

Dissertação

João Carlos Linhares

2000

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

**Modelamento de Dados para o
Desenvolvimento e Representação de Peças:
Estudo de Casos**

Dissertação Submetida à
Universidade Federal de Santa Catarina
para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

João Carlos Linhares

Florianópolis, 20 de Março de 2000


Modelamento de Dados para o
Desenvolvimento e Representação Peças:
Estudo de Casos

João Carlos Linhares

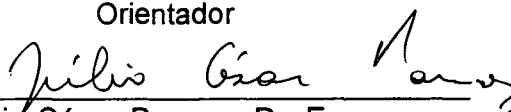
Esta Dissertação foi Julgada Adequada para a
Obtenção do Título de

Mestre em Engenharia

Especialidade Engenharia Mecânica, Área de Concentração Projeto de
Sistemas Mecânicos com Ênfase em Projeto de Sistemas Mecânicos
Orientado a Objetos e Aprovada em sua Forma Final pelo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica




Edison da Rosa, Dr. Eng.
Orientador




Júlio César Passos, Dr. Eng.
Coordenador da Pós-Graduação

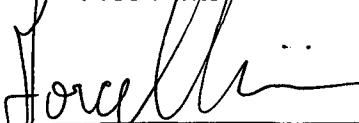
Banca Examinadora



Nelson Back, Ph.D.
Presidente



Altamir Dias, D.Sc.
Membro



Fernando Forcellini, Dr. Eng.
Membro



André Ogliari, Dr. Eng.
Membro

"A vida nos dá o que é melhor e mais útil à nossa fase de experiência. Se para nós existem ainda servos e senhores, para Deus há apenas seres humanos, todos somos seus filhos e todos temos sua ajuda. O que pode-se afirmar com segurança é que nada permanece oculto para sempre. A mentira, o preconceito, o orgulho, a aparência, a máscara que muitas vezes colocamos diante dos outros, querendo aparentar virtudes que não temos, tudo isso, a vida vai modificar e desnudar. É uma história triste, de opressão, de agressão do forte contra o fraco, lamentável a vingança, mais lamentável ainda a nossa falta de compreensão diante dos sofrimentos de tantas criaturas.

Nada fica em oculto. Tudo o que fazemos, está sob os olhos de Deus que responde sempre de acordo com nossos atos, exercendo a justiça. Por isso, guardemos a certeza de que seja o que for, Deus está no leme e embora nossas opiniões possam ser divergentes, fará sempre o melhor".

Lucius

Dedicatória

À Adriana, amor paciente. Aos meus filhos, Rodrigo, Gabriela, Fernanda, Brunna e Luigi, pela compreensão acima de qualquer questão. Aos meus pais Alício e Belisária, pelos ensinamentos e conquistas. À vida, pelo incentivo e desafio e, sobretudo, a Deus, pela oportunidade de crescimento.

Agradecimentos

- Ao professor Edison da Rosa pela orientação, companheirismo ao longo deste trabalho e esmero no alcance dos objetivos.
- Aos professores Nelson Back, Altamir Dias, Fernando Forcellini e André Ogliari, pelas contribuições e incentivo.
- À Adriana, esposa, amiga e companheira inseparável, sempre incentivando nos momentos difíceis, com muito amor, carinho e compreensão.
- Aos companheiros de luta, em especial, Valdir, Raimundo, Oscar e Alvino, pelo apoio, sugestões e principalmente, pela cordial amizade.
- Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade de desenvolvimento.
- À CAPES pela bolsa fornecida e incentivo ao desenvolvimento da pesquisa acadêmica.
- A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

Sumário

Lista de figuras.....	xiii
Lista de tabelas.....	xvii
Lista de siglas	xix
Resumo	xxii
Abstract	xxiii

Capítulo 1 - Introdução

1.1 – Generalidades.....	1
1.2 – Objetivos.....	1
1.3 – Proposta de trabalho	2
1.4 – Resultados esperados.....	5
1.5 – Desenvolvimento do trabalho	6
1.6 – Considerações	6

Capítulo 2 - Estado da arte

2.1 – Introdução	7
2.2 – Metodologia de projeto.....	8
2.2.1 – Processo de projeto de produto segundo <i>VDI 2221</i>	8
2.2.2 – Processo de projeto de produto segundo <i>ASIMOV</i>	11
2.2.3 – Processo de projeto de peças segundo <i>JOHNSON</i>	12
2.2.4 – Processo de projeto de peças segundo <i>ULLMAN</i>	13
2.2.5 – Avaliação das metodologias de projeto de produtos e peças	16
2.3 – Modelamento de dados.....	17
2.3.1 – Padrões de modelamento de dados	17
2.3.2 – Modelamento de informação e de dados.....	18
2.3.3 – Avaliação dos padrões de modelamento de dados	19
2.4 – A análise orientada a objetos	20
2.4.1 – Conceitos básicos.....	20
2.4.2 – Unified Modelling Language - <i>UML</i>	24
2.4.3 – Base de dados orientada a objetos	24
2.5 – Modelos de produto e peça	25
2.6 – Considerações	32

Capítulo 3 - Proposta de estrutura de modelamento

3.1 – Introdução	34
3.2 – A informação na base de modelamento de peças	34
3.3 – Conceitos aplicados ao modelo proposto	36
3.3.1 – Conceitos voltados à estrutura funcional da peça	36
3.3.2 – Conceitos voltados à estrutura conceitual da peça.....	40
3.3.3 – Conceitos voltados à estrutura hierárquica de peça	45
3.3.4 – Resumo das estruturas propostas para o projeto de peças.....	48
3.4 – Modelo orientados a objetos das estruturas de produto	49
3.5 – Modelos orientados a objetos das estruturas de peça.....	51
3.6 – O projeto da peça e as “ <i>features</i> ”	52
3.6.1 – “ <i>Features</i> ” como características fundamentais da peça.....	54
3.6.2 – “ <i>Features</i> ” como representação de função e forma.....	55
3.7 – Qualificadores funcionais	56
3.8 – Considerações	59

Capítulo 4 - Implementação do modelo de dados - *MDPP*

4.1 – Introdução	60
4.2 – O aplicativo utilizado	60
4.3 – Estrutura de dados para o modelamento de peças.....	61
4.4 – Regras de mapeamento.....	62
4.5 – Os relacionamento entre classes.....	63
4.6 – Os modelos mapeados na base de dados <i>MDPP</i>	64
4.6.1 – Modelo funcional do produto	64
4.6.2 – Modelo conceitual do produto	65
4.6.3 – Modelo funcional da peça	65
4.6.4 – Modelo conceitual da peça	66
4.7 – As consultas	67
4.8 – Os formulários.....	68
4.9 – A utilização da base de dados	69
4.9.1 – Adequação da base de dados	69
4.9.2 – Inserção de novos atributos e operações	69
4.9.3 – Inserção de dados e informações	70

4.9.4 – Preparação de consultas	70
4.9.5 – Atualização e/ou alterações de dados	70
4.10 – Resultados	71
4.11 – Considerações	71

Capítulo 5 - Estudo de casos

5.1 – Introdução	72
5.2 – Primeiro estudo de caso: Conjunto de acionamento	72
5.2.1 – Projeto original.....	73
5.2.2 – Reprojeto	75
5.2.3 – Requisitos de projeto do conjunto	76
5.2.4 – Definição das estruturas de dados.....	76
5.2.5 – Análise funcional para o reprojeto.....	77
5.2.6 – Estruturas funcional e conceitual do reprojeto	78
5.2.7 – Estruturas funcional e conceitual das peças do conjunto novo	79
5.2.8 – Análise funcional das peças reprojetaadas.....	81
5.2.9 – Estruturas preliminar e detalhada das peças.....	87
5.2.10 – Resultados.....	90
5.3 – Segundo estudo de caso: Estimativa de custos de fabricação de peças.....	90
5.3.1 – O equipamento.....	91
5.3.2 – Análise do processo de fabricação.....	91
5.3.3 – A base de dados <i>MDPP_Custos</i>	94
5.3.4 – Modelo de objetos para a análise de custos.....	96
5.3.5 – A utilização de consultas na base de dados <i>MDPP_Custos</i>	97
5.3.6 – Resultados.....	100
5.4 – Terceiro estudo de caso: Estrutura hierárquica de produto	101
5.4.1 – Classificação dos dados.....	101
5.4.2 – Abstrações do modelamento.....	102
5.4.3 – Resultados.....	105
5.5 – Considerações finais sobre os estudos de casos.....	105

Capítulo 6 - Conclusões e recomendações

6.1 – Conclusões	107
6.2 – Avaliação	109
6.3 – Recomendações para futuros trabalhos	112
6.4 – Próximos objetivos	113

Referências bibliográficas e bibliografia	115
---	-----

Anexo A - Estudo de função versus forma

A.1 – Introdução	123
A.2 – Análise do relacionamento entre função e forma	123
A.3 – Considerações sobre a definição da forma	125

Anexo B - Classes e diagramas da base de dados *MDPP_Geral*

B.1 – Descrição de classes e atributos	128
B.2 – Modelos de objetos das estruturas de produto e peça	133

Anexo C - Estudo de caso 1: Acionador do seccionador

C.1 – Tabelas da estrutura funcional e conceitual do produto	144
C.2 – Tabelas da estrutura funcional das peças	145
C.3 – Tabelas da estrutura conceitual das peças	147
C.4 – Desenhos das peças do sistema de acionamento	154
C.5 – Tabelas de agregação	159
C.6 – Exemplos de formulários de consultas	160
C.7 – Quadro de tabelas	161

Anexo D - Estudo de caso 2: Estimativa de custos de fabricação

D.1 – Tabelas da estimativa de custos de fabricação de peças	162
D.2 – Classes e atributos da base de dados <i>MDPP_Custos</i>	171
D.3 – Exemplos de formulários de consultas	172
D.4 – Quadro de tabelas	174

Anexo E - Estudo de caso 3: Estrutura hierárquica de produto

E.1 – Detalhamento do produto	175
E.1.1 – O produto	175
E.1.2 – Elementos de composição do produto	179
E.2 – Estrutura de dados.....	181
E.3 – Exemplos de formulários de consultas.....	182
E.4 – Quadro de tabelas.....	183

Lista de Figuras

Capítulos

Figura 1.1 – Diagrama do fluxo das atividades do trabalho de dissertação	4
Figura 2.1 – Procedimento geral para o projeto de sistemas mecânicos segundo <i>VDI2221</i>	9
Figura 2.2 – Diagrama de bloco com representação da estrutura funcional de um produto	10
Figura 2.3 – Fases I, II e III do processo de projeto de produto segundo <i>ASIMOV</i>	11
Figura 2.4 – Parâmetros independentes que definem univocamente uma peça típica	13
Figura 2.5 – Quatro elementos básicos do projeto concorrente	14
Figura 2.6 – Passos do projeto de produto segundo <i>ULLMAN</i> , com o “loop” de interações	15
Figura 2.7 – Cortador de unhas e suas peças	16
Figura 2.8 – Representação das agregações simples e recursiva	23
Figura 2.9 – Fluxo de desenvolvimento e implementação das estruturas de dados	25
Figura 2.10 – Fluxo de desenvolvimento do processo de projeto de produto e peça por modelos	25
Figura 2.11 – Representação do inter-relacionamento funcional de um produto	26
Figura 2.12 – Projeto conceitual do produto gera a função global da peça, [94], adaptada da [13].	27
Figura 2.13 – Esboço conceitual da solução adotada e modelo funcional 0D/1D da alavanca, com a definição das regiões funcionais da peça e seu posicionamento relativo no espaço	28
Figura 2.14 – Decomposição da geometria da peça na geometria dos grupos funcionais, que por sua vez são formados pelas informações de topologia, forma e dimensões	29
Figura 2.15 – Informações de topologia, forma e o contexto do tipo de produto ou peça, estabelecem as condições para que a função seja executada na região funcional da peça.	30
Figura 2.16 – Definição progressiva de geometria de um grupo funcional a partir da topologia desta região, agregando forma e dimensões	30
Figura 2.17 – Geometria da alavanca esquematizada na Figura 2.12, com a definição das soluções geométricas para cada região funcional da peça	30
Figura 2.18 – Peça em 2D desenhada no <i>CAD</i> com dimensões e informações de usinagem	31
Figura 2.19 – Peça em 3D desenhada em <i>CAD</i> com a definição da solução geométrica total. Figura gerada no <i>SolidWorks TM 98</i> da SolidWorks Corporation, 1998	31
Figura 2.20 – Desenho em 3D da seqüência de montagem de um conjunto mecânico. Figura gerada no <i>MicroStation</i> da Bentley, 1999	32
Figura 3.1 – Função global <i>FGpl</i> . da peça exemplo	37

Figura 3.2 – Peça exemplo com os grupos funcionais que executam as funções parciais de <i>FPP1</i> a <i>FPP5</i> indicadas, da peça exemplo	38
Figura 3.3 – Funções elementares referentes à função parcial <i>FPP4</i> da peça exemplo	39
Figura 3.4 – Topologia ou espaço possível para as regiões funcionais da peça exemplo.....	40
Figura 3.5 – Localização das regiões funcionais da peça exemplo	41
Figura 3.6 – “Features” conceituais do grupo funcional <i>GFp1</i> da peça exemplo.....	46
Figura 3.7 – “Features” conceituais do grupo funcional <i>GFp4</i> da peça exemplo.....	47
Figura 3.8 – Representação esquemática da estrutura funcional de peça segundo modelo proposto	48
Figura 3.9 – Representação esquemática da estrutura conceitual de peça, segundo modelo proposto	48
Figura 3.10 – Modelo de objetos da estrutura hierárquica da peça	49
Figura 3.11 – Modelo de objetos da estrutura hierárquica de produto	50
Figura 3.12 – Modelo de objetos da estrutura funcional de produto	50
Figura 3.13 – Modelo de objetos da estrutura conceitual de produto.....	51
Figura 3.14 – Modelo de objetos da estrutura funcional de peça	52
Figura 3.15 – Modelo de objetos da estrutura conceitual de peça.....	52
Figura 3.16 – Estrutura hierárquica geral de produto	55
Figura 3.17 – Funções parciais de um eixo de transmissão de torque e rotação	57
Figura 3.18 – Funções elementares referentes à peça da Figura 3.17.....	58
Figura 4.1 – Tela mostrando os relacionamentos da consulta <i>Consulta_FPP_FEp</i> da base de dados <i>MDPP_Acionador</i>	64
Figura 4.2 – Tela mostrando a consulta <i>Consulta_Custo_Atividade</i> da base de dados <i>MDPP_Custos</i>	67
Figura 4.3 – Tela mostrando o formulário <i>F_Consulta_QMP, éta</i> , da base de dados <i>MDPP_Custos</i>	68
Figura 5.1 – Esquema básico do equipamento de acionamento do contator de alta tensão.....	73
Figura 5.2 – Projeto inicial do conjunto de acionamento do contator de alta tensão	74
Figura 5.3 – Regiões funcionais do eixo da coroa.....	82
Figura 5.4 – Levantamento funcional do eixo da coroa.....	83
Figura 5.5 – Regiões funcionais da coroa	84
Figura 5.6 – Regiões funcionais da bucha de apoio do rolamento	85
Figura 5.7 – Regiões funcionais do anel de apoio do rolamento.....	86

Figura 5.8 – Regiões funcionais do cilindro e anel do flange	86
Figura 5.9 – Desenho do conjunto novo com detalhamento das peças fabricadas e comerciais...89	
Figura 5.10 – Vista lateral do implemento agrícola com mini-trator posicionado	91
Figura 5.11 – Evolução do <i>Status_1</i> do valor 0 (zero) até o valor 5 (cinco).....	92
Figura 5.12 – Modelo de objetos simplificado para a hierarquia dos componentes de um produto industrial.....	101
Figura 5.13 – Representação de classes para recursividade explícita.....	104
Figura 5.14 – Representação da associação entre classes <i>Classe_Conjunto</i> e <i>Classe_Conjunto_1</i> , na Consulta	104
Figura 6.1 – Representação da função zéta (ζ) que leva funções de peça ao conjunto de possíveis formas geométricas que podem executá-las	114

Anexos

Figura A.1 – Representação da transição entre efeitos qualitativos e quantitativos no projeto de peças.....	125
Figura A.2 – Representação esquemática da estrutura conceitual de peça: a busca de elementos conceituais para composição dos grupos funcionais da peça	126
Figura B.1 – Modelo de objetos da estrutura funcional de produto	133
Figura B.2 – Modelo de objetos da estrutura conceitual de produto	134
Figura B.3 – Modelo de objetos da estrutura funcional de peça	135
Figura B.4 – Modelo de objetos da estrutura conceitual de peça	136
Figura B.5 – Modelo de objetos da estrutura preliminar de peça.....	137
Figura B.6 – Modelo de objetos da estrutura preliminar de produto	138
Figura B.7 – Modelo de objetos das estruturas detalhadas de peça e produto	139
Figura B.8 – Modelo de objetos para estrutura funcional e conceitual de peça com extensão para estruturas preliminar de peça e produto	140
Figura B.9 – Modelo orientado a objetos da estrutura da base de dados <i>MDPP_Acionador</i>	141
Figura B.10 – Modelo orientado a objetos da estrutura da base de dados <i>MDPP_Custos</i>	142
Figura B.11 – Modelo orientado a objetos da estrutura da base de dados <i>MDPP_Geral</i>	143
Figura C.1 – Peça 14: Anel do flange	154
Figura C.2 – Peça 15: Cilindro do flange.....	155
Figura C.3 – Peça 13: Anel de apoio do rolamento	155

Figura C.4 – Peça 11: Bucha de apoio do rolamento.....	156
Figura C.5 – Peça 3: Eixo da coroa	156
Figura C.6 – Peça 2: Coroa	157
Figura C.7 – Peça 6: Bucha do eixo do pinhão	158
Figura C.8 – Tela do formulário <i>F_Consulta_PE_Peça_Desenho</i> da base de dados <i>MDPP_Acionador</i>	160
Figura C.9 – Tela do formulário <i>F_Consulta_GFp_Feature</i> da base <i>MDPP_Acionador</i>	160
Figura C.10 – Tela do quadro das tabelas da base de dados <i>MDPP_Acionador</i>	161
Figura D.1 – Formulário mostrando o <i>CHOP</i> , custos hora operacional de cada atividade de fabricação	173
Figura D.2 – Formulário mostrando o <i>COP</i> , custos operacional para cada peça fabricada.....	173
Figura D.3 – Formulário mostrando dados sobre materiais das peças fabricadas.....	173
Figura D.4 – Tela de comando da base de dados <i>MDPP_Custos</i> com suas classes.....	174
Figura E.1 – Formulário <i>F_Consulta_Conjuntos_Rolamentos</i> da base de dados <i>MDPP_J&J</i> mostrando quais os conjuntos que possuem rolamentos em sua montagem.....	182
Figura E.2 – Formulário <i>F_Consulta_Conjuntos_Nível_02_e_Peças</i> da base de dados <i>MDPP_J&J</i> mostrando as peças dos conjuntos de nível hierárquico 2.....	182
Figura E.3 – Tela de comando da base de dados <i>MDPP_J&J</i> e suas tabelas	183
Figura E.4 – Tela de comando da base de dados <i>MDPP_J&J</i> e suas consultas	183

