):104-108, jun. 1988.
56. SHAH, J.J. & ROGERS, M.T. Feature-based Modeling Shell: Design and Implementation. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference*, San Francisco, California, EUA, :255-261, jul./ago. 1988.
57. YOU, I.C.; KASHYAP, R.L.; CHU, C.N. Expert Systems for Castability Evaluation: Using a Fixed-Features based Design Approach. *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, v. 6 (3):181-189.
58. CUTKOSKY, M.R.; TENENBAUM, J.M.; MULLER, D. Features in Process-Based Design. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference*, San Francisco, California, EUA, :557-562, jul./ago. 1988.
59. JAQUES, M.W.S.; BILLINGSLEY, J.; HARRISON, D. Generative Feature-based Design-by-Constraints as a Means of Integration within the Manufacturing Industry. *Computer-Aided Engineering Journal*, :261-267, dez. 1991.
60. DESAI, V.S. & PANDE, S.S. GFM - An Interactive Feature Modeller for CAPP of Rotational Components. *Computer-Aided Engineering Journal*, :217-220, out. 1991.
61. SHAH, J.J.; ROGERS, M.T.; SREEVALSAN, P.C.; HSIAO, D.W.; MATHEW, A.; BHATNAGAR, A.; LIOU, B.B.; MILLER, D.W. The A.S.U. Features Testbed: an Overview. *Computers in Engineering*, v. 1:233-241, 1990.
62. CHUNG, J.C.H.; COOK, R.L.; PATEL, D.; SIMMONS, M.K. Feature-Based Geometry Construction for Geometric Reasoning. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference*, San Francisco, California, EUA, :497-503, jul./ago. 1988.

63. FAUX, I. Modelling of Components and Assemblies in Terms of Shape Primitives based on Standard Dimensioning and Tolerancing Surface Features. *Geometric Modeling for Product Engineering* , Elsevier Science Publishers, IFIP, :259-275, 1990.
64. SHAH, J.J. & ROGERS, M.T. Functional Requirements and Conceptual Design of the Feature-Based Modelling System. *Computer-Aided Engineering Journal* , v. 5 (6):9-14, fev.1988.
65. ANJEWIERDEN, A. Knowledge Acquisition Tools. *AICOM* , v. 0 (1):29-38, ago. 1987.
66. BAILEY, S.C. Designing with Objects. *Computer Language* , :34-43, jan. 1989.
67. KOWALSKI, B. & STIPP, L. Object Processing for Knowledge-based Systems. *AI Expert* , :34-41, out. 1990.
68. RETTIG, M.; MORGAN, T.; JACOBS, J.; WIMBERLY, D. Object-oriented Programming in AI - New Choices. *AI Expert* , :53-70, jan. 1989.
69. STEFIK, M. & BROBOW, D.G. Object-Oriented Programming: Themes and Variations. *The Artificial Intelligence Magazine* , :40-62.
70. THOMAS, D.; WEGNER, P.; MAHESH, H.D.; HUGHES, C.E.; MOSHELL, J.M.; THOMPSON T. Object-Oriented Programming. *Byte* , :228-270, mar. 1989.
71. RICH, Elaine. *Inteligência Artificial*. São Paulo, McGraw-Hill, 1988.
72. SHAH, J.J. & ROGERS, M.T. Expert Form Feature Modelling Shell. *Computer-Aided Design* , v. 20 (9):515-524, nov. 1988.
73. PHAM, D.T. & PAM, T.N. Expert Systems in Mechanical and Manufacturing Engineering. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* , 3 (4):3-21, 1988.
74. SHEU, P. & KASYAP, R.L. Object-based Knowledge Bases in Automatic Manufacturing Environments. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* , 3 (3):39-52, 1988.
75. BOND, A.H. & CHANG, K.J. Feature-Based Process Planning for Machined Parts. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference* , San Francisco, California, EUA, jul./ago. 1988.
76. BANDYOPADHYAY, S.; SENGUPTA, A.; DUTTA, S.P. The Architecture of a Knowledge-based System for Small Scale Industries. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* , 2 (3):37-48, 1987.
77. CASE, K. & GAO, J.X. Geometric Reasoning in a Feature-based Design System for Process Planning. *Computer-Aided Design Journal* , :1-28, jan. 1994.
78. GUPTA, T. & GHOSH, B. K. A Survey of Expert Systems in Manufacturing and Process Planning. *Computers in Industry* , 11 :195-204, 1988.
79. IWATA, K. Application of Expert Systems to Manufacturing in Japan. p. 23-37, 1988.
80. PEKLENIK, J. Report of the 19th CIRP International Seminar on Manufacturing