Lista de Tabelas

Capítulos

Tabela 1.1 – Relações entre modelos do processo de projeto e modelos do produto.....	5
Tabela 2.1 – Características gerais das principais metodologias e propostas de projeto estudadas	7
Tabela 2.2 – Principais características do método de modelamento de dados <i>IDEFIX</i> e do padrão de modelamento e troca de dados <i>STEP</i>	8
Tabela 3.1 – Descrição das funções parciais referentes à Figura 3.2	38
Tabela 3.2 – Descrição das funções elementares referentes à Figura 3.2.....	39
Tabela 3.3 – Regiões funcionais da peça exemplo e suas funções parciais da peça.....	42
Tabela 3.4 – Princípios de solução disponíveis e sua escolha para os grupos funcionais da peça exemplo	44
Tabela 3.5 – “Features” conceituais de peça e seus grupos funcionais da peça exemplo.....	47
Tabela 3.6 – Funções qualificadas referentes às Figuras 3.17 e 3.18	58
Tabela 5.1 – Legenda das peças do conjunto de acionamento antigo	75
Tabela 5.2 – Hierarquia funcional do conjunto de acionamento do seccionador.....	79
Tabela 5.3 – Legenda das peças do conjunto de acionamento novo: estudo de caso 1	89
Tabela 5.4 – Códigos das operações usuais de fabricação de peças para produtos industriais.....	93
Tabela 5.5 – Relação dos materiais utilizados na fabricação das peças do implemento	96
Tabela 5.6 – Variáveis utilizadas na estimativa de custos na base de dados <i>MDPP_Custos</i>	98
Tabela 5.7 – Relação das principais consultas da base de dados <i>MDPP_Custos</i>	99
Tabela 5.8 – Representação da consulta <i>Consulta_CFabrConj</i> com a totalização dos custos realizada na planilha eletrônica auxiliar da base de dados.....	100
Tabela 6.1 – Critérios de avaliação da base de dados <i>MDPP</i>	110

Anexos

Tabela C.1 – Funções parciais do equipamento que engloba o conjunto considerado.....	144
Tabela C.2 – Funções elementares do equipamento que engloba o conjunto considerado	144
Tabela C.3 – Efeitos relacionados às funções elementares do conjunto de acionamento	144
Tabela C.4 – Portadores de efeito relacionados às funções elementares do conjunto de acionamento.....	144

Tabela C.5 – Princípios de solução relacionados às funções elementares do conjunto de acionamento.....	144
Tabela C.6 – Relação entre portadores de efeito e peças do conjunto considerado	145
Tabela C.7 – Funções globais e suas funções parciais das peças do conjunto considerado	145
Tabela C.8 – Funções parciais e respectivas funções elementares das peças do conjunto considerado.....	145
Tabela C.9 – Funções parciais e respectivas regiões funcionais das peças do conjunto considerado.....	147
Tabela C.10 – Regiões funcionais e seus princípios de solução de peça das peças do sistema considerado.....	148
Tabela C.11 – Princípios de solução das peças para os grupos funcionais das peças do conjunto considerado.....	149
Tabela C.12 – Peças e seus correspondentes grupos funcionais de peça do sistema considerado	150
Tabela C.13 – Relação entre grupos funcionais e declarações tentativas de forma	151
Tabela C.14 – Grupos funcionais e suas “ <i>features</i> ” tentativas conceituais de forma (<i>feCO</i>).....	151
Tabela C.15 – Agregação entre as classes <i>Classe_Conjunto</i> e <i>Classe_Peça</i>	159
Tabela C.16 – Agregação entre as classes <i>Classe_Peça</i> e <i>Classe_GFp</i>	159
Tabela D.1 – Relação das peças fabricadas do implemento agrícola	162
Tabela D.2 – Levantamento do processo de fabricação da peça de N° 1 do sistema N° 1	164
Tabela D.3 – Análise do processo de fabricação das peças por conjunto, do implemento agrícola, objeto do estudo de caso 2.....	165

Lista de Siglas

ν – Coeficiente de Poisson.

ρ – Densidade.

0D – Abstração que representa o nível funcional de um modelo de dados de produto e peça.

1D – Abstração que representa o nível conceitual de um modelo de dados de produto e peça.

2D – Abstração que representa o nível preliminar de um modelo de dados de produto e peça..

3D – Abstração que representa o nível detalhado de um modelo de dados de produto e peça.

AF – “Accessory Function” (Função Acessória).

ANSI – American National Standard Institute” (Instituto Nacional Americano de Padrões)

AOO – Análise Orientada a Objetos.

BDO – Banco de Dados de Objetos ou Banco de Objetos.

c – custo de matéria-prima por peso unitário.

C – Custo de uma peça.

C&C – Classificação e Codificação de peças

C⁺⁺ – Linguagem de programação *C⁺⁺*.

CAD – “Computer Aided Design” (Projeto Auxiliado por Computador).

CAE – “Computer Aided Engineering”(Engenharia Auxiliada por Computador).

CAM – “Computer Aided Manufacturing” (Manufatura Auxiliada por Computador).

CAPC – “Computer Aided Production Control” (Controle de Produção Auxiliada por Computador).

CAPP – “Computer Aided Process Planning” (Planejamento de Processo Auxiliada por Computador).

CIE – “Computer Integrated Engineering”(Engenharia Integrada por Computador).

C_{máx} – Custo máximo de uma peça.

d, c, a, b – parâmetros geométricos de uma peça.

DBMS – “Data Base Management Systems” (Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados).

DF – “Derivative Function” (Função Derivada).

DFD – Diagrama de Fluxo de Dados.

E – Módulo de elasticidade.

EF – Efeito.

FE – Função Elementar de produto.

FEp – Função Elementar da peça.
FG – Função Global de produto.
FGp – Função Global da peça.
F_{máx} – Força máxima admissível.
FP – Função Parcial de produto.
FPp – Função Parcial da peça.
GFp – Grupo Funcional da peça.
KBSI – Knowledge Based System Inc.
MCp – Modelo Conceitual de peça.
MCP – Modelo Conceitual de Produto.
MDp – Modelo Detalhado de peça.
MDP – Modelo Detalhado de Produto.
MDPP – Modelamento de Dados para o Projeto de Peças.
MDPP_Acionador – Base de dados para o projeto de peças do estudo de caso 1.
MDPP_Custos – Base de dados para o projeto de peças do estudo de caso 2.
MDPP_Geral – Base de dados para o projeto de peças da versão raiz.
MDPP_J&J – Base de dados para o projeto de peças do estudo de caso 3.
MFP – Modelo Funcional de Produto.
MFp Modelo Funcional de peça.
MIT – Massachusetts Institute of Technology
MO – Modelo de Objetos.
MPrp – Modelo Preliminar de peça.
MPrP – Modelo Preliminar de Produto.
OLE – “Object Linking and Embedding” (Inserção e ligação de objetos).
OMG – “Object Management Group” (Grupo de Gerenciamento de Objetos).
OMT – “Object Modeling Technique” Técnica de Modelamento.
OO – Orientação a Objetos.
OOA – “Object Oriented Analysis” (Análise Orientada a Objetos).
OOD – “Object Oriented Design” (Projeto Orientado a Objetos).
PCp – Projeto Conceitual de peça.
PCP – Projeto Conceitual de Produto.
PDp – Projeto Detalhado de peça.
PDP – Projeto Detalhado de Produto.

PE – Portador de Efeito.

PF – “Primary Function” (Função Primária).

PFp – Projeto Funcional de peça.

PFp – Projeto Funcional de Produto.

PPrp – Projeto Preliminar de peça.

PPrP – Projeto Preliminar de Produto.

PS – Princípio de Solução.

PSp – Princípio de Solução da peça.

RDBMS – “Relational Data Base Management System” (Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Relacionais)

RFp – Região Funcional da peça.

SADT – “Systems Analysis and Design Technique”(Técnica de Projeto e Análise de Sistemas.

SF – “” Secondary Function” (Função Secundária).

Smalltalk – Linguagem de programação.

UML – “Unified Modeling Language” (Linguagem de Modelamento Unificada).

UNC – Padrão de rosca. *ANSI (USA)*.

Resumo

No desenvolvimento do processo de projeto de produto, os dados e informações do projeto de peças podem ser estruturados e sistematizados com auxílio de uma ferramenta computacional. Os elementos funcionais e conceituais que integram a alternativa de solução do produto, alimentam a geração de alternativas de solução na concepção de cada uma das peças que o compõe.

Em se tratando de produtos industriais, há a necessidade de se modelar o projeto de todas as peças que constituem um produto, visto a quantidade e diversidade de tipos, formas e funcionalidades inerentes a esse contexto. Por essa razão, as informações referentes ao projeto de peças devem ser estruturadas para que o projetista tenha controle sobre o projeto como um todo. Assim, as restrições de solução e de resolução do produto, podem ser avaliadas à luz não apenas dos requisitos de projeto do produto, como também de cada conjunto e cada peça, na determinação dos elementos que realizarão a função global do produto.

Para sistematizar as informações envolvidas na determinação das soluções funcionais e conceituais de peças no processo de projeto de produto, foi desenvolvida uma base de dados de modelamento e representação de peças que pode ser utilizada durante o projeto conceitual do produto. Para isso, foram criadas duas estruturas específicas para o modelamento de peças, a estrutura funcional e a estrutura conceitual, introduzindo-se novos elementos de composição que interagem por meio dos conceitos da orientação a objetos.

Uma avaliação da base de dados proposta é feita, com base em três critérios: estrutura interna, interface com o usuário e modelamento. Para tal, são realizados três estudos de casos, gerando-se bases específicas a cada um, a partir da base raiz. Sob diferentes enfoques são desenvolvidos três diferentes tipos de modelamentos. No primeiro, estuda-se as estruturas funcional e conceitual das peças de um reprojeto de um conjunto isolado, no segundo, utiliza-se operações nas classes de objetos na estimativa do custo de fabricação de peças e no terceiro, estuda-se a estrutura hierárquica de uma máquina industrial. Como resultado, tem-se uma documentação estruturada, das atividades executadas em cada estudo de caso.

O modelamento das estruturas de dados assim estudadas disponibiliza uma alternativa de modelamento de elementos físicos, podendo ser aplicado, na concepção de peças durante o processo de projeto de produto.

Abstract

In the product development process, the specific part design data can be structured and systematized with a computational tool help. The functional and conceptual parameters and elements in the product definition make possible to generate alternatives in the design of the product and parts.

In the case of industrial products there is a necessity to model all the parts of a give product, due to the quantity and diversity of diferent part types, form and functionality, that are inherent in the design context. In this way, the part design information must be structured in order to the designer must have control of the design, as a whole. Also, the product design requirements, for each assembly and part, must be established during in the design in order to satisfy the global functionality of the product.

To systematize the functional and conceptual solutions involved data, in the part design process, a data base for part modeling and representation, in its functional and conceptual design, was developed. In this sense a specific functional and conceptual data structured was developed, with new structural element, which interage whitin, using object orientation concepts, which are used through the whole data model.

The data base is checked using three criteria: internal data base structure, user interface and modeling capability. Three case studies were carried, with a specific data base generation for each one, starting from a general root data base. In each case study a specific modeling type was implemented. In the first case study the functional and conceptual data structures of the involved parts are analysed. The second case study uses object classes operations, to calculate the manufacturing cost of a set of parts. In the third case study na industrial equipment hierarchycal structure was analysed. As a result, a structured documentation, of the diferent excecuted activities, was obtained

The studied data structure models make available new alternative for part data modeling, with application in industrial product design process in the part conception.

CAPÍTULO 1

Introdução

1.1 - Generalidades

A situação atual do projeto de sistemas mecânicos em indústrias de máquinas e equipamentos não tem acompanhado a evolução tecnológica. Ela necessita ser reformulada no que se refere à atualização e reciclagem de seus profissionais, por exigir-se um novo perfil no desenvolvimento e na aplicação de novas metodologias e recursos computacionais.

O estabelecimento de linhas de pesquisa voltadas ao desenvolvimento e a difusão de trabalhos que contenham em seu escopo ferramentas computacionais de auxílio ao projeto de sistemas mecânicos impõe-se como prioridade na engenharia de projeto, pelo menos no que tange às tecnologias aplicadas ao processo de projeto de produtos industriais.

No presente capítulo introduz-se o escopo do trabalho, situando-se seu desenvolvimento e apresentando-se seus objetivos.

1.2 - Objetivos

Durante o processo de projeto de produto, após o projeto conceitual, deve-se projetar os componentes, conjuntos e peças que compõem o produto. A passagem do projeto conceitual de produto para o projeto dos conjuntos e peças que compõe o produto precisa ser melhor sistematizada. Muito pouco tem sido feito dentro deste contexto específico.

Atualmente, ocorre uma transição direta do projeto conceitual do produto ao projeto preliminar de suas peças, onde as peças que compõem uma solução possível, são concebidas de forma não sistemática, quase sempre por tentativa e erro, muitas vezes inviabilizando o esforço realizado no projeto conceitual, principalmente no que se refere à busca de princípios de solução adequados ao cumprimento das funções elementares do produto.

Por outro lado as informações provenientes do projeto conceitual do produto segundo as metodologias usuais, não possuem uma base de dados onde possam ser estruturadas e disponibilizadas de forma organizada.

O modelamento estático do produto, seus conjuntos e peças, insere-se na prática do processo de projeto de produto como uma alternativa para sua estruturação e sistematização. Dados e informações geradas durante cada fase deste processo e que compõem suas estruturas,

serão guardados tal que possam ser recuperados e disponibilizados de imediato e de forma aparente no ambiente de projeto, o que é importante para o dinamismo do processo de projeto de produto, dada a sua natureza interativa.

O objetivo deste trabalho é desenvolver, analisar, implementar e avaliar uma estrutura de dados para modelamento de produtos, conjuntos e peças. Deseja-se viabilizar uma base de dados, composta por estruturas alimentadas com informações geradas em cada fase do processo de projeto do produto e especificamente no projeto conceitual das peças que o compõem, tal que estes dados e informações possam ser manipuladas, isto é, cruzadas e/ou filtradas para gerarem outras informações que sejam utilizadas no próprio processo de projeto de produto.

Este estudo será realizado no âmbito do espaço do projeto de produto que engloba o projeto de cada uma de suas peças, explicitando suas estruturas. Sua aplicação é iniciada com a realização do projeto funcional de cada peça e termina com a definição de suas respectivas soluções conceituais. As estruturas relacionadas às etapas de projeto preliminar e detalhado, onde a geometria, as dimensões e componentes de manufatura devem ser definidos, não serão abordadas.

1.3 - Proposta de trabalho

O projeto de sistemas mecânicos na indústria denota a necessidade da aplicação de métodos computacionais na prática de metodologias no projeto de sistemas mecânicos, nas várias etapas do processo de projeto de produto, devido ao grande número de alternativas disponíveis na elaboração de suas diversas fases, que geram informações e dados de diferentes tipos e procedência durante o projeto.

Ao final do projeto conceitual do produto é necessário uma definição da estrutura conceitual do produto. Neste contexto, são constituídos e gerados os princípios de solução com base nas definições das funções elementares da estrutura funcional do produto, bem como determinadas as restrições de projeto. Dentre as restrições de projeto salienta-se aquelas relacionadas aos custos, à manufatura, montagem, uso e/ou operação, manutenção e descarte. Esta fase promove o enriquecimento do processo de concepção pela adição de informações relacionadas à concepção de peças, as necessidades funcionais, parâmetros materiais, parâmetros geométricos e interfaces entre os diversos conjuntos, na tentativa de reduzir ao máximo as horas de projeto preliminar do produto.

A partir deste documento, a equipe de projeto, de acordo com o “tamanho” do projeto, deve enfrentar uma série de atividades, na busca de soluções funcionais, materiais e de formas

para as peças que compõem cada mecanismo concebido de forma macro na etapa anterior. As estruturas hierárquica, funcional e conceitual de cada peça que compõe cada conjunto ou subconjunto de um produto são inseridas neste contexto e buscam sua sistematização.

Utilizando-se os conceitos de modelagem orientada a objetos, serão elaborados os modelos de representação das estruturas hierárquicas, funcionais e conceituais de peça, conforme fluxo de atividades mostrado na Figura 1.1. As atividades descritas nesta figura, serão desenvolvidas após o Capítulo 2, com a elaboração das estruturas de modelamento propostas no Capítulo 3, a base de dados no Capítulo 4 e os estudos de casos no Capítulo 5, como mostrado.

Os modelos orientados a objetos são mapeados em um banco de dados relacional que serve como plataforma para a criação da base de dados de modelamento de peças. Esta base de dados poderá ser então utilizada como ferramenta de auxílio ao projeto de sistemas mecânicos, para o modelamento dos dados da peças, subconjuntos, conjuntos e produtos. Estudos de casos são desenvolvidos após a definição das estruturas de dados, para sua avaliação.

A organização de dados e informações sobre peças que compõem conjuntos e subconjuntos de um dado produto, facilita o gerenciamento do projeto quando estruturada em bases de dados que consigam armazenar satisfatoriamente essas informações, tanto no sentido de modelar o produto, como para o próprio desenvolvimento das tarefas que integram o processo de projeto. Bases de dados estruturadas podem ser utilizadas para auxiliar o projetista na execução de suas tarefas, para a melhoria da qualidade do projeto e também como fonte para novos projetos e melhoramentos. Produtos industriais podem compor-se desde centenas até milhares de peças. Além das informações que dizem respeito a cada peça, existem as informações das interfaces entre elas, tão ou até mais importantes que cada uma delas e que, neste contexto, também podem ser modeladas.

O desenvolvimento da tarefa de projetar peças, dadas as estruturas funcional e conceitual do produto deve ser documentado numa estrutura capaz de interagir com todas as fases do processo de projeto de produto. Estas informações têm que estar disponíveis aos profissionais de projeto, aqueles que interagem com elas durante todo o tempo de projeto.

Entende-se que o conceito de modelamento orientado a objetos fornece a base de conhecimento e os requisitos necessários à representação de dados de produto e peça de forma adequada às atividades clássicas do processo de projeto de produto, organizando as informações do seu domínio de maneira transparente e facilmente recuperável.

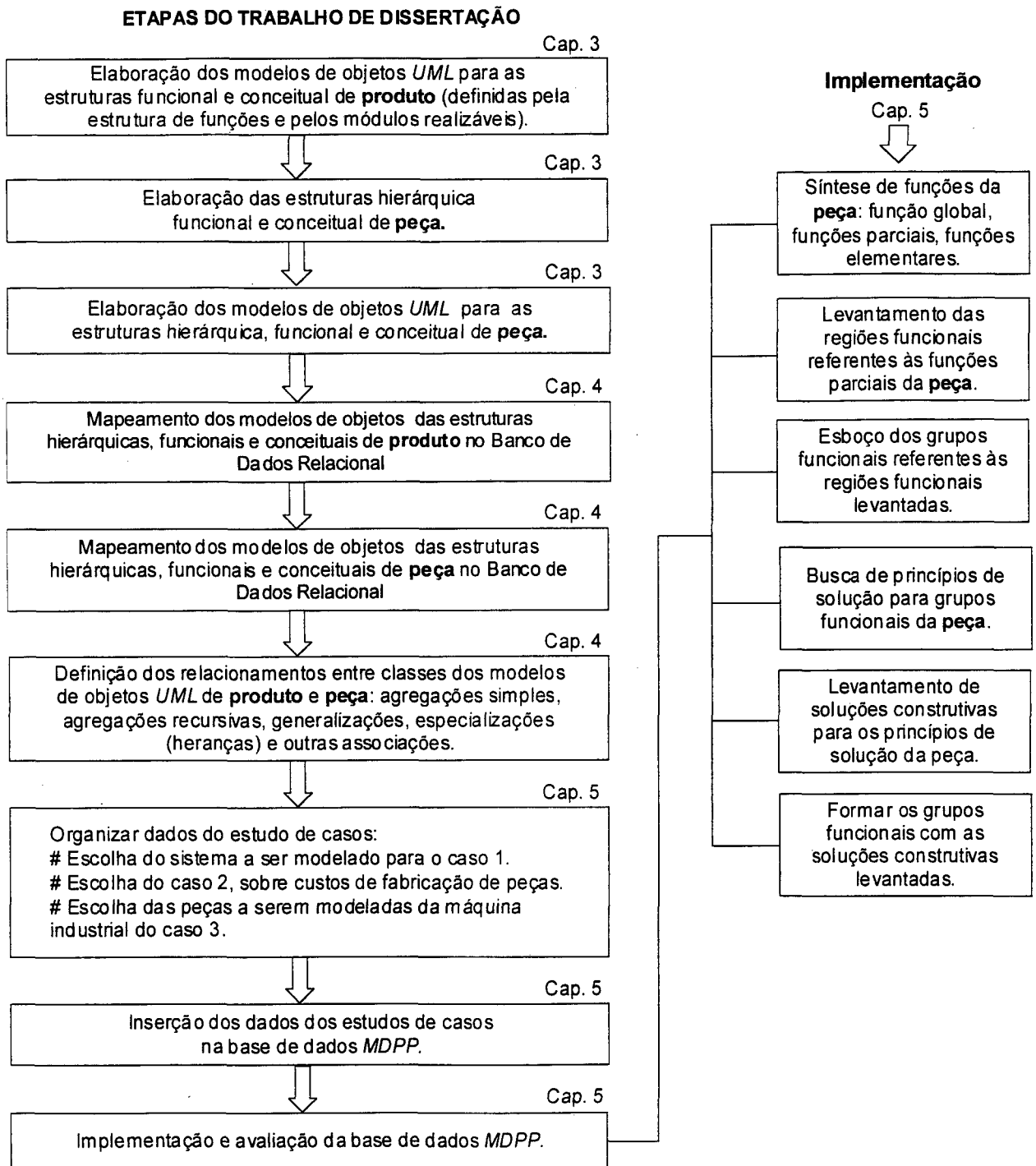


Figura 1.1 – Diagrama do fluxo das atividades do trabalho de dissertação.

O modelamento de projeto estudado aborda dois contextos distintos: modelamento do processo de projeto, em que predominam atividades de análise e síntese em torno das várias opções que se tem e qual delas melhor traduz as necessidades do cliente e; modelamento do projeto do produto, onde o que se pretende é modelar o produto, seus conjuntos, subconjuntos e finalmente, suas peças, mapeando suas características de acordo com uma base estruturada de informações e dados.

Este trabalho aborda apenas o modelamento do projeto do produto e não o modelamento do processo de projeto de produto.

O relacionamento entre o modelo do processo de projeto e o modelo do produto está esquematizado na Tabela 1.1. Nesta tabela é apresentada uma analogia entre as várias etapas do desenvolvimento do produto com o aumento de informações que se tem sobre o produto, por meio de uma indicação do que poderia-se considerar como a dimensionalidade destas informações. Assim, na etapa de análise funcional do produto/peça tem-se apenas informações textuais, em que a semântica e a gramática funcional predominam. Desta forma foi feita uma analogia com a ausência de dados de geometria, ou seja, a dimensionalidade é *0D*. Para o projeto conceitual são criadas soluções, tipicamente na forma de esboços, com uma predominância de elementos unidimensionais. Assim, esta fase foi caracterizada como *1D*. No caso do projeto detalhado, a geometria deve estar totalmente definida, logo é uma fase em que o modelo *3D* se aplica. Como no projeto preliminar o produto evolui do projeto conceitual para o detalhado, estabeleceu-se a analogia de designá-lo por *2D*.

Tabela 1.1 – Relações entre modelos do processo de projeto e modelos do produto.

Dimensão	Modelo do Processo de Projeto	Modelo do Produto
<i>0D</i>	Projeto Funcional de Produto/Peça	Modelo Funcional de Produto/Peça
<i>1D</i>	Projeto Conceitual de Produto/Peça	Modelo Conceitual de Produto/Peça
<i>2D</i>	Projeto Preliminar de Produto/Peça	Modelo Preliminar de Produto/Peça
<i>3D</i>	Projeto Detalhado de Produto/Peça	Modelo Detalhado de Produto/Peça

1.4 - Resultados esperados

Após a conclusão dos trabalhos com a elaboração da base de dados, alguns resultados são esperados, como:

- Implementação da base de dados como alternativa de modelamento de dados no projeto conceitual de peças a partir da estrutura conceitual do produto, disponibilizando-a às fases posteriores do processo de projeto de produto;
- Disponibilidade de dados em base estruturada para posterior refinamento de “*features*” em sua fase conceitual, que compõem os *grupos funcionais de peça*.
- Auxílio para o desenvolvimento de novos trabalhos que visem a sistematização do processo de projeto de produto e peça na área de projeto de sistemas mecânicos.
- Obter uma base de conhecimento necessária ao desenvolvimentos em futuros trabalhos, de uma biblioteca de *princípios de solução de peças* para auxiliar na síntese dos *grupos funcionais de peça*.

- Possibilidade de modelamento rápido de produtos já fabricados e em funcionamento.
- Espera-se que o banco de dados relacional seja compatível com as estruturas que nele sejam mapeadas quanto a sua capacidade de armazenamento de dados.

1.5 - Desenvolvimento do trabalho

Inicialmente, no Capítulo 1, introduz-se o tema, apresenta-se os objetivos do trabalho e a proposta para sua realização com o possível conteúdo do trabalho apresentando-se noções iniciais sobre o âmbito no qual será tratado, situando-se o projeto de peças no contexto do processo de projeto de produto. Em seguida, descreve-se os resultados esperados, finalizando-se com a proposta de uma linha a ser seguida para o seu desenvolvimento.

No Capítulo 2, faz-se uma exposição do estado da arte em metodologia de projeto, onde identifica-se modelos de representação no processo de projeto de produto e uma discussão sobre modelamento de dados orientada a objetos.

O Capítulo 3, discorre sobre a proposta de trabalho, onde apresenta-se os passos de sua realização com as definições dos elementos integrantes das estruturas de modelamento e da forma como o suportam, dando-lhe o condicionamento necessário a sua implementação.

No Capítulo 4, apresenta-se as características da base de dados desenvolvida, com as definições das estruturas de dados que suporta, as regras dos mapeamento executadas e seus relacionamentos.

Para avaliar a utilização da base de dados, três estudos de casos foram realizados e são mostrados no Capítulo 5. As conclusões e recomendações compõem o Capítulo 6, onde descreve-se os pontos positivos e aqueles que têm que ser reavaliados e ainda sugestões a nível de futuros trabalhos que possam vir a ser desenvolvidos nesta área, são dadas. *Sugestões*

1.6 - Considerações

Neste capítulo discutiu-se em linhas gerais, os objetivos pretendidos, a proposta de trabalho para alcançá-los e os tópicos que serão apresentados no texto do trabalho. Descreve-se em seguida, alguns resultados esperados após aplicação do trabalho.

Salienta-se que, informações sobre este trabalho podem ser encontradas pelos interessados, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, na Biblioteca Central da Universidade Federal de Santa Catarina ou ainda através do *site*: <http://www.grante.ufsc.br/~linhares> .

CAPÍTULO 2

Estado da Arte

2.1 - Introdução

Neste capítulo, são apresentadas algumas propostas existentes na literatura para a estruturação de procedimentos voltados à sistematização do processo de projeto de produto. Frente a estas propostas é feita a identificação dos modelos que serão utilizados no desenvolvimento do trabalho. A Tabela 2.1, apresenta uma síntese das metodologias e propostas de projeto de produto e peças revisadas.

Tabela 2.1 – Características gerais das principais metodologias e propostas de projeto estudadas.

Caracter.	Produto		Peças	
	<i>VDI 2221</i>	<i>ASIMOV</i>	<i>JOHNSON</i>	<i>ULLMAN</i>
Princípio	Mais específico. Ênfase nos passos do projeto mecânico.	Mais geral. Modelo comum a qualquer projeto.	Ênfase no projeto de peças isoladas	Projeto de produto e processo simultâneos
Considerações Gerais	<p>Fase I - Lista de requisitos.</p> <p>Fase II - Estruturas funcional e conceitual com módulos realizáveis.</p> <p>Fase III - Projeto preliminar.</p> <p>Fase IV - Projeto detalhado com documentação do produto.</p>	<p>Fase I – Estudo da viabilidade e identificação das soluções viáveis.</p> <p>Fase II – Projeto Preliminar - Identificação da melhor solução.</p> <p>Fase III – Projeto Detalhado - Obtenção das soluções de engenharia.</p>	<p>Parâmetros considerados no projeto de peças:</p> <p>Necessidade funcional: condição a ser satisfeita pela peça;</p> <p>Efeitos indesejáveis: limitados dentro de faixas toleráveis;</p> <p>Material e geometria A peça é definida pela especificação completa de seu material e sua geometria.</p>	<p>As variáveis forma, material e produção (manufatura + montagem), são mutuamente dependentes em torno da variável principal, a função da peça.</p>

Para os procedimentos voltados à metodologia de processo de projeto de produto, inicialmente apresenta-se os que são mais usualmente aplicados e em seguida aqueles propostos para o projeto específico de peças e componentes isolados.

Finalmente, apresenta-se técnicas de modelamento de dados, inserindo-se o modelamento orientado a objetos, aplicado como principal base de conhecimento para a implementação do trabalho. A Tabela 2.2, mostra resumidamente as principais características da técnica de modelamento *IDEFIX* comparando-as frente ao padrão de modelamento e troca de dados *STEP*.

Tabela 2.2 – Principais características do método de modelamento de dados IDEF1X e do padrão de modelamento e troca de dados STEP.

Sigla	<i>IDEFIX</i>	<i>STEP</i>
Nome	Interin Data Exchange Format específico para o modelamento de dados de produto.	Standard for Exchange of Product model data (Norma <i>ISO 10303</i>)
Aplicação	Aplicado para bancos de dados relacionais.	Aplicável na solução de problemas complexos de representação e comunicação de dados, (Ex. entre sistemas <i>CAD</i>). É incompatível com banco de dados relacionais.
Obs	<i>IDEF</i> : é uma família com 16 métodos. <i>IDEFIX</i> : não é a melhor solução para modelamento de sistemas orientados a objetos.	O <i>STEP</i> foi precedido por outras especificações para modelamento e compartilhamento de dados de produto. Entre elas: <i>IGES</i> (EUA), <i>SET</i> (França) e <i>VDA</i> (Alemanha)
Enfoque no produto	Modelamento lógico utilizando estruturas de classes, generalização e especialização. Possui sintaxe e semânticas próprias.	Representa não apenas a geometria do produto, mas captura a semântica da informação com enfoque no uso da informação no processo de projeto de produto.
KERN, BOHN & BARCIA [106]	A troca de dados de produto	
	<ul style="list-style-type: none"> • É um fator chave no alcance dos objetivos de engenharia simultânea. • É necessária quando os dados de produto devem ser movimentados entre diferentes aplicações. Essa necessidade existe dentro ou entre diferentes equipes de engenharia de projeto/produto, departamentos e companhias. 	

2.2 – Metodologia de Projeto

2.2.1 – Processo de projeto de produto segundo VDI 2221

A sistemática proposta pela *VDI 2221* e apresentada por *BACK* [90] divide o processo de projeto em quatro fases. Cada fase, por sua vez, é subdividida em passos que interagem a medida em que o processo de projeto evolui, como mostrado na Figura 2.1.

Em linhas gerais, na Fase I, é elaborado um estudo da proposta de desenvolvimento do produto, que inicia com a verificação e tomada de conhecimento do problema, é o *estudo da tarefa* ou *definição da tarefa*. Assim que o problema estiver suficientemente estudado e as partes envolvidas concordarem que a tarefa formulada é técnica e economicamente viável, deve-se formalizar a *lista de requisitos*, que é uma relação contendo todos os requisitos obrigatórios e desejáveis que representa o início dos trabalhos de desenvolvimento de produto. A lista de requisitos serve como orientação para o trabalho a ser desenvolvido e torna-se então bastante importante como documento oficial com base no qual deve-se fazer todo o acompanhamento do projeto verificando-se o atendimento às exigências prévias impostas ao produto. Estudar a tarefa,

segundo *FIOD* [38], é ampliar e aprofundar as informações que provém do setor de planejamento do produto ou centro de pesquisa ou desenvolvimento de produto, visando explicitar ao projetista o que se pretende obter como resultado de sua atividade.

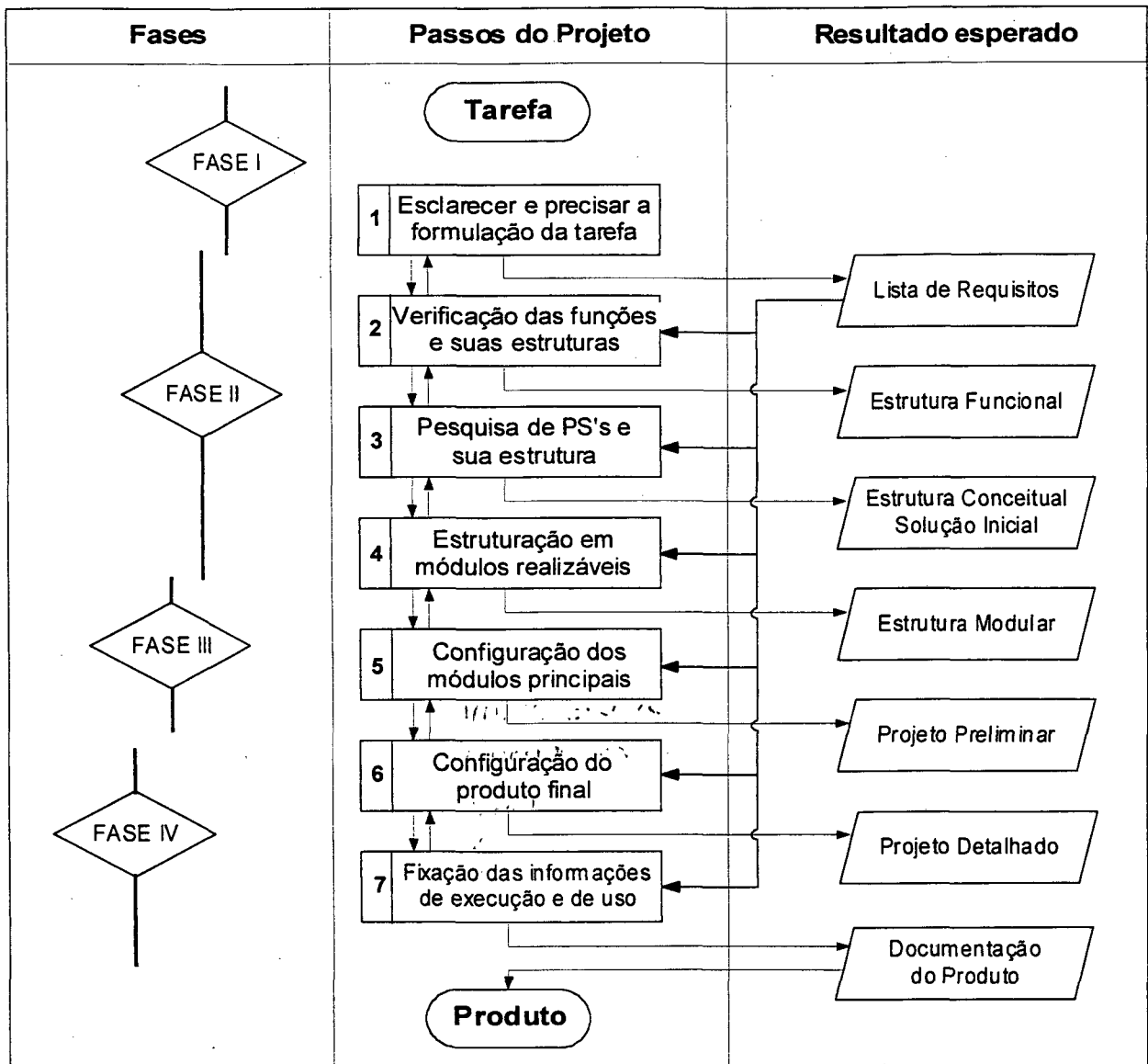


Figura 2.1 - Procedimento geral para o projeto de sistemas mecânicos segundo a VDI 2221,[49].

Na Fase II, investigam-se os requisitos funcionais do produto estudando-se a função que deverá desempenhar o sistema mecânico. Realizar a função global (*FG*) inicialmente determinada é para o produto seu requisito técnico mais importante. Todas as funções são listadas e as funções complexas são sub-divididas a partir da função global em sub-funções mais simples, funções parciais (*FP*) e elementares (*FE*). Estas são arranjadas em diagrama de bloco ou estrutura de funções como mostra a Figura 2.2, com entradas e saídas, tanto para o sistema

completo, quanto para as sub-funções individuais. É possível neste estágio formar variantes funcionais pelo re-arranjo, combinação e subdivisão das funções.

No projeto conceitual busca-se soluções para cada uma das funções da estrutura funcional do produto. Cada função parcial e elementar é contemplada com princípios de solução. Cada princípio de solução deve conter tanto efeito físico como a configuração, ou portador de efeito necessários, à realização de uma dada função. Em seguida, seleciona-se os princípios de solução para agrupá-los em conjuntos realizáveis, levando-se em conta a facilidade de fabricação e o compartilhamento entre subconjuntos, tudo sendo realizado sob a orientação da estrutura de funções. Os subconjuntos assim encontrados são então combinados de modo sistemático e racional para obter um número de soluções ou variantes para a função do conjunto.

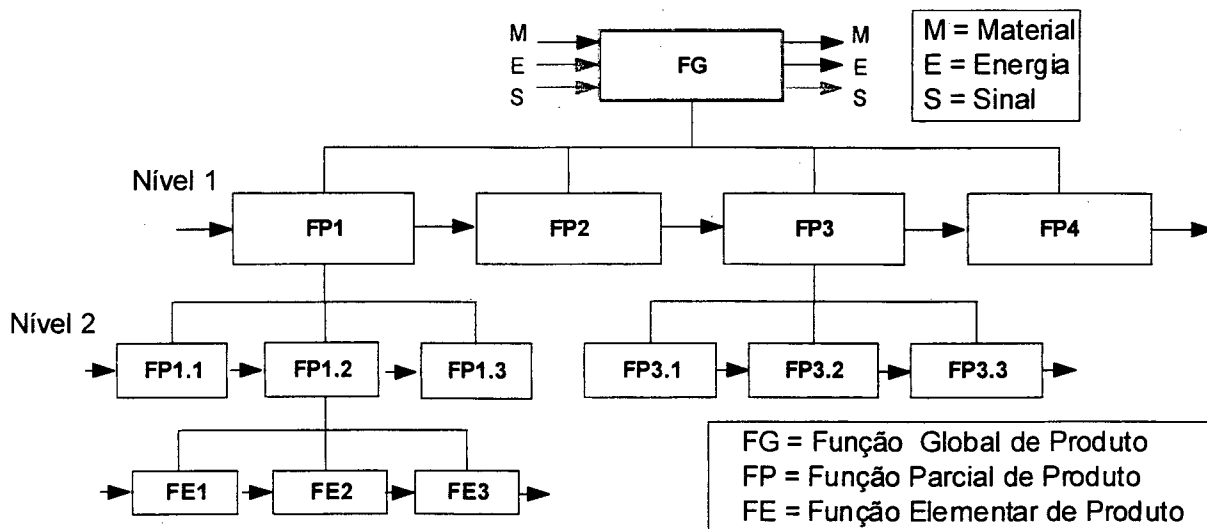


Figura 2.2 – Diagrama de bloco com representação da estrutura funcional de um produto.

O resultado desta fase do processo de projeto de produto é uma estrutura de conjuntos ou subconjuntos, módulos ou elementos reconhecidamente realizáveis, apresentando também as ligações ou interfaces entre eles.

A saída deste modelo deve desencadear o projeto dos conjuntos, subconjuntos e das peças que os compõem. A proposta deste trabalho insere-se a partir desta etapa, ou seja, na busca de estruturas para o modelamento de peças com a elaboração de uma base de dados que suporte o seu projeto funcional e conceitual.

A próxima fase, Fase III, é a do projeto preliminar, em que após definidas as estruturas conceitual do produto e de cada uma de suas peças, tem-se que definir as estruturas preliminares das peças que assim irão compor a estrutura preliminar do produto. Por isso, há necessidade de se estabelecer o relacionamento entre as diversas funções que compõem cada peça. No início do

projeto preliminar, determina-se as dimensões básicas das peças que compõem o produto com vistas ao desenvolvimento do seu "layout", em que são consideradas as dimensões, a dinâmica das peças e as principais propriedades seus dos materiais.

Deve-se conceber as peças que realizarão as funções elementares do produto que compõe cada função parcial e finalmente a função global do produto.

A Fase IV, conduz ao detalhamento de cada peça com vistas a sua fabricação. Cada peça é definida, assim como sua disposição final no sistema do qual faz parte. Dimensionamentos e cálculos de resistência, confiabilidade e manutenibilidade são prioritários. Decisões finais a cerca de dimensões, arranjos, formas dos componentes individuais, acabamentos superficiais, materiais e custos de fabricação, são tomadas. São elaborados os documentos definitivos para a realização física da alternativa de solução que foi anteriormente selecionada.

2.2.2 - Processo de projeto de produto segundo ASIMOV

ASIMOV [91], dá maior ênfase aos procedimentos da atividade de projeto, do que ao próprio objeto de projeto, mostrando uma seqüência de eventos, que forma um modelo comum a qualquer projeto e aplicável a qualquer campo da tecnologia.

A proposta do autor estabelece uma estrutura cronológica definida pelos passos mostrados na Figura 2.3 e resumidamente descritos a seguir.

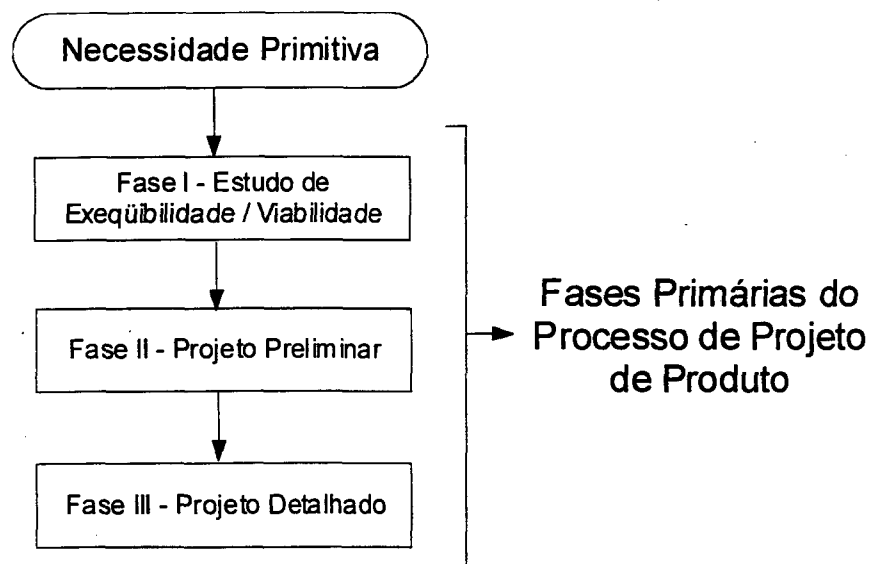


Figura 2.3 – Fases I, II e III do processo de projeto de produto segundo *ASIMOV*, [91].

A Fase I, é o *estudo da viabilidade*, onde procura-se identificar um conjunto de soluções viáveis para o problema em estudo. As necessidades são exploradas para a identificação dos

problemas essenciais. As soluções possíveis com relação a esses problemas são avaliadas física, econômica e financeiramente. Finalmente, deve ser obtido um problema bem estruturado e explorado quanto a sua exeqüibilidade.

Na Fase II, o *projeto preliminar*, deseja-se identificar qual das alternativas propostas é a melhor concepção para o projeto. Aqui devem ser investigados vários parâmetros de projeto como tolerâncias, materiais, etc. Em seu contexto tem-se desde a seleção da concepção, a formulação de modelos matemáticos, a análise de sensibilidade, etc., até a verificação final da concepção do projeto.

Na Fase III, o *projeto detalhado*, deve-se obter as descrições de engenharia de um projeto viável e verificado. Desenvolve-se o “*layout*” final do produto e o relatório final do projeto. Nesta fase tem-se a preparação e o projeto geral dos subconjuntos, o projeto geral dos componentes, a preparação dos desenhos de montagem, a construção experimental e testes de protótipo (quando necessário), a análise e revisão do projeto.

Ao final obtém-se um produto testado e aprovado, podendo assim, ser reproduzido. *ASIMOV* também apresenta em seu diagrama mais quatro fases (IV, V, VI e VII), que não são mostradas na Figura 2.3, pois estão relacionadas com o ciclo de produção e consumo do produto, *BACK & FORCELLINI* [49].

2.2.3 - Projeto de peças segundo *JOHNSON*

JOHNSON [47], apresenta uma proposta de projeto de peças. Segundo ele, o projeto de peças deve considerar prioritariamente os seguintes parâmetros: (1) *Necessidade funcional* – condição que deve ser satisfeita pela peça.; (2) *Efeitos indesejáveis* – devem estar dentro de faixas toleráveis baseadas nas restrições de custos, parâmetros dimensionais, resistência, “*layout*”, manufatura e montagem; (3) *Material e geometria* – a peça é definida pela especificação completa de seu material e de sua geometria.

O autor analisa o projeto de peças por meio destes três grupos de parâmetros concluindo que sua otimização é função do correto equacionamento dos mesmos.

Uma *necessidade funcional* é uma condição que deve ser satisfeita pela peça para que a estrutura do conjunto do qual faz parte, funcione adequadamente.

Efeitos indesejáveis são aqueles cujo grau de significância depende do problema particular, de cada caso. Um projeto considerado satisfatório ou otimizado admite que as peças tenham seus efeitos indesejáveis limitados dentro de faixas toleráveis de valores. Por exemplo, o custo de uma peça pode ter que estar limitado a um custo máximo expresso por $C \leq C_{m\acute{a}x}$.

De modo similar às necessidades ou requisitos funcionais, para todo efeito indesejável existem também equações limites que devem ser consideradas durante os procedimentos normais, na elaboração de um projeto de peças otimizado. Assim, tanto as limitações ou restrições das necessidades ou requisitos funcionais quanto de efeitos indesejáveis podem ser rígidas ou folgadas, o que vai depender de cada caso em particular.

Em relação ao *material* e à geometria da peça, toda peça é definida pela especificação completa de seu material e de sua geometria. Parâmetros importantes como módulo de elasticidade (E), coeficiente de Poisson (ν), densidade (ρ), custo por peso unitário (c) de materiais, são encontrados na literatura. A definição do material apropriado é difícil de ser formulada por equações matemáticas e o engenheiro projetista deve utilizar sua experiência e o fator eliminação como auxiliares nesta tarefa, *ASHBY* [99], *NIEMANN* [100].

A *geometria* da peça pode ser univocamente definida pela especificação dos parâmetros geométricos independentes. Como mostrado na Figura 2.4, os parâmetros $\{L, d, c, a, b\}$ e a especificação do tipo de rosca, definem a geometria da peça.

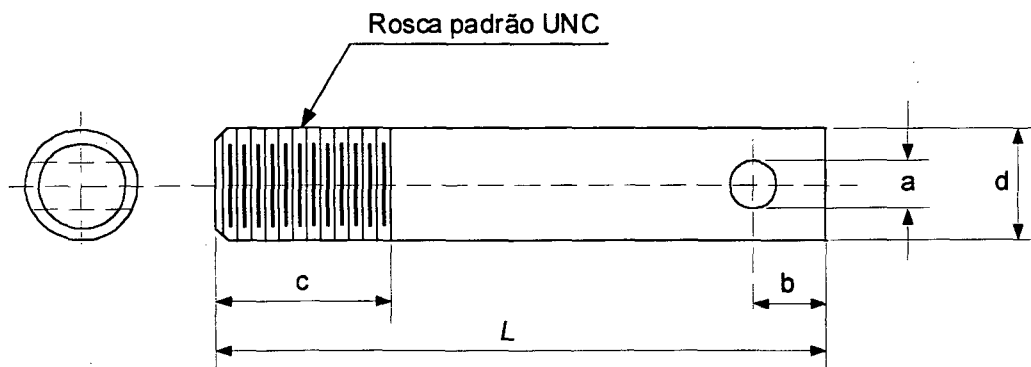


Figura 2.4 – Parâmetros independentes que definem univocamente uma peça típica, [47].

O projeto de qualquer peça deve ser baseado na satisfação de suas necessidades funcionais, sem os efeitos indesejáveis e intoleráveis, a menos da existência de limitações práticas inerentemente inevitáveis.

2.2.4 - Processo de projeto de componentes segundo ULLMAN

ULLMAN [60], desenvolve em seu trabalho sobre técnicas para o processo de projeto mecânico, um procedimento para a execução do que chama de *projeto concorrente*, colocando que, o refinamento do projeto de um produto ou componente deve considerar quatro elementos básicos, conforme mostrado na Figura 2.5.

A *função* do produto, que ocupa a posição central da representação e ao seu redor, mutuamente dependentes, estão a *forma* do componente, seu *material* e as técnicas e processos utilizados para a sua fabricação e montagem, que define como sendo *produção*.

O autor ainda acrescenta que, em um projeto concorrente, o produto e seu processo de fabricação, incluindo montagem, devem evoluir simultaneamente. Entende-se que, a sistematização da concorrência de projeto e processo de fabricação tende a evoluir para plataformas computacionais, tendo como resultado, a redução do custo em ambas as áreas.

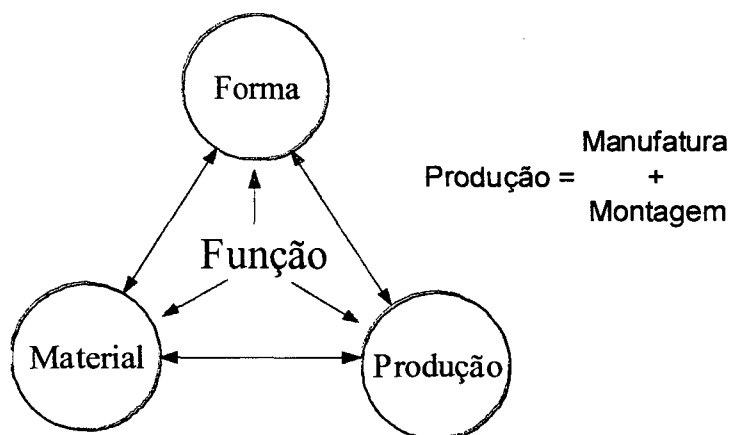


Figura 2.5 – Quatro elementos básicos do projeto concorrente, [60].

Dentro do enfoque dado pelo autor a cerca do projeto concorrente, o processo de projeto de produto é considerado como uma interação de passos, mostrados na Figura 2.6. Os passos 4, 5 e 6, estão relacionados com o projeto específico de componentes ou peças que compõem o produto. No passo 4, embora o projeto conceitual esteja focado no conjunto mecânico, ou ainda nos módulos realizáveis, o esboço conceitual resultante, provavelmente conterá em sua representação esquemática, componentes individuais. Neste estágio do projeto, ainda há tempo para modificações e refinamentos destas peças.

Durante o projeto do conjunto ou subconjunto, a busca de regiões funcionais e de formas para as peças pode ser justificada por uma das seguintes razões:

- (1) Necessidade de movimento relativo entre componentes, quando este movimento não puder ser compensado pelas elasticidades características dos próprios componentes;
- (2) Por uma necessidade funcional o componente deva ser constituído de diferentes materiais, por exemplo, um lado da peça tenha que conduzir calor e o outro deva ser isolado;
- (3) Acessibilidade ao componente, por exemplo, um gabinete da *CPU*, a unidade de processamento computacional de um computador, poderia ser feito em uma única

peça, com seis lados, entretanto tem que ser feito com no máximo cinco lados, para que se possa montar os outros componentes.

- (4) Disponibilidade apenas de componentes padronizados a serem conectados às peças consideradas.
- (5) Separar componentes para minimizar custos. Muitas vezes é melhor ter-se dois componentes simples, do que um complexo.

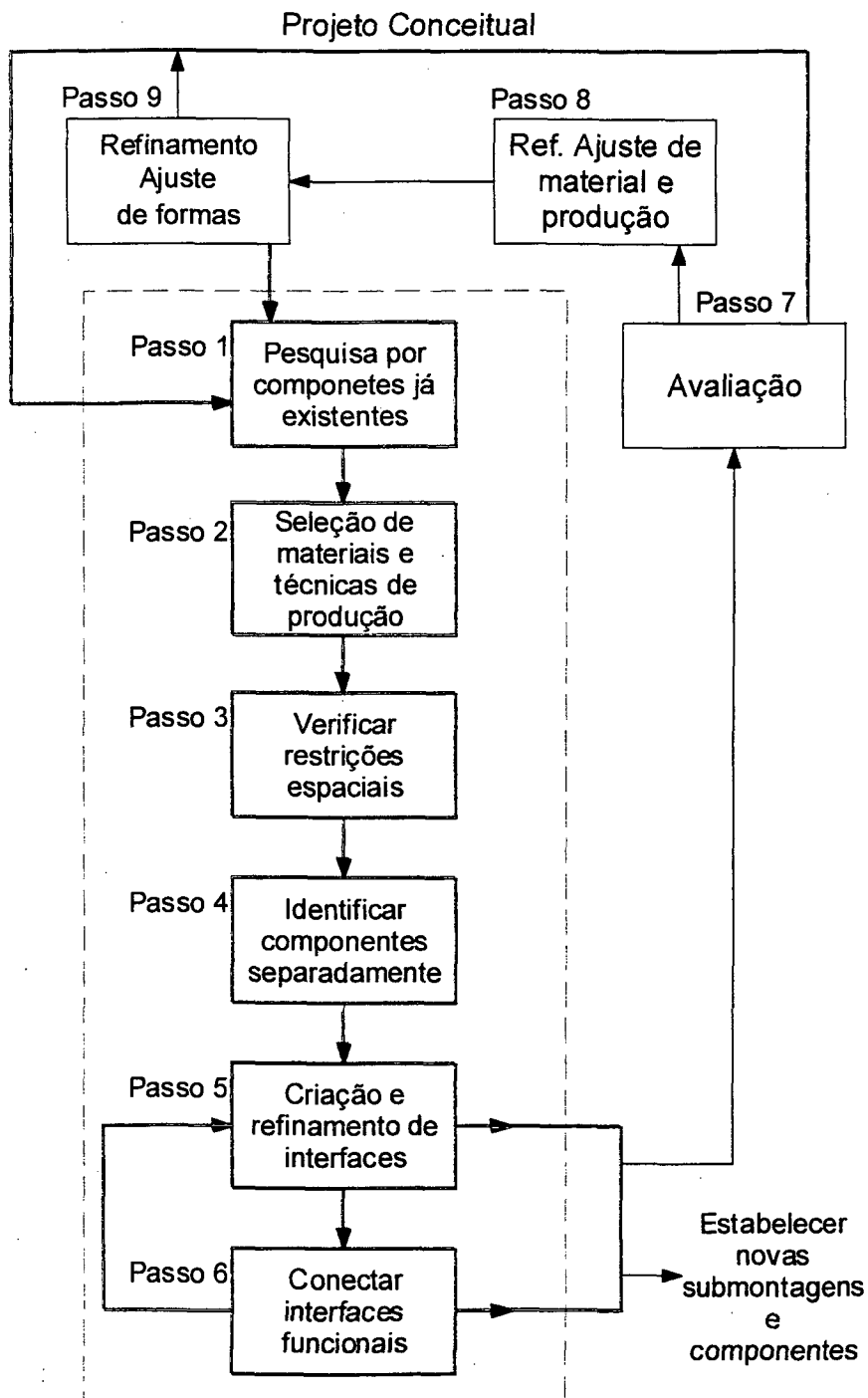


Figura 2.6 – Passos do projeto de produto segundo ULLMAN [60], com o “loop” de interações,

O passo 5 trata da criação e do refinamento de interfaces funcionais, que é um passo chave quando da incorporação de um conceito, porque é neste estágio que ocorre a identificação das funções durante o projeto conceitual. Baseia-se na suposição de que, para a maioria das peças de um produto, as funções ocorrem em suas interfaces. O objetivo deste passo na concepção de um produto é assim, o refinamento das interfaces entre as peças. Observe a peça mostrada na Figura 2.7. O cortador de unhas reflete bem a funcionalidade desempenhada nas interfaces das peças que o compõem. O corte das unhas só é possível no momento em que as funções principais de suas peças em separado, convergem para a função principal do conjunto.