- Systems - Computer-Aided Process Planning. *Journal of Manufacturing Systems* , v. 7 (3):255-265.
81. SHULZ, H. & SCHÜTZER, K. Integração de Projeto e Planejamento baseada em Feature. *Máquinas e Metais*, set. 1993.
 82. MACKERLE, J. A Review of Expert Systems Development Tools. *Eng. Comput.* , v. 6 :2-17, mar. 1989.
 83. METTREY, W. A Comparative Evaluation of Expert System Tools. *Computer*, :19-31, fev. 1991.
 84. SHAH, J.J. & MATHEW, A. Experimental Investigation of the STEP Form-Feature Information Model. *Computer-Aided Design* , v. 23 (4):282-296, mai. 1991.
 85. LIU, T.-H.; FISCHER, G.W. Developing Feature-based Manufacturing Applications Using PDES/STEP. *Concurrent Engineering: Research & Applications*, 1:39-50, 1993.
 86. QIAO, L.-H.; ZHANG, C.; LIU, T.-H.; WANG, H.-P.; FISCHER, G. A PDES/STEP-based Product Data Preparation Procedure for Computer-Aided Process Planning. *Computers in Industry*, 21:11-22, 1993.
 87. CHAO, N.-H. The Application of a Knowledge-based System to Design for Manufacture. *IEEE* , :182-185, 1985.
 88. RANYAK, P.S. & FRIDSHAL, R. Features for Tolerancing a Solid Model. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference* , San Francisco, California, EUA, :275-280, jul./ago. 1988.
 89. REQUICHA, A.A.G. & CHAN, S.C. Representation of Geometric Features, Tolerances and Attributes in Solid Modelers based on Constructive Geometry. *IEEE Journal of Robotics and Automation* , v. RA-2 (3):156-166, set. 1987.
 90. FOSTER, L.W. Geometric Tolerancing. *Manufacturing Engineering* , :46-48, out. 1987.
 91. SHAH, J.J. & MILLER, D.W. A Structure for Supporting Geometric Tolerances in Product Definition Systems for CIM. *Manufacturing Review* , v. 3 (1):23-31, mar. 1990.
 92. ROY, U. & LIU, C.R. Feature-based Representational Scheme of a Solid Modeler for Providing Dimensioning and Tolerancing Information. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* , v. 4 (3/4):335-345, 1988.
 93. WEILL, R. Integrating Dimensioning and Tolerancing in Computer-Aided Process Planning. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* , v. 4 (1/2):41-48, 1988.
 94. TRUSLOVE, K.C.E. The Implications of Tolerancing for Computer-Aided Mechanical Design. *Computer-Aided Engineering Journal* , :79-85, abr. 1988.
 95. STURGES, R.H. & KILANI, M.I. Towards an Integrated Design for an Assembly Evaluation and Reasoning System. *Computer-Aided Design* , v. 24 (2):67-79, fev. 1992.
 96. LIN, A.C.; CHANG, T.-C. Product Modeling and Process Planning for 3-Dimensional

Mechanical Assembly. p. 633-640.

97. RIMSCHA, M. Feature Modelling and Assembly Modelling - A Unified Approach. *Advanced Geometric Modelling for Engineering Applications*, Elsevier Science Publishers, IFIP, :203-213, 1990.
98. YOUNG, R.I.M. & BELL, R. Design by Features: Advantages and Limitations in Machine Planning Integration. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 6 (1 & 2):105-112, 1993.
99. *Machines Outils Françaises*. Société Saint Germain en Laye, França, D'Édition pour la Mécanique et la Machine-Outil, 1979.
100. Geometric Models. *Manufacturing Review*, v. 2 (3):204-213, set. 1989.
101. CHEN, Y.-T. & YOUNG, R. E. PACIES: a Part Code Identification Expert System. *IEE Transactions*, v. 20(2):132-136, jun. 1988.
102. AMES, A.L. Automated Generation of Uniform Group Technology Part Codes from Solid Model Data. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference*, San Francisco, California, EUA, :433-437, jul./ago. 1988.
103. KAMARTHI, S.V.; KUMARA, S.R.T.; YU, F.T.S.; HAM, I. Neural Networks and their Applications in Component Design Data Retrieval. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 1:125-140, jun. 1990.
104. KUSIAK, A. & HERAGU, S.S. Group Technology. *Computers in Industry*, 9:83-91, 1987.
105. KUSIAK, A. & CHOW, W.S. Efficient Solving of the Group Technology Problem. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 6 (2):117-124.
106. KUSIAK, A. & FINKE, G. Selection of Process Plan in Automated Manufacturing Systems. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, v. 4(4):397-403, ago. 1988.
107. CHAKRABARTI, A. Towards a Theory for Functional Reasoning in Design. *Proceedings of International Conference on Engineering Design*, Haia, Holanda, ago. 1993.
108. BILLO, R.E.; RUCKER, R.; SHUNK, D.L. Enhancing Group Technology Modeling with Database Abstractions. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 7 (2):95-106.
109. BILLO, R.E. & SHUNK, D.L. Integration of a Group Technology Classification and Coding System with an Engineering Database. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 6 (1):37-45.
110. *Máquinas Ferramentas*. São Paulo, Brasil, Hemus Livraria Editora Ltda., 1975.
111. EL WAKIL, S. D. *Processes and Design for Manufacturing*. Prentice-Hall, 1989.
112. MOURÃO, A.J.F. Projecto para Fabrico e Montagem - Princípios Gerais. Tese de