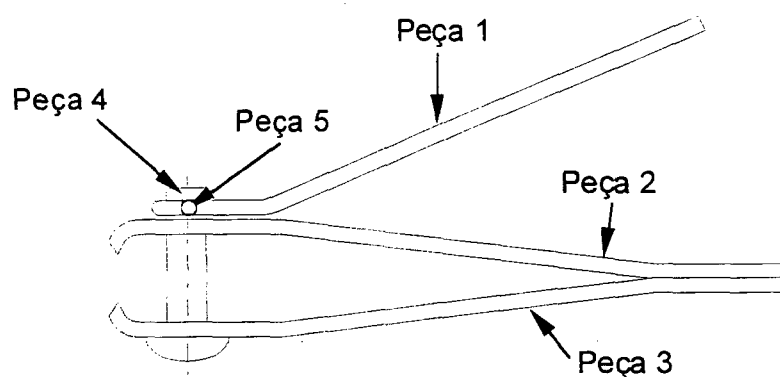


Figura 2.7 – Cortador de unhas e suas peças, [60]

No passo 6, tem-se a conexão das interfaces funcionais. Segundo o autor, há uma estimativa de que menos de 20 % das dimensões da maioria dos componentes em um dispositivo ou conjunto, são críticas em sua performance. As regiões de uma peça, ocupadas por volumes de material, existem para conectarem-se a outras regiões de outra(s) peça(s), dando origem às interfaces funcionais.

2.2.5 - Avaliação das metodologias de projeto de produtos e peças

Em vista do que se propõe para a realização deste trabalho, as metodologias apresentadas fornecem uma base de conhecimento que pode ser aproveitada, porém cabem algumas inserções para o desenvolvimento e estruturação dos modelos que se quer desenvolver.

Os modelos propostos pela *VDI 2221* [49] e por *ASIMOV* [91] tratam da concepção do produto como um todo, não tendo-se um detalhamento específico no que se refere ao projeto de seus conjuntos, sub-conjuntos e peças.

A proposta de *JOHNSON* [47], para o projeto de peças, mostra que os efeitos indesejáveis ou uma exigência funcional de uma peça depende essencialmente, dos parâmetros dos requisitos funcionais especificados, dos parâmetros característicos do material e dos

parâmetros geométricos da peça, porém não define um modelo adequado à análise funcional e conceitual de peças

O modelo de *ULLMAN* [60], é o que dispõe uma estrutura onde a utilização de uma base de dados melhor se adequaria. A partir da identificação de componentes separadamente, que nada mais é senão o início do projeto específico de cada peça, introduz-se a necessidade da criação e do refinamento das interfaces entre as mesmas e suas respectivas conexões. Uma base de dados para modelar os passos 4, 5 e 6 deste modelo de procedimentos deverá conter elementos que suportem, por exemplo, uma classe tipo *Classe_Interface*, que disponibilize atributos com parâmetros inerentes a uma interface, relacionados com sua funcionalidade.

2.3 - Modelamento de Dados

O processo produtivo atual apresenta uma grande variedade de itens e produção em pequenas quantidades. Para que possa ser desenvolvido com eficácia, diversas tecnologias de projeto e manufatura são utilizadas. Considerando ainda a sua complexidade, é fácil concluir que um grande volume de informações é manipulado através de diversas áreas da indústria, sendo que o elemento central, ao redor do qual todas as informações circulam, é o produto. Por este motivo, deve ser criada uma modelagem compartilhável, que permita representar diferentes tipos de informações e dados. Neste âmbito, como passo essencial no desenvolvimento de técnicas de modelamento, destaca-se a análise orientada a objetos como a mais flexível filosofia de comunicação e representação de dados para a modelagem de entidades reais e abstratas.

2.3.1 - Padrões e métodos de modelamento de dados

Algumas técnicas de modelamento e troca de dados tem sido desenvolvidas ao longo dos últimos anos.

O *IDEF* [101] “*Interin Data Exchange Format*”, é um conjunto de métodos aplicáveis à diversas áreas de conhecimento, constituída por módulos isolados. Dentre esses módulos, o *IDEFIX*, é o método aplicado ao modelamento de dados baseado em bancos de dados relacionais que utiliza uma sintaxe projetada para suportar a semântica necessária à construção de esquemas conceituais. Um esquema conceitual, é uma definição integrada simples dos dados de um sistema qualquer que seja imparcial para qualquer tipo de aplicação, independente de seu acesso e armazenamento físico. Para sistemas orientados a objetos, por exemplo, o *IDEFIX* não é a melhor solução.

O *STEP* [102] “*Standard for the Exchange of Product model data*” – Norma ISO 10303, como padrão de modelamento e troca de dados de produto, é uma norma inovadora aplicável na solução de problemas complexos de representação e comunicação de dados, como por exemplo, a comunicação e a representação de dados de produtos entre sistemas de *CAD*. O uso do *STEP* depende de dois principais tipos de documentos: os *AP's* (*Application Protocols*), ou modelos de informações das aplicações específicas e os *IR's* (*Integrated Resources*), ou métodos de implementação. O método *STEP* foi precedido por outras especificações utilizadas para a troca ou compartilhamento de dados de produto. As mais amplamente conhecidas são: *Autodesk's DXF*, padrão *IGES* (Estados Unidos), *SET* (França) e *VDA/FS* (Alemanha). Estas especificações enfocam principalmente a troca de dados geométricos.

Um outro fator importante a ser ressaltado, é que o *STEP* esforça-se no sentido de poder representar não apenas a geometria de um produto, mas modelar seus dados até o final de seu ciclo de vida. Em relação ao padrão *IGES*, que não contém a semântica da informação, apenas dados, o forte do *STEP* é a captura da semântica e faz isso enfocando o uso da informação no processo de projeto de produto, ou seja, no contexto no qual a informação é utilizada.

Outra questão está relacionada com a compatibilidade com o tipo de banco de dados. O *STEP* não foi concebido para ser implementado na forma de um banco de dados relacional. Já, os bancos de dados orientados a objetos, enriquecem seu poder de modelamento.

2.3.2 - Modelamento de informação e de dados

Os termos *modelamento de informação* e *modelamento de dados* são usados intercambiavelmente e às vezes sua diferença pode ser sutil. Wilson, citado por *KERN, BOHN & BARCIA* [106], define-os da seguinte forma:

- (1) *Modelamento de informações* é uma especificação de implementação independente das entidades que definem, as partes individuais da informação necessária a algum empreendimento, os relacionamentos entre as entidades e as restrições e entre as entidades e os relacionamentos.
- (2) *Modelamento de dados* é uma especificação de implementação dependente das entidades que definem, os dados para algum empreendimento, os relacionamentos e as restrições entre as entidades.

“*Todo dado é uma informação, mas nem toda informação é um dado*”.

KERN, BOHN & BARCIA [106] declaram que a troca de dados de produto é um fator chave no alcance dos objetivos da engenharia simultânea. A necessidade da troca de dados de produto nasce quando os dados do produto devem ser movimentados entre diferentes aplicações e esta necessidade existe dentro ou entre diferentes equipes de engenharia de projeto/produto, departamentos e companhias.

2.3.3 – Comentários sobre os modeladores de dados revisados

Como padrão de modelamento e troca de dados de produtos, acredita-se que o *STEP* seja o mais aplicável, uma vez que incorpora a utilização de semânticas na identificação de seus dados e informações. Entretanto, sua aplicação é condicionada a uma plataforma computacional básica que o possa suportar. Principalmente no que refere-se aos “*softwares*”, são aplicativos geralmente muito caros cuja aquisição justifica-se apenas em aplicações de retorno seguro, seja ele financeiro ou educacional.

Em vista disso, pode-se utilizar estruturas computacionais menos caras e sofisticadas, procurando-se adequá-las às necessidades mais aparentes e realistas, como por exemplo, em aplicações acadêmicas e em departamentos de projetos de empresas que queiram apostar neste tipo de desenvolvimento tecnológico.

Quanto ao *IDEFIX*, é suportado pelas configurações dos bancos de dados relacionais comerciais disponíveis, utilizando basicamente o enfoque entidade/relacionamento, o que faz com que possa ser de utilidade neste trabalho. Entretanto, a disponibilidade imediata do banco de dados relacional comercial, torna sua utilização mais factível, dada a facilidade de mapeamento.

Em auxílio à sistematização do processo de projeto das peças que compõem um produto, o modelamento e a representação de dados de peças vem contribuir com o processo de projeto de produto ao apresentar estruturas de dados desenvolvidas com base em modelamento orientado a objetos que conseguem agrupar seus dados e informações em classes de objetos interrelacionando-os de acordo com o tipo de pesquisa que se deseja.

O projeto específico de peças, dada uma estrutura de módulos realizáveis de um produto, tem particularidades que podem ser estudadas e sistematizadas a nível computacional, pelas especificidades de suas características e pelas restrições funcionais de cada peça agregada. O grande volume de informações e dados gerado requer uma estrutura modular onde possam ser armazenadas, manipuladas e disponibilizadas ao ambiente de projeto.

Inserida no processo de projeto de produto, a sistematização específica do projeto de peças e componentes isolados é necessária para a organização de dados e informações sobre o

produto. Tudo o que consegue-se refinar nas fases anteriores à análise funcional e estruturação dos conceitos referentes às peças, pode ser armazenado para pronta recuperação. Entende-se que a interatividade de dados durante o processo de projeto, principalmente de peças que formam os subconjuntos e conjuntos de um produto, deve ser suportada por uma fonte estruturada de informações.

O uso do recurso computacional dependerá essencialmente do nível de sistematização em que encontra-se o processo de projeto de produto no ambiente de projeto de cada aplicação. Evidências da aplicabilidade de modelos de dados orientados a objetos em áreas de projeto de sistemas mecânicos, mostram tratar-se de uma ferramenta poderosa na estruturação computacional

2.4 - A análise orientada a objetos

A análise orientada a objetos apresenta componentes chaves que fundamentam a mudança de enfoque no processo de modelagem e desenvolvimento de aplicações, trazendo benefícios intrínsecos à filosofia de modelamento. Rumbaugh, citado por *FURLAN* [41], define a análise orientada a objetos como “uma nova maneira de pensar os problemas utilizando modelos organizados a partir de conceitos do mundo real. O componente fundamental é o objeto que combina estrutura e comportamento em uma única entidade”. Os objetos do domínio da aplicação compõem a estrutura do modelo, mas são implementados em termos de objetos de um dado “*software*”.

2.4.1 - Conceitos básicos

A seguir são apresentados os principais conceitos que suportam e fundamentam a análise orientada a objetos, *FURLAN* [41].

Objeto

Um objeto é uma unidade real ou abstrata, individualizada e identificável que modela um conceito da realidade humana, ocupando espaço físico (mundo físico) ou lógico (na memória). A identidade de um objeto é uma propriedade que o distingue de todos os demais, sendo preservada até mesmo quando seu estado muda completamente. Um objeto é uma pessoa, um lugar, uma coisa, enfim a base para todos os outros conceitos de orientação a objetos.

Classe

Classe é uma representação de um conjunto de coisas reais ou abstratas que são reconhecidas como sendo do mesmo tipo por compartilharem as mesmas características de atributos, operações, relações e semântica ou, de uma certa forma, é um conjunto de objetos que compartilham estrutura e comportamento comuns. Uma classe pode possuir não apenas objetos como instâncias, como também outras classes.

Abstração

É a habilidade de focar as características mais importantes de alguma coisa. Dar ênfase aos conceitos, deixando de lado considerações menos importantes. Em uma abstração podemos ter duas visões, a externa e a interna. Na *visão externa* deve-se ter em mente *o que* faz o objeto, para que possa ser utilizado pelos outros, *o que* as outras classes, ou os outros objetos vêem neste objeto. Na *visão interna* deve-se ter em mente *o como* o objeto faz.

A abstração é um ingrediente fundamental no trabalho de identificação de classes, principalmente do mundo real, visto que quase tudo com o que se lida no mundo real é intrinsecamente relacionado e complexo.

Atributo

É a menor unidade que em si possui significância própria e inter-relacionada com o conceito lógico da classe à qual pertence. Apresenta o princípio de atomicidade, ou seja, do armazenamento de um determinado valor simples em uma célula.

Operação

É um serviço de classe ou comportamento resultante de um procedimento algorítmico. Distingui-se operação de método. Operação é algo invocado por um objeto, tal qual um procedimento de chamada, enquanto que um método é um corpo de procedimentos ou a implementação de uma operação.

Linguagens de programação têm suas próprias convenções de nome. Em C^{++} , operações são chamadas de *funções*, enquanto no *Smalltalk* as operações são chamadas de *métodos*. A C^{++} também faz uso do termo “*membros de uma classe*” para referir-se a operações e métodos dessa classe. *Operações* são executadas sempre que um objeto recebe uma *mensagem* de outro objeto. As *operações* estão relacionadas aos verbos.

Polimorfismo

Significa que uma mesma operação pode atuar de diversos modos em classes diferentes. Como um operador baseado em objetos é polimórfico, pode haver mais de um método para sua implementação. Polimorfismo é uma característica de um elemento que pode tomar várias formas.

Encapsulamento

Todas as operações necessárias devem ficar dentro do domínio da entidade (objeto ou classe). O encapsulamento é importante porque, caso modificarmos uma operação, por exemplo, trocar um algoritmo, nada mais será mudado. A única forma de comunicação entre objetos numa orientação a objetos é através da interface. Encapsulamento é o empacotamento de dados/atributos e de todas as operações sobre estes atributos.

Como já citado anteriormente, a comunicação entre objetos é feita através de *mensagens*. Por meio de uma *mensagem*, um objeto *chama* uma operação e outro objeto a *realiza* na forma de cliente/servidor. Cada objeto pode ser cliente ou servidor. Como cliente, precisa de informações, de dados, de algum valor e *chama* a operação do servidor. Como servidor, fornece as informações, ou o serviço, para o cliente. Um objeto tem o serviço e o outro utiliza este serviço, ou consulta este serviço.

Herança

Herança é o compartilhamento de atributos e operações entre classes numa relação hierárquica, de subclasses e superclasses. Gera-se classes a partir de classes já existentes. Uma classe pode ser definida de forma abrangente e depois ser refinada em sucessivas subclasses mais definidas e específicas. Cada subclasse incorpora ou herda, todas as propriedades de sua superclasse e acrescenta suas próprias e exclusivas características (atributos e operações). As propriedades da superclasse não são repetidas em cada subclasse.

A herança pode ser simples ou múltipla. Na herança simples, tem-se uma subdivisão de tipos como a classe *Veículos* nas subclasses *Veículos Automotores*, *Veículos Eólicos*, *Veículos Aquáticos*, etc. Na herança múltipla, uma ou mais classes podem herdar propriedades de mais de uma classe. Com o recurso da herança múltipla pode-se fazer com que uma entidade herde atributos de dois ou mais tipos de superclasse ancestrais.

A capacidade de identificar propriedades comuns a várias subclasses de uma superclasse comum e de fazê-las herdar as propriedades de sua superclasse pode reduzir substancialmente as

repetições nos projetos e programas, sendo uma das principais vantagens dos sistemas orientados a objetos.

Associação

É uma relação que descreve um conjunto de vínculos entre elementos de um modelo. Quando duas classes, ou mesmo uma classe consigo própria, apresenta interdependência onde determinado objeto de uma delas origina ou se associa a um ou mais objetos da outra, diz-se que elas apresentam uma associação.

Uma associação pode apresentar informações diversas. Algumas mais importantes e utilizadas neste trabalho são: multiplicidade, agregação e generalização/especialização

Agregação simples

É uma forma especial de associação utilizada para mostrar que um tipo de objeto é composto, pelo menos em parte, de outro objeto em uma relação de todo/parte, por exemplo, uma máquina industrial que é composta por vários conjuntos, subconjuntos e peças. Indica semanticamente que o objeto “PEÇA” é um agregado do objeto “CONJUNTO” e que a vida daquele é dependente deste. Ver Figura 2.8.

Agregação recursiva

Um agregado recursivo contém, direta ou indiretamente, um objeto do mesmo tipo do agregador. A quantidade de níveis possível é ilimitada. Por exemplo, para representar os vários níveis de conjuntos e subconjuntos que compõem uma máquina industrial, é necessária uma agregação recursiva, como a mostrada na Figura 2.8.

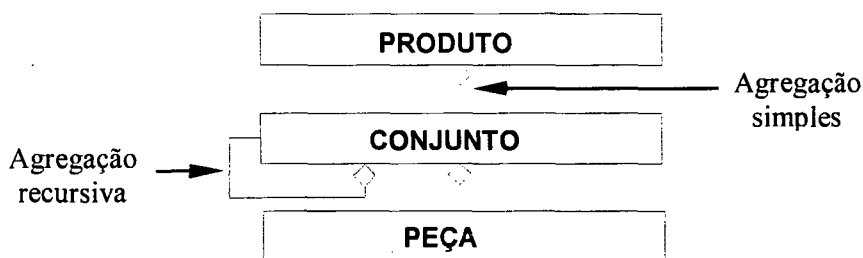


Figura 2.8 – Representação das agregações simples e recursiva.

Multiplicidade

Também chamada de cardinalidade, especifica, por exemplo, em quantas companhias uma pessoa pode trabalhar, quantos dependentes pode ter um indivíduo, etc., correspondendo a

noção de obrigatório, opcional, um-para-muitos (1:n), muitos-para-muitos (n:m), pelo menos 1 (+1), similar ao enfoque entidade e relacionamento. Um exemplo é mostrado na Figura 3.12.

2.4.2 - Unified Modeling Language - UML

A *UML*, segundo *FURLAN* [41] é uma linguagem orientada a objeto, uma linguagem padrão para especificar, visualizar, documentar e construir objetos reais de um sistema e pode ser utilizada com todos seus processos ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento destes objetos reais e através de diferentes tecnologias de implementação. A *UML*, nasceu da fusão de várias técnicas anteriormente utilizadas, que foram: a *BOOCK* (de Grady Boock - 1994/1995), a *OMT* - Object Modeling Technique (de James Rumbaugh - 1991/1996), *OOSE* – Object-Oriented Software Engineering (de Ivar Jacobson, 1994/1995), a *SHLAER/MELLOR* (de Sally Shlaer e Steve Mellor, 1989/1997), a *COAD/YOURDON* (de Peter Coad e Ed Yourdon, 1995), a *MARTIN/ODEIL* (de James Martin e Jim Odeil, 1994/1996) e a *EMBLEY/KURTZ* (da Universidade de Brigham Young). Atualmente (1997) aprovada pela *OMG* (Object Management Group), [41]. A *UML* é utilizada para:

- (1) Mostrar fronteiras de um sistema e suas funções utilizando atores e estudo de casos;
- (2) Ilustrar a realização de estudo de casos com diagramas de interação;
- (3) Representar uma estrutura estática de um sistema utilizando diagramas de classes;
- (4) Modelar o comportamento de objetos com diagramas de transição de estado;
- (5) Revelar a arquitetura de implementação física com diagramas de componentes.

2.4.3 - Base de dados orientada a objetos

Uma base de dados estruturada com os conceitos de orientação a objetos, possibilitará a criação de um ambiente favorável à engenharia simultânea. Neste contexto, uma coleção de dados é quase sempre referida como o banco de dados propriamente dito, que contém informações sobre um determinado assunto. Por sua vez, um sistema gerenciador de bancos de dados relacionais (*RDBMS*) tem por objetivo criar um ambiente adequado para armazenar, retirar e manipular informações em uma estrutura típica, como a de uma área de projetos industriais.

Em contrapartida, estruturas específicas de dados podem ser desenvolvidas dentro de um banco de dados para o gerenciamento e inserção de dados que, organizadamente dispostos, servem para o armazenamento de informações fundamentais para o projeto de sistemas mecânicos. A Figura 2.9, mostra a evolução proposta para o mapeamento das estruturas orientadas a objetos voltadas ao projeto de peças, via banco de banco de dados relacional, na elaboração da base “*Modelamento de Dados para o Projeto de Peças – MDPP*”.

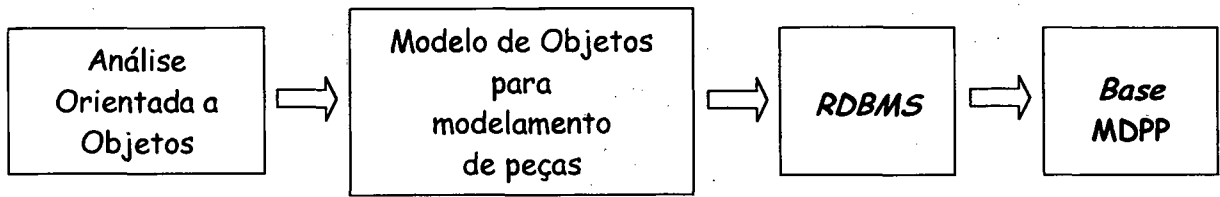


Figura 2.9 – Fluxo de desenvolvimento e implementação das estruturas de dados.

2.5 - Modelos de produto e peça

Segundo ROSA [94], a visão de modelos do processo de processo de produto é desenvolvida com base em que a estruturação adequada de um certo tipo de modelo do produto vai permitir que o produto seja descrito, sendo melhor compreendido e melhor avaliado, quando do desenvolvimento de um projeto. Isto produz um efeito imediato sobre a qualidade do projeto do produto. A Figura 2.10, representa a visão de modelos apresentando os principais aspectos teóricos e práticos relacionados ao desenvolvimento do processo de projeto através de um conjunto de modelos que representam diferentes graus de detalhamento com diferentes tipos de informações sobre o produto. O modelo geométrico do produto deve ser constituído a partir do modelo de peças.

A abordagem do processo de projeto de produto por modelos é diferenciada em relação aos procedimentos tradicionais de projeto pela ênfase atribuída às etapas de projeto funcional, conceitual, preliminar e detalhado das peças que compõem o produto.

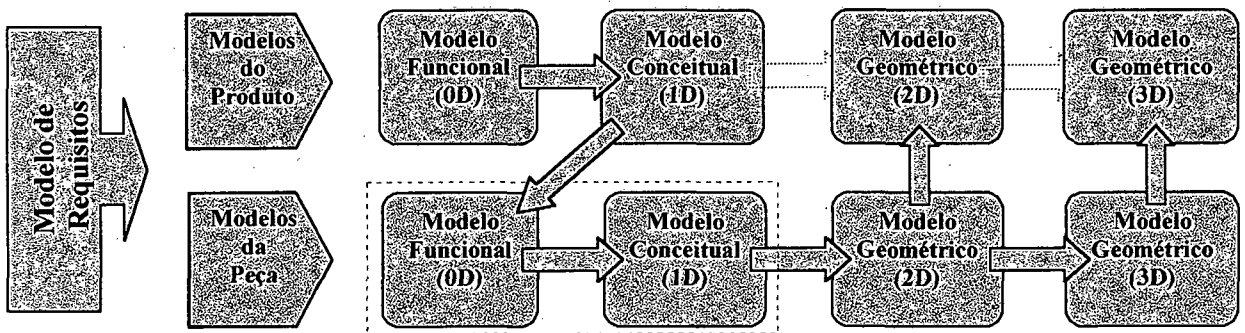


Figura 2.10 – Fluxo de desenvolvimento do processo de projeto de produto e peça por modelos, [94].

Modelo dos requisitos do produto

Define o que o produto deve ser. Deve conter uma definição clara sobre a funcionalidade pretendida para o produto e as envoltórias a serem respeitadas quanto a aspectos de custos, desempenho, facilidade de uso, ambiente de trabalho, vida esperada, mercado potencial, volume de produção, segurança, manutenção, etc.

Modelo funcional do produto (OD)

Contém a estrutura funcional do produto. Uma hierarquia de funções interdependentes, que realizarão a função global desejada. O modelo funcional, por apenas descrever o produto, é associado a uma informação não dimensional do produto, em que na analogia com a descrição geométrica é representado por *OD*.

Pode-se descrevê-lo graficamente por um organograma aberto, cujos quadros representam as funções que se inter-relacionam de maneira a formarem uma grade única. Considera-se todo o sistema como uma função global, com uma entrada e uma saída desejáveis que posteriormente decompõe-se em várias funções parciais interrelacionadas. Cada atividade por si, poderá ser então decomposta gradativamente até que não seja mais possível a sua decomposição. A Figura 2.11, mostra parte de um modelo funcional de produto com seus inter-relacionamentos, onde *FP11*, ..., *FP15*, representam funções parciais quaisquer.

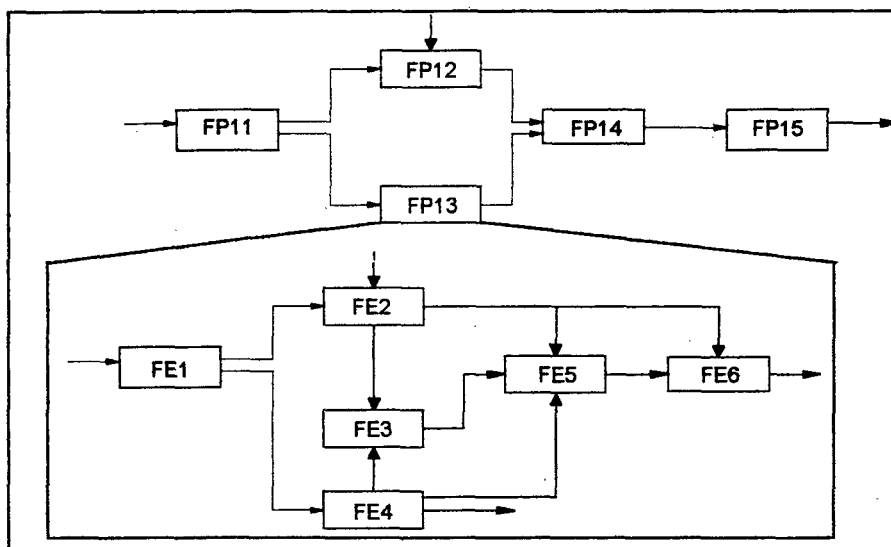


Figura 2.11 – Representação do inter-relacionamento funcional de um produto, [36].

Modelo conceitual do produto (1D)

São esboços das características de cada uma das soluções alternativas que foram propostas. Aqui, há a necessidade da adoção de métodos e critérios de avaliação das soluções alternativas. Estes critérios devem se referir-se ao modelo de requisitos, que vai dar a direção na qual o desenvolvimento do produto deve seguir, isto é, que critérios adotar para comparar as soluções alternativas.

A avaliação das alternativas deve ser feita com base num método de avaliação para comparação entre as possíveis soluções. Para a aplicação do método de avaliação é necessário desenvolver um correspondente modelo de análise, para cada solução alternativa a ser avaliada.

Modelo funcional da peça (0D)

Ao buscar-se montar um “lay-out” do produto, informações geométricas a respeito do produto, são essenciais no projeto funcional e posteriormente o conceitual das peças que compõem as soluções elementares dos módulos realizáveis do produto. A Figura 2.12, mostra uma visão geral dos componentes de uma estrutura funcional e conceitual de produto e peça

Desta maneira, para dar-se continuidade ao processo de projeto, a definição geométrica das diferentes peças é de importância fundamental. Assim, o enfoque passa a ser agora não sobre o produto, mas sim sobre cada uma das diferentes peças que deverão compor este produto. Este enfoque sobre cada uma das diferentes peças deve iniciar sobre qual a função que a peça deve desempenhar na concepção adotada para o produto no projeto conceitual.

Estas peças devem suprir uma dada função, de modo que o conjunto de peças desempenhe a função elementar desejada a nível do produto, Figura 2.12.

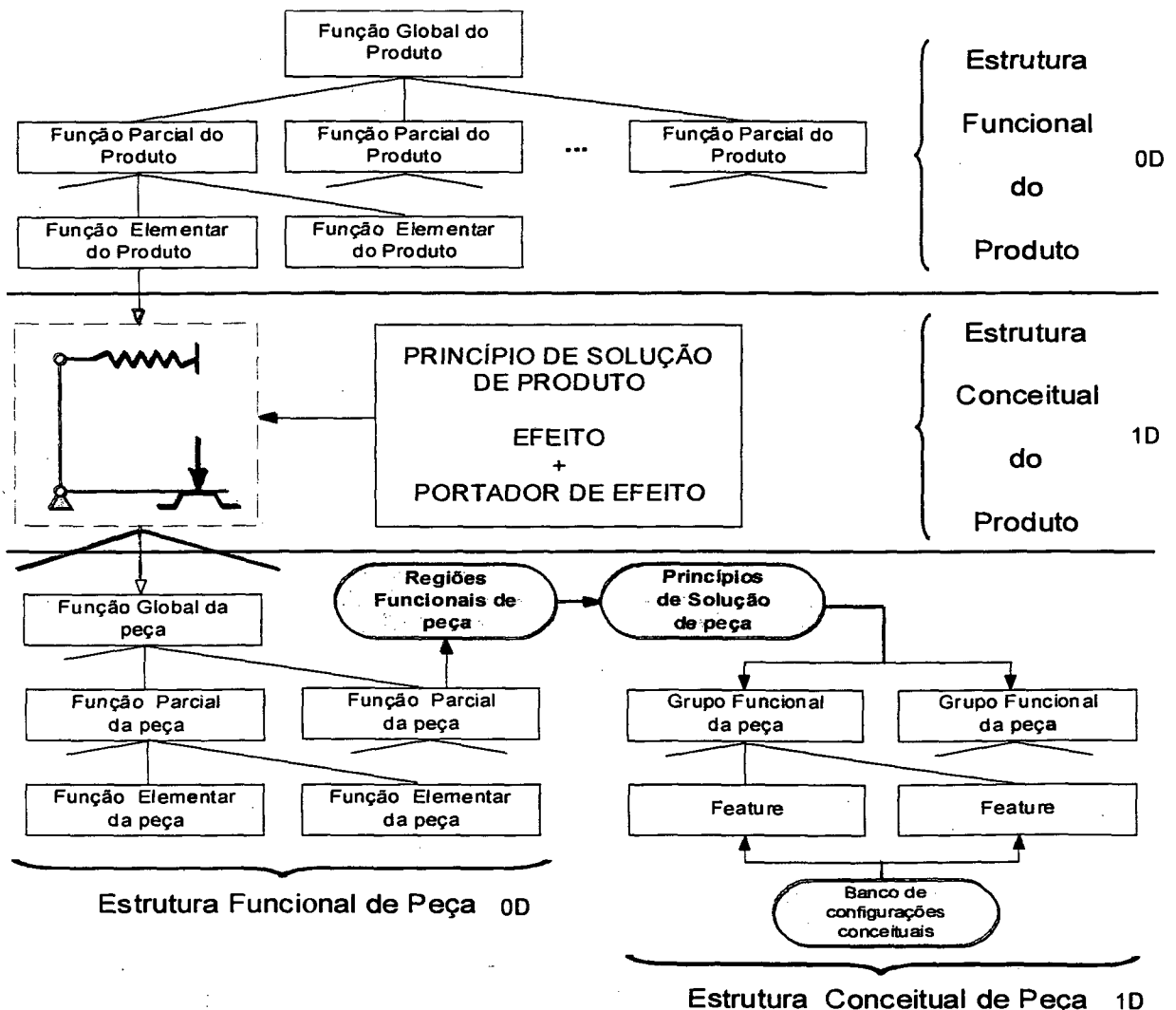


Figura 2.12 – Projeto conceitual do produto gera a função global da peça, [94], adaptada da [13].

Modelo conceitual da peça (1D)

Definida a função que cada peça deve desempenhar, inicia-se o processo de concepção da peça, pois o projeto preliminar do produto é desenvolvido a partir do “*lay-out*” deste produto, com o posicionamento relativo entre as peças e um esboço de sua geometria, que vai progressivamente sendo refinado. Este refinamento corresponde à definição geométrica da peça.

Desta forma deve-se conceber a peça como um volume de material que deve desempenhar a função desejada. Ocorre que para desempenhar a função desejada, algumas funções mais simples deverão ser realizadas por certas regiões do material da peça, ou seja, cada região da peça vai existir para desempenhar uma função que no conjunto fornece a *função global da peça*. Assim, a idéia de projeto conceitual volta a ser necessária, mas sendo considerado agora sobre cada peça e não sobre o produto, Figura 2.13.



Figura 2.13 – Esboço conceitual da solução adotada e modelo funcional 0D/1D da alavanca, com a definição das regiões funcionais da peça e seu posicionamento relativo no espaço, [94].

Nesta figura, as funções $F1$ e $F3$ correspondem à fixação da mola e da articulação, enquanto que $F5$ e $F6$ são relacionadas com a aplicação da carga e de contato com o apoio. As funções $F2$ e $F4$ realizam a conexão física entre as três regiões responsáveis por $F1$, $F3$, $F5$ e $F6$.

Modelo geométrico da peça (2D)

Usando-se a pouca informação disponível gerada no projeto conceitual de uma maneira compatível com as restrições, em geral de “*layout*” e cinemáticas, para alocar no espaço as funções das peças, busca-se definir a posição relativa dos grupos funcionais nas regiões funcionais da peça. A definição da geometria da peça faz uso das funcionalidades locais, em que uma solução geométrica para grupos funcionais definidos na peça, é pesquisada para atender à necessidade funcional. Desta maneira o aspecto funcional guia a escolha da forma. A definição completa da geometria passará por três fases:

- Determinação da *topologia* da região funcional em análise.
- Definição das *formas geométricas* associadas à topologia estabelecida acima.
- Determinação das *dimensões* de cada detalhe geométrico.

A Figura 2.14, representa a busca das dimensões para os detalhes da peça, onde deve-se usar as restrições funcionais e os aspectos de rigidez e de resistência como verificação, exceto nos casos em que estes são funcionais.

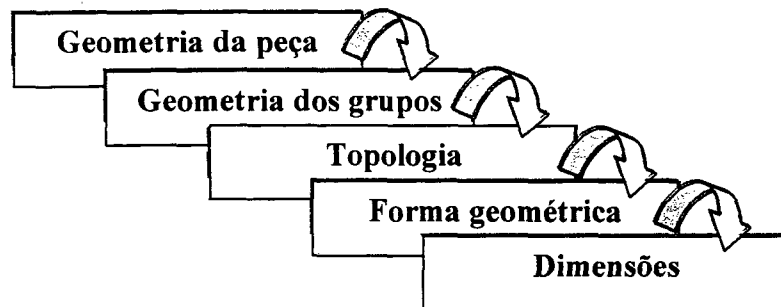


Figura 2.14 – Decomposição da geometria da peça na geometria dos grupos funcionais, que por sua vez são formados pelas informações de topologia, forma e dimensões.

As dimensões que definem a peça de forma unívoca devem ser obtidas após a determinação da forma geométrica, que tem como ponto de partida a função a ser realizada pelo grupo funcional, a nível de região da peça e pelas “*features*”, a nível de funções locais. Estas dimensões são determinadas por quatro aspectos principais [15]:

- (1) Dimensões definidas pelo “*lay-out*” do produto ou conjunto em estudo. A experiência do autor mostra que recaem neste caso, 50% das dimensões dos casos práticos de processos tradicionais de projeto de produtos.
- (2) Dimensões definidas por aspectos cinemáticos do problema. Inclui aproximadamente 30% das dimensões.
- (3) Dimensões definidas por aspectos de rigidez e de resistência. Compreende 20% das dimensões.
- (4) Uma pequena porção de dimensões são ditadas por normas ou procedimentos da empresa, muitas vezes ligadas a detalhes da geometria, não essenciais no projeto preliminar. Neste caso enquadram-se os chanfros, as concordâncias, os recartilhados, etc.

Assim, a geometria adequada ao cumprimento da função global da peça é determinada, respeitando-se as limitações e restrições impostas pelos quatro aspectos citados. A junção das informações de topologia e de forma com o contexto relacionado com o tipo de produto ou peça, cria a função que está associada a esta solução de geometria, Figura 2.15 e 2.16.

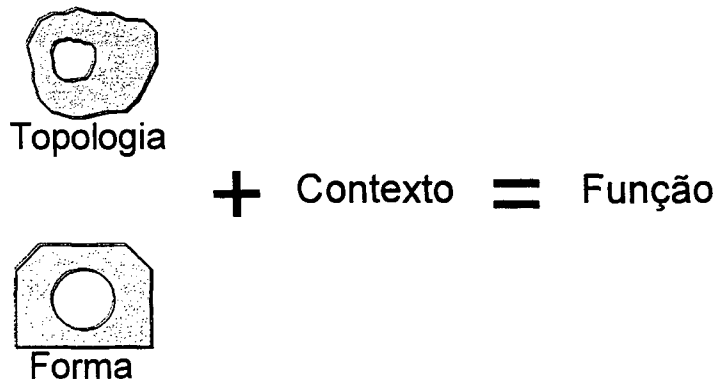


Figura 2.15 – Informações de topologia, forma e o contexto do tipo de produto ou peça, estabelecem as condições para que a função seja executada na região funcional, [94].

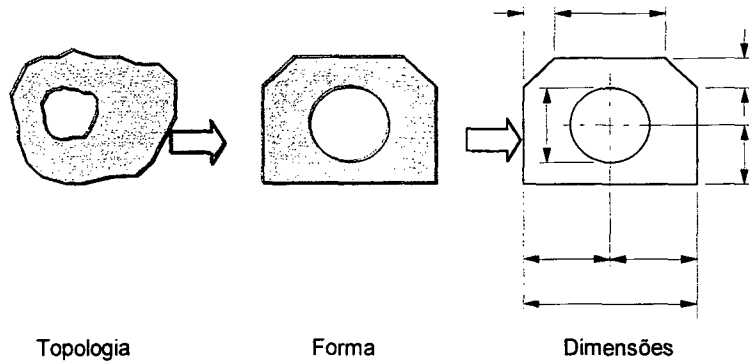


Figura 2.16 – Definição progressiva de geometria de um grupo funcional a partir da topologia desta região, agregando forma e dimensões, [94].

Modelo geométrico do produto (2D)

Neste modelo a estrutura geométrica do produto é determinada com base no modelo geométrico (2D) das peças, ou seja, geometricamente, todas as peças devem estar definidas. Um exemplo de definição geométrica é mostrado na Figura 2.17

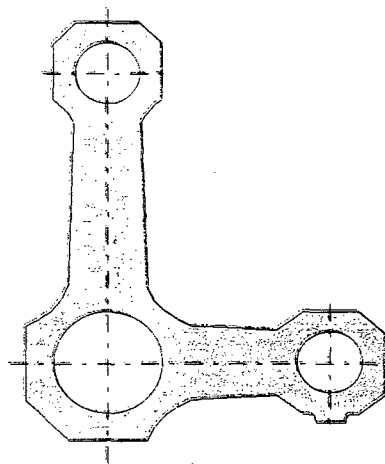


Figura 2.17 – Geometria da alavanca esquematizada na Figura 2.12, com a definição das soluções geométricas para cada região funcional, [94].

Modelo geométrico da peça (3D)

Inicia-se o detalhamento de peças e conjuntos a nível de composição volumétrica, ou seja, uma visão tridimensional de todas as peças e também de suas montagens com outras peças, ou montagens parciais, deve ser determinada. Cada desenho deve conter as informações necessárias a manufatura da peça, Figuras 2.18 e 2.19.

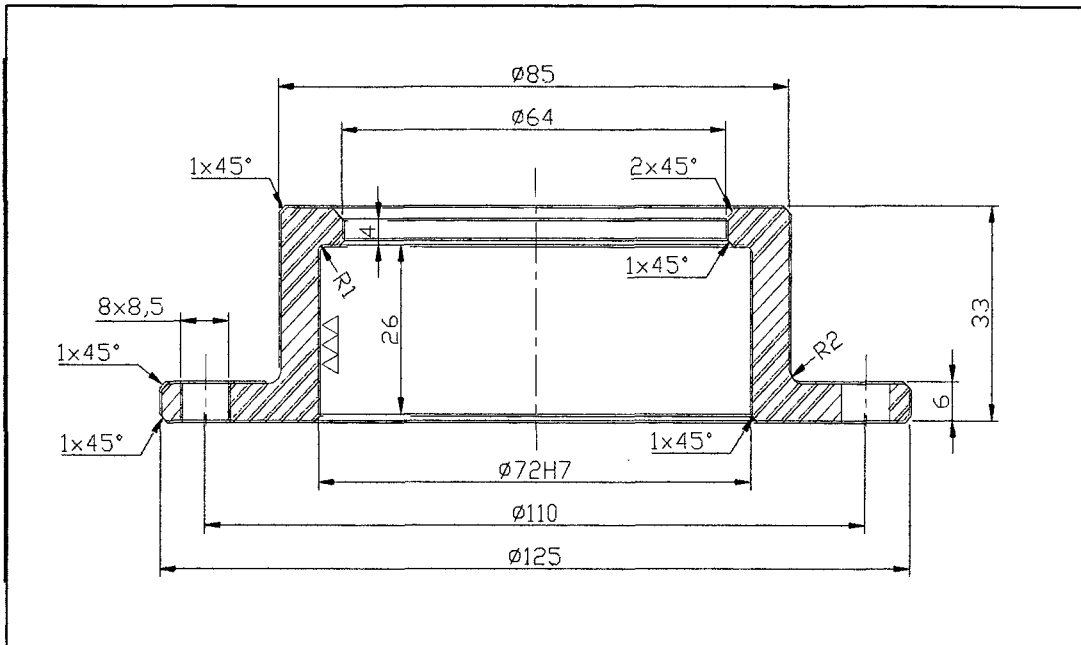


Figura 2.18 – Peça em 2D desenhada em CAD com dimensões e informações de usinagem.

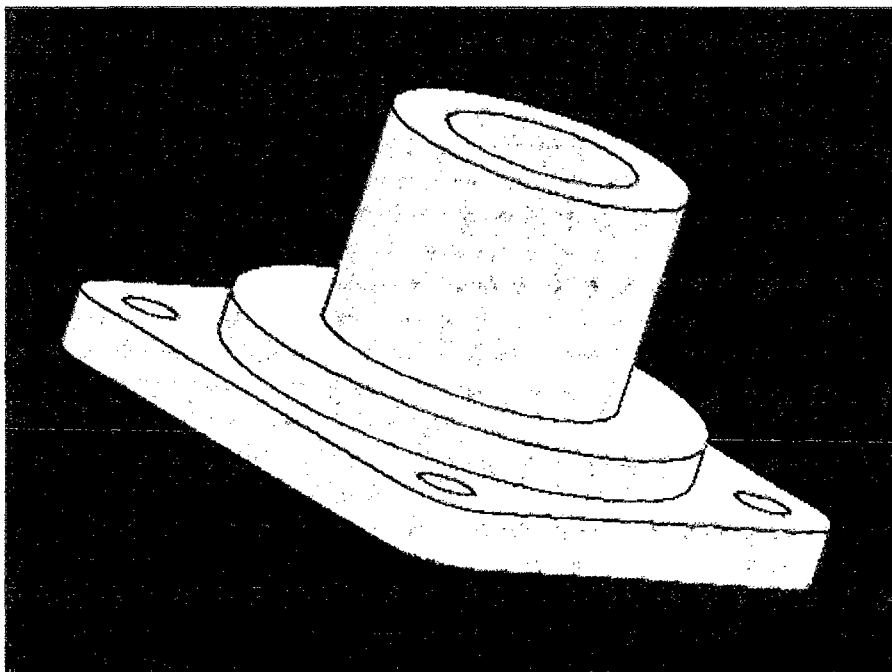


Figura 2.19 – Peça em 3D modelada em CAD com a definição da solução geométrica total. Figura gerada no SolidWorks TM 98 da SolidWorks Corporation, 1998.

Detalhes e informações sobre acabamentos superficiais, tolerâncias dimensionais, tratamento térmicos, são informações típicas que devem ser descritas em um desenho para manufatura e portanto, devem estar aparentes para tal.

Modelo geométrico do produto (3D)

Sob este modelo é feito o detalhamento das características gerais de cada conjunto onde são anexadas informações de montagem a nível de conjuntos e do produto. Figura 2.20.



Figura 2.20 – Modelamento em 3D da seqüência de montagem de um conjunto mecânico. Figura gerada no *MicroStation* da Bentley, 1999 [108].

2.6 - Considerações

O estado da arte anteriormente apresentado não traduz de forma exaustiva todo o desenvolvimento ora executado nas áreas de processo de projeto de produto e modelamento de dados. Buscou-se evidenciar aquelas propostas que de uma forma ampla são consideradas as mais aplicáveis dentro de seus respectivos contextos. Como o objetivo deste trabalho baseia-se na elaboração de uma base de dados para a representação estática de produto, seus conjuntos, subconjuntos e peças, um modelo para a execução de seu projeto funcional e conceitual é proposto adotando-se explicitamente, para o processo de projeto de produto, a metodologia

básica definida pela *VDI 2221* e para o modelamento de dados, o modelo orientado a objetos da *UML*.

As contribuições das propostas de *ULLMAN* e *JOHNSON*, estão implícitas nas definições das estruturas funcionais e conceituais de peça. A de *ULLMAN* destaca o elemento “função global de cada peça”, como o objetivo do projeto simultâneo ou concorrente, utilizado na realização da estrutura funcional de peça, enquanto que a de *JOHNSON* evidencia os parâmetros “necessidade funcional” e “efeitos indesejáveis”, que integram os *critérios* e *restrições* que devem ser considerados quando da escolha dos *princípios de solução de peça (PSp)* na elaboração da estrutura conceitual de peça.

CAPÍTULO 3

Proposta de estrutura de modelamento

3.1 - Introdução

No Capítulo 2 verificou-se, em linhas gerais, que as etapas de projeto funcional e conceitual do processo de projeto de produto podem ser desenvolvidas e representadas através de modelos. Foi feito um paralelo entre os modelos de produto e aqueles específicos relacionados somente à peça, inerentes à cada peça que compõe o produto, foi proposto que, após o projeto conceitual do produto, deve-se executar o projeto conceitual específico de suas peças cujas informações podem ser representadas de forma estruturada através de atributos e operações visando a disponibilização destas informações ao processo de projeto de produto como um todo.

Neste capítulo introduz-se a estrutura de modelamento proposta para a execução da base de dados de projeto de peças e a representação de seus respectivos modelos orientados a objetos, de acordo com o diagrama de fluxo das atividades, mostrado na Figura 1.1 do Capítulo 1.

Inicialmente elabora-se o modelo de caracterização, via orientação a objetos, do projeto conceitual dentro do processo de projeto de produto, já que sua estrutura é conhecida. Em seguida, desenvolve-se as estruturas hierárquica, funcional e conceitual específica para as peças e seus respectivos modelos orientados a objetos. Com os modelos de objetos de produto e peça, são feitos seus mapeamentos no banco de dados relacional, incluindo-se o mapeamento de seus relacionamentos.

A estrutura de modelamento fica desta forma, preparada para a inserção de dados. Os estudos de casos são escolhidos e preparados em paralelo e seus dados inseridos na mesma para a implementação e sua avaliação, no Capítulo 5.

Ao final do presente capítulo, faz-se algumas considerações quanto à elaboração das estruturas de modelamento desenvolvidas, em relação a seus pontos positivos e dificuldades encontradas.

3.2 - A informação na base de modelamento de peças

A informação requerida em um modelo de engenharia simultânea, como deve constituir-se atualmente em um ambiente de projeto de produtos industriais, pode ser analisada especificamente para cada caso em particular, uma vez que dependem das atividades específicas

envolvidas em sua implementação. Durante o ciclo de vida do produto muitos tipos diferentes de informações são manipuladas em cada atividade usando sua própria forma de armazenamento e estratégia para sua representação, *AHMADI & NAYAK* [95].

Projeto, manufatura, montagem e *marketing*, são fases do desenvolvimento de produto onde as informações do produto vão sendo definidas e utilizadas para gerar o produto final. Durante esse processo outras informações são definidas e agregadas à definição do produto de forma que possam ser utilizadas como elemento de integração nas interfaces que compõem um ambiente simultâneo ou concorrente de projeto. Desta forma, é possível dizer-se que a definição de produto é o principal conceito baseado no qual qualquer outra informação industrial está relacionada.

O projeto conceitual da peça deve desencadear procedimentos para a execução da mesma nas fases posteriores do processo de projeto de produto. O projeto preliminar do produto é em síntese, o projeto preliminar de cada peça que o compõe, a menos das montagens das mesmas relacionadas através de suas interfaces .

A determinação geométrica das peças e dos detalhes relacionados às suas interfaces com outras peças para formarem os sistemas mecânicos, mesmo a nível 2D, deve ser executada com base nas informações funcionais e conceituais disponibilizadas numa estrutura de dados hierárquica elaborada antes do início de seu projeto preliminar.

As constatações que se tem são de que, quanto mais sistematizadas forem as informações no âmbito do projeto conceitual e preliminar de um produto, mais rápido será sua definição, reduzindo o custo destas etapas do projeto. A etapa de projeto conceitual de um produto, que inclui o seu projeto funcional, tem como responsabilidade uma grande porcentagem do custo final e bem por isso é a etapa mais importante de seu ciclo de vida, *BACK & FORCELLINI* [49].

A proposta deste trabalho inclui que todas as peças de cada mecanismo integrante do produto, tenha suas estruturas funcionais e conceituais determinadas especificamente, de forma que possa-se ter claro e visualizar a estrutura funcional geral de cada conjunto. Estas estruturas gerais de cada conjunto serão formadas pelas estruturas funcionais particulares ou específicas de cada uma das peças que os compõem. As estruturas funcionais dos conjuntos, finalmente, irão compor a estrutura funcional macro do produto.

Por outro lado, em cada estrutura funcional de peça, não apenas cada uma das peças possui restrições funcionais em separado, como também as interfaces entre elas têm suas próprias restrições, que devem ser consideradas para cada par ou conjunto de peças com interface física. São restrições funcionais e de “*layout*” de grande importância e que interferem

sobremaneira no estabelecimento das estruturas conceitual e preliminar e também na forma e material da peça.

Todas essas informações devem ser processadas de forma sistemática, devendo compor o modelo de representação desejado, sendo determinantes no caso do processo de projeto específico das peças de um produto ou sistema mecânico.

Ao sistematizar as informações provenientes da estrutura funcional e estrutura conceitual do projeto conceitual do produto, organiza-se estas informações de tal forma que possam ser utilizadas e facilmente recuperadas para a geração de novas informações, em detrimento do desenvolvimento de um determinado projeto.

Para organizar estas informações, a base de dados para modelamento de peças, apoiada na metodologia de orientação a objetos, permite a operacionalidade necessária às rotinas de projeto. Considerando-se que a base de conhecimento da orientação a objetos é compatível com o nível de modelamento e representação de dados e informações desejados, resolveu-se estruturar a base de dados com modelos de classes de objetos. Buscou-se um banco de dados comercial que oferecesse interfaces acessíveis de fácil manipulação e controle.

Assim, a base de dados desenvolvida e mapeada na plataforma de um banco de dados relacional através de modelos de classes de objetos *UML*, é alicerçada nas estruturas hierárquica, funcional e conceitual de produto e peça. Sob tais aspectos, é elaborada a definição proposta da estrutura funcional e conceitual da peça, com base na estrutura funcional e conceitual de produto.

3.3 - Conceitos aplicados ao modelo proposto

O desenvolvimento das estruturas funcional e conceitual de peça, deu origem a alguns novos conceitos. Estes conceitos são agora apresentados, com base num exemplo prático de uma peça rotacional, um *eixo de transmissão intermediária*.

3.3.1 - Conceitos voltados à estrutura funcional da peça

Fazendo-se uma analogia com os conceitos da estrutura funcional de produto, procurou-se utilizar uma nomenclatura que, por similaridade, pudesse traduzir a intenção que se teve de trazer para as estruturas de peça a sistemática das estruturas usuais utilizadas na definição de produto. Assim, procurou-se inicialmente conceituar a função macro de uma peça como sendo *função global da peça* e representá-la por *FGp*. Da mesma forma, acontecendo com a nomenclatura e representação da *função parcial da peça* e *função elementar da peça*, que são representadas pelas siglas *FPP* e *FEP*, respectivamente.

Função global da peça - FGp

Uma peça, sendo constituída, a priori, por um único volume de material, possui, na grande maioria dos casos, particularidades ou configurações geométricas diferenciadas, alocadas neste volume de material, que determinem em conjunto uma função macro que a peça deve desempenhar no corpo do conjunto mecânico do qual faz parte.

Como meio de implementar novos procedimentos, cada peça deve ser submetida a uma análise funcional particular para o desenvolvimento de sua estrutura funcional e posteriormente, da conceitual. Portanto, cada uma delas tem uma função global.

A função global de uma peça é reconhecida, como uma oração que expressa o que deve ser executado por essa peça, descrita por um verbo mais um substantivo. Um estudo sobre gramática para análise funcional de peças é encontrado na referência LINHARES [104].

Em síntese, a função global de uma peça, é a necessidade funcional que o conjunto mecânico do qual faz parte, tem pela mesma. A função global de uma peça é uma caixa preta que define em palavras “como” sua entrada será transformada na saída desejada, obedecendo as interfaces de entrada e saída, nesta ordem. Um exemplo de *função global de peça* é mostrado na peça exemplo da Figura 3.1.

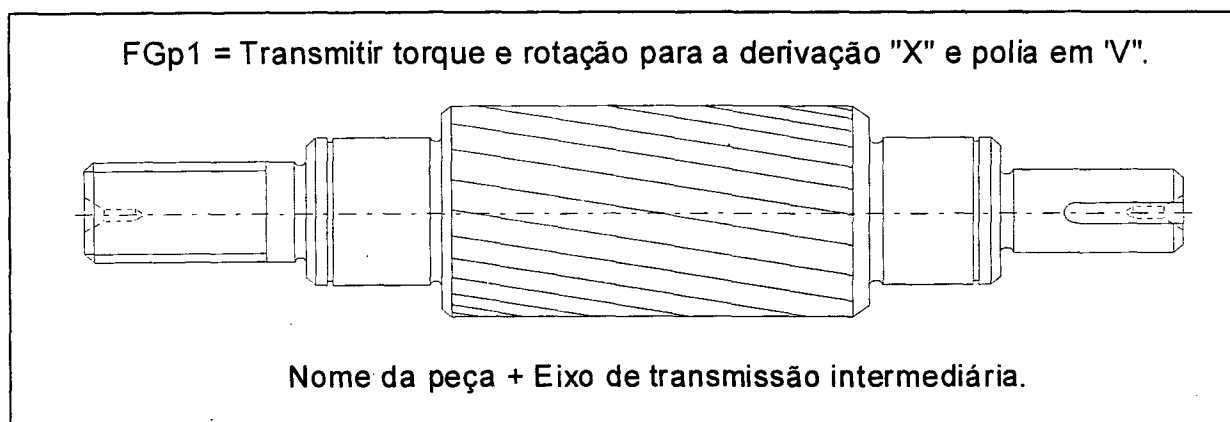


Figura 3.1 – Função global FGp1, da peça exemplo.

Função parcial da peça - FPP

As particularidades de uma peça constituem-se como regiões no volume de seu material que possuem funções distintas, mas que podem repetir-se, tanto numa mesma peça como em peças diferentes. Assim caracterizam-se as *funções parciais da peça*, que distinguem-se por serem as componentes funcionais principais de uma peça. O conjunto das ações realizadas por estas funções deve resultar na realização da *função global da peça*. As *funções parciais da peça* estão implícitas no nome da função global que compõem.

As *funções parciais da peça* são executadas pelos *grupos funcionais da peça*, nas *regiões funcionais da peça*, por meio dos *princípios de solução de peça*, que serão definidos adiante. A Figura 3.2, mostra realizadores típicos de funções parciais relacionadas à peça exemplo.

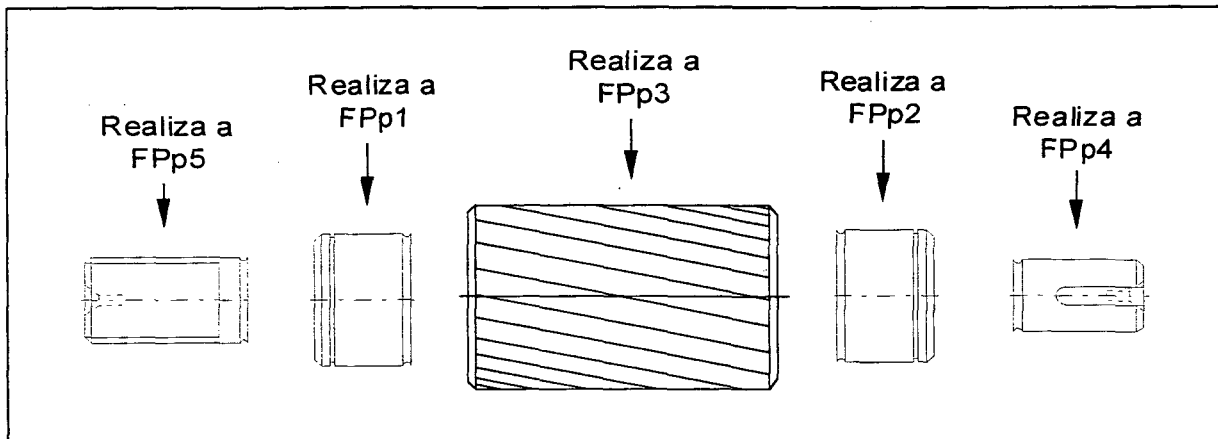


Figura 3.2 – Peça exemplo com as partes da peça que realizam as funções parciais de Fp1 a Fp5 indicadas.

Na Tabela 3.1, tem-se a identificação das funções parciais e suas correspondentes siglas com a nomenclatura utilizada no trabalho. Esta tabela representa a classe *Classe_FPp* da base de dados *MDPP_Eixo_Exemplo*.

Tabela 3.1 – Descrição das funções parciais referentes à Figura 3.2.

Cód.FPp	Sigla FPp	Cód.FGp	Nome.FPp
1	FPp1	1	Apoiar eixo (radialmente e axialmente) - Lado esquerdo
2	FPp2	1	Apoiar eixo (radialmente e axialmente)) - Lado direito
3	FPp3	1	Transmitir torque e rotação para a derivação "X"
4	FPp4	1	Receber torque e rotação da transmissão secundária
5	FPp5	1	Transmitir torque e rotação para polia em "V"

Função elementar da peça - FEp

A *função parcial da peça* depende de outras funções mais básicas. A estas funções mais básicas deu-se o nome de *funções elementares da peça*. Cada função parcial é composta por pelo menos uma *função elementar*, que são funções mais simples e básicas, sem as quais uma função parcial não se realizaria, ou não seria executada. As *funções elementares da peça* são suportadas pelas “*features*” *funcionais da peça*, que serão definidas posteriormente. Na estrutura funcional da peça uma *função elementar da peça* é relacionada à “*feature*” *funcional*, enquanto que na estrutura conceitual relaciona-se à “*feature*” *conceitual*, aquelas que formarão os *grupos funcionais da peça*.

Funções elementares da peça são funções mais básicas, realizadas por soluções construtivas que compõem os grupos funcionais da peça. Para exemplificar, a Figura 3.3, mostra algumas das funções elementares relacionadas à função parcial *Fp4*.

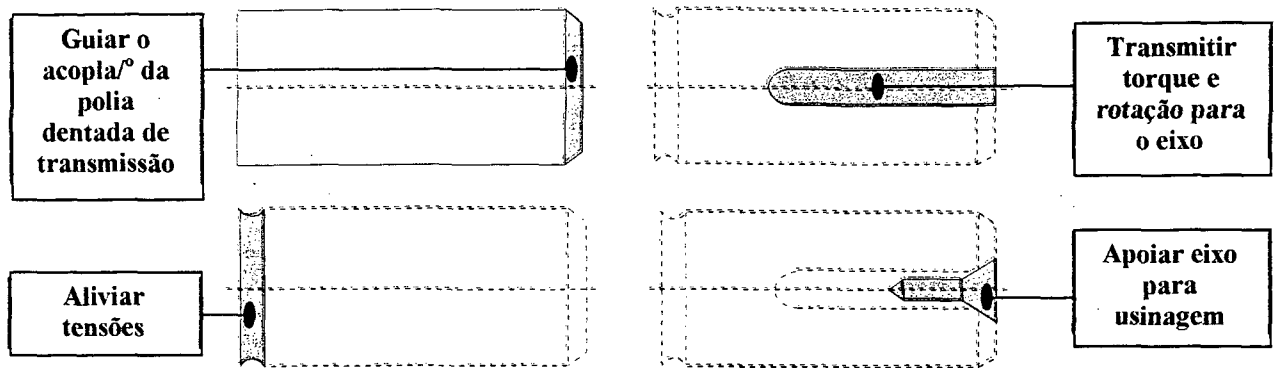


Figura 3.3 – Funções elementares referentes à função parcial *Fp4* da peça exemplo.

Na Tabela 3.2 tem-se a identificação das funções elementares e suas correspondentes siglas com a nomenclatura utilizada no trabalho. Tabela da classe *Classe_FEp* da base de dados *MDPP_Eixo_Exemplo*. Na tabela, (LE) significa lado esquerdo e (LD), lado direito.

Tabela 3.2 – Descrição das funções elementares referentes à Figura 3.2.

Cód.FEp	Sigla.FEp	Cód.FPp	Cód.GFp	Nome.FEp
1	FEp1	1	1	Apoiar mancal (LE).
2	FEp2	1	1	Acoplar facilmente mancal (LE).
3	FEp3	1	1	Aliviar tensões (LE).
4	FEp4	1	1	Fixar mancal axialmente (LE).
5	FEp5	2	2	Apoiar mancal (LD).
6	FEp6	2	2	Acoplar facilmente mancal (LD).
7	FEp7	2	2	Aliviar tensões (LD).
8	FEp8	2	2	Fixar mancal axialmente (LD).
9	FEp9	3	3	Fixar mancal axialmente (LE).
10	FEp10	3	3	Fixar mancal axialmente (LD).
11	FEp11	3	3	Transmitir torque e rotação.
12	FEp12	3	3	Chanfrar engrenamento (LE)
13	FEp13	3	3	Chanfrar engrenamento (LD)
14	FEp14	4	4	Apoiar engrenagem de transmissão.
15	FEp15	4	4	Acoplar engrenagem de transmissão.
16	FEp16	4	4	Aliviar tensões.
17	FEp17	4	4	Transmitir torque e rotação para o eixo.
18	FEp18	4	4	Usinar eixo (LD).
19	FEp19	5	5	Preparar fixação da polia
20	FEp20	5	5	Fixar polia em "V".
21	FEp21	5	5	Acoplar polia em "V".
22	FEp22	5	5	Usinar eixo (LE).

3.3.2 - Conceitos voltados à estrutura conceitual da peça

Após a definição da estrutura funcional da peça tem-se que alocar suas funções no espaço à elas destinado. Este local, de uma forma geral, já foi inicialmente escolhido durante a definição dos portadores de efeito do produto, ou mais especificamente, na estrutura de módulos realizáveis definida para o produto.

Regiões deste espaço disponível, as *regiões funcionais da peça*, devem ser esboçadas e nelas devem ser apontados os *grupos funcionais da peça*. Para tal, é imprescindível a escolha ou criação dos *princípios de solução de peça*, que são as soluções conceituais para cada *grupo funcional da peça*.

Região funcional da peça - RFp

Partindo-se da definição das funções parciais que uma peça deve possuir para desempenhar sua função global, regiões no volume do material da peça devem ser designadas para a escolha de uma possível configuração, ou esboço da forma, que devem ser definidos por princípios físicos de solução para a definição posterior, nas fases de projeto preliminar e detalhado da mesma, da sua forma geométrica adequada. Uma *região funcional de peça* define a posição relativa no espaço disponível, onde deve ser realizada uma determinada *função parcial da peça*.

Nada impede que numa outra região funcional da mesma peça, tenha que ser realizada uma função parcial idêntica à primeira. Não esquecer que a região funcional de peça, assim como os elementos que estão sendo criados para compor as estruturas funcionais e conceituais de produto e de peça, está sendo mapeada como uma classe de objetos e na análise orientada a objetos não existem dois objetos iguais.

A Figura 3.4, mostra uma possível região do espaço ou topologia disponível para a definição das *regiões funcionais da peça* exemplo.

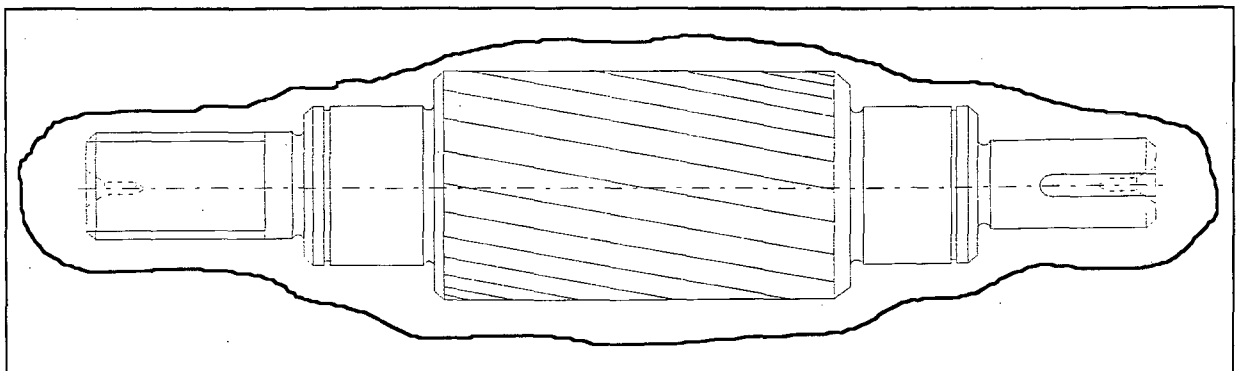


Figura 3.4 – Topologia ou espaço possível para as regiões funcionais da peça exemplo.

O tratamento da *região funcional da peça* como uma classe e não como atributo de *grupo funcional da peça* é dado a importância que tem a definição de uma região funcional durante o projeto da peça. Sendo o espaço possível à realização de uma dada função parcial da peça, é o local em que serão abrigadas todas as funcionalidades elementares daquele setor da peça. Em outras palavras, essas regiões possuem particularidades que devem ser tratadas em separado, principalmente porque será definida com base na análise funcional da peça, realizada anteriormente.

Uma outra questão é em relação a diferenciação entre *função parcial da peça* e *região funcional da peça*. A *função parcial da peça* é uma semântica que busca definir uma necessidade específica que a peça deve suprir, ao passo que a *região funcional da peça* é inerente à topologia, ao espaço permissível da peça, onde uma *função parcial da peça* deve ser realizada por seu correspondente grupo funcional.

A Figura 3.5, mostra as *regiões funcionais da peça* exemplo, separadas propositadamente, para esclarecer a individualidade de cada uma.

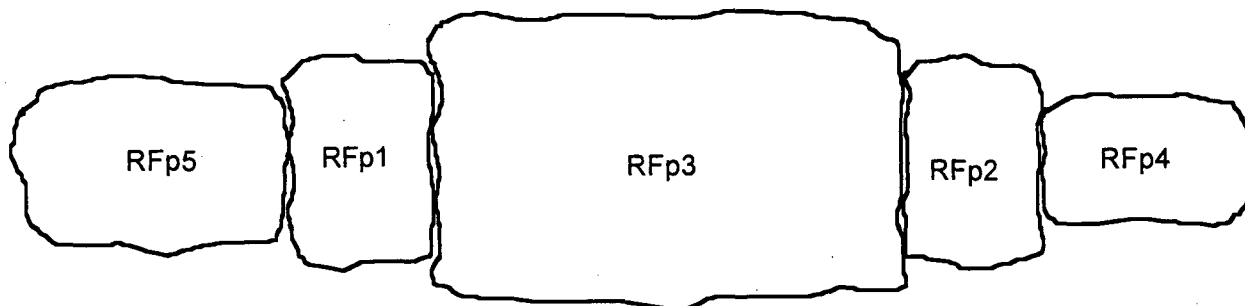


Figura 3.5 – Localização das regiões funcionais da peça exemplo.

Os efeitos decorrentes do posicionamento particular de uma *região funcional da peça*, são refletidos posteriormente no desempenho de *função global da peça*.

A definição das regiões funcionais de uma peça é tarefa que depende de muitas considerações. Tais considerações são baseadas, por um lado, em limitações ou restrições funcionais estritamente ligadas às necessidades funcionais do conjunto ou subconjunto e por outro, em determinados critérios ou normas ditadas pelos requisitos de projeto da peça. É um assunto que necessita ser estudado em maiores detalhes, merecendo uma pesquisa voltada especificamente à transição do modelo funcional para o conceitual da peça.

A Tabela 3.3 mostra o relacionamento entre as *regiões funcionais da peça* e suas respectivas *funções parciais da peça*. Classe *RFp* da base de dados *MDPP_Eixo_Exemplo*

Tabela 3.3 – Regiões funcionais da peça exemplo e suas funções parciais da peça.

Cód.RFp	Nome RFp	Cód.FPp	Sigla	Nome FPp
1	Região de apoio do mancal lado esquerdo.	1	FPp1	Apoiar mancal (radialmente e axialmente)
2	Região de apoio do mancal lado direito.	2	FPp2	Apoiar mancal (radialmente e axialmente)
3	Região de transmissão de torque e rotação para a derivação "X".	3	FPp3	Transmitir torque e rotação para a derivação "X"
4	Região que recebe transmissão de torque e rotação da transmissão secundária.	4	FPp4	Receber torque e rotação da transmissão secundária
5	Região de transmissão de torque e rotação para a polia em "V".	5	FPp5	Transmitir torque e rotação para polia em "V"

Requisito de projeto da peça - RPp

Uma peça deve realizar sua função global atendendo a necessidade funcional imposta pelo conjunto onde está montada. De alguma forma, os requisitos de projeto de produto satisfeitos pelos módulos realizáveis ou conjuntos e subconjuntos do produto devem chegar até as peças que os compõem. Assim refletidos, eles devem compor uma pequena lista que identifica algumas considerações a cerca daquela peça em particular, no âmbito da montagem ou do conjunto que estará sujeita, são os *requisitos de projeto da peça*.

Estando vinculados às necessidades de seu conjunto, os requisitos de projeto de uma peça, remontam à função elementar do produto, ou seja, tanto a *função global da peça*, quanto os *requisitos de projeto da peça*, dependem dos parâmetros adotados para os atributos funcionais e conceituais do produto em sua estrutura conceitual. Este é o principal motivo para ter-se que levar em consideração as restrições levantadas na concepção dos princípios de solução do produto, de tal forma que a peça venha a desempenhar sua função global, quando estiver montada no conjunto ou subconjunto do qual faz parte.

Os requisitos de projeto da peça são atributos funcionais, geométricos e tecnológicos necessários ao cumprimento de sua função global. Nota-se que, como a peça é um elemento isolado, seus requisitos de projeto estão intimamente ligados à sua função global, isto é, a sua continuidade física, ao passo que, no caso de produto, os requisitos de projeto são bem mais amplos, cobrindo uma gama de informações bem maior e relacionados com diferentes módulos do equipamento.

As necessidades do cliente da peça têm uma conotação diferente das necessidades do cliente de uma máquina, por exemplo. O que um determinado mecanismo necessita é que cada

uma de suas peças ou componentes, realizem suas funções (globais) específicas para que, em conjunto, realizem aquela *função elementar do produto*. As necessidades do cliente “conjunto” ou “subconjunto”, são sintetizadas em cada *função global das peças* que o compõem.

A identificação de uma função global de produto específica implica na sua síntese, ou seja, na sua decomposição em funções menores, gerando a estrutura funcional da peça. Nessa análise técnica de projeto, é igualmente necessário identificar-se requisitos geométricos e tecnológicos, sem os quais as funções não terão sentido.

Para tal pode-se subdividir as necessidades do cliente da peça, ou seja, o conjunto em que será montada, em funcionais (explícitas), geométricas e tecnológicas (implícitas). As necessidades funcionais, são semânticas traduzidas por uma sintaxe. As geométricas, traduzem possíveis formas para a realização das necessidades funcionais, enquanto que as tecnológicas especificam detalhes construtivos da peça, necessários à realização de sua função global. Na *função elementar da peça* “fixar mancal axialmente” (necessidade funcional), há a necessidade de um cubo de apoio cilíndrico (necessidade geométrica) e retificado (necessidade tecnológica). Estas últimas estão contidas na primeira, só que de uma implícita.

As necessidades do cliente da peça (conjunto, subconjunto, módulo realizável, etc.) são determinadas respondendo-se à pergunta: *o que o conjunto, princípio de solução ou mecanismo, necessita que a peça faça no âmbito de sua função global ou função elementar do produto?*

Está claro que, desde que a peça cumpra com sua função global, estará atendendo a necessidades particular de seu cliente, o conjunto no qual estará montada.

Princípio de solução da peça - PSp

São os princípios físicos necessários a realização de cada função parcial da peça. Os *princípio de solução da peça* podem ser disponibilizados em bibliotecas de princípios de solução como quer-se desenvolver em futuros trabalhos. A priori, criou-se a classe *Classe_Bibliot_PSp*, que é o lugar no qual serão armazenados os *princípios de solução de peça* que forem sendo criados, com base em procedimentos a serem definidos.

Exemplos de *princípios de solução de peça* são: cubo cilíndrico para apoio de rolamento, uma rosca fina para fixação de flange, um chanfro para manuseio de peças, furo quadrado, rasgo de chaveta plana, chanfro 45⁰, dentes retos, rebaixo reto, rebaixo inclinado, etc.

A resolução ou o processo de solução do projeto conceitual da peça, inicia pelas *funções parciais da peça*, mas considera as *funções elementares da peça* e correspondentes “*features*” *funcionais*” por seu aspecto básico ou celular inerente às suas definições, já que cada *função*

parcial da peça, é formada por uma ou mais *funções elementares da peça*. A escolha de *princípios de solução de peça* deve ser feita considerando-se os critérios determinados pelos *requisitos de projeto da peça* e por restrições de custos, fabricação, montagem, operação, manutenção e descarte.

Os *princípios de solução da peça* são soluções construtivas que permitem a realização das *funções parciais da peça*, considerados na forma dos *grupos funcionais da peça*. A Tabela 3.4, relativa à classe *Classe_Escolha_PSp*, mostra os princípios de solução de peça utilizados na escolha daqueles que definiram posteriormente os *grupos funcionais da peça* exemplo.

Tabela 3.4 – Princípios de solução disponíveis e sua escolha para os grupos funcionais da peça exemplo.

Cód.PSp	Sigla	Nome PSp	Escolha
1	PSp1	Elemento de apoio de mancal de rolamento.	(*)
2	PSp2	Elemento de apoio de mancal de escorregamento.	
3	PSp1	Elemento de apoio de mancal de rolamento.	(*)
4	PSp2	Elemento de apoio de mancal de escorregamento.	
5	PSp3	Transmissão por engrenagem cilíndrica de dentes helicoidais.	(*)
6	PSp4	Transmissão por engrenagem cilíndrica de dentes retos.	
7	PSp5	Transmissão por polia dentada.	
8	PSp6	Transmissão por polia em "V".	
9	PSp7	Transmissão por chaveta plana.	(*)
10	PSp8	Transmissão por chaveta Woodruff.	
11	PSp9	Transmissão por elemento ranhurado.	
12	PSp10	Transmissão