- Mestrado, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 1991.
113. PAHL, G. & BEITZ, W. *Engineering Design - A Systematic Approach*. Londres, Inglaterra, Springer-Verlag, 1988.
 114. SUH, N.P. *The Principles of Design*. Oxford University Press, 1990.
 115. MOURÃO, A.J.F. A Importância do Toleranciamento na Ligação entre o Projecto e a Produção. Síntese apresentada como prestação de provas de aptidão pedagógica e científica, Lisboa, set. 1989.
 116. DONG, Z. & HU, W. Optimal Process Sequence Identification and Optimal Process Tolerance Assignment in Computer-Aided Process Planning. *Computers in Industry* , 17 :19-32, 1991.
 117. AGOSTINHO, O.L.; RODRIGUES, A.C.S.; LIRANI, J. *Tolerâncias, Ajustes, Desvios e Análise de Dimensões*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo - Edgard Blücher, 1977.
 118. BJORKE, O. *Computer-Aided Tolerancing*. Nova Iorque, ASME Press, 1989.
 119. REQUICHA, A.A.G. Representation of Tolerances in Solid Modeling: Issues and Alternative Approaches. *Solid Modeling by Computers: From Theory to Applications*, Plenum Press, Nova Iorque, E.E.U.U., :3-22.
 120. TURNER, J.U. Exploiting Solid Models for Tolerance Computations. *Geometric Modeling for Product Engineering* , Elsevier Science Publishers, IFIP, :237-258, 1990.
 121. LU, S. C.-Y. & WILHELM, G. Applying Constraint-based Reasoning to Geometric Tolerancing.
 122. VAN VLACK, L.H. *Princípios de Ciência dos Materiais*. São Paulo, Edgard Blucher Ltda., 1970.
 123. ULLMANN, D.G. A New View on Function Modeling. *Proceedings of International Conference on Engineering Design*, Haia, Holanda, ago. 1993.
 124. SCHULTE, M. & WEBER, C. The Relationship between Functions and Shape. *Proceedings of International Conference on Engineering Design*, Haia, Holanda, ago. 1993.
 125. *Intelligence Compiler User's Manual and Tutorial, Release 3.0*. EUA, Intelligence Ware Inc., 1988.

2. Bibliografia Complementar.

A bibliografia indicada a seguir não foi citada no texto da dissertação de tese, tendo sido consultada como literatura de apoio sobre diversos temas relacionados com o desenvolvimento da investigação.

126. ANDREASEN, M.M.; KAHLER, S.; LUND, T. *Design for Assembly*. Londres, Inglaterra, Springer-Verlag, 1988.
127. ANSELMETTI, B. & BOURDET, P. Optimization of a Workpiece Considering Production Requirements. *Computers in Industry*, 21:23-34, 1993.
128. BEDWORTH, D.; HENDERSON, M.; WOLFE, P. *Computer-Integrated Design and Manufacturing*. New York, McGraw-Hill, 1991.
129. CHIAVERINI, V. *Tecnologia Mecânica - Processos de Fabricação e Tratamento*. São Paulo, Brasil, Editora McGraw-Hill, 1986, vols. 1 e 2.
130. FERRARESI, D. *Fundamentos da Usinagem dos Metais*. São Paulo, Brasil, Editora Edgard Blücher, 1970.
131. GERLING, H. *Alrededor de las Máquinas-Herramientas - Un Estudio Técnico*. Barcelona, Reverté, 1975.
132. HELMAN, H. & CETLIN, P.R. *Fundamentos da Conformação Mecânica dos Metais*. Rio de Janeiro, Brasil, Editora Guanabara Dois S.A., 1983.
133. LI-HONG, Q.; ZHANG, C.; LIU, T.-H.; BEN WANG H.-P., FISCHER, G.W. A PDES/STEP-based Product Data Preparation Procedure for Computer-Aided Process Planning. *Computers in Industry*, 21:11-22, 1993.
134. LIOU, F.W. & SUEN, D.J. The Development of a Feature-based Fixture Process Planning System for Flexible Assembly. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 11(2):102-112, 1992
135. LORINI, F. J. *Tecnologia de Grupo e Organização da Manufatura*. Florianópolis, Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.
136. *Machining Data Handbook*. Cincinnati, Ohio, EUA, Machinability Data Center & Metcut Research Associates Inc., 1972.
137. MAREFAT, M. Object-Oriented Intelligent Computer-Integrated Design Process Planning and Inspection. *Computer*, 54-65, mar. 1993.
138. NIEMANN, G. *Elementos de Máquinas*. São Paulo, Brasil, Editora Edgard Blücher, vol. 2.
139. SCHULZ, H. & SCHÜTZER, K. Integração de Projeto e Planejamento Baseada em Feature. *Máquinas e Metais*, 28-37, set. 1993.
140. STEMMER, C.E. *Ferramentas de Corte*. Florianópolis, Brasil, Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 1989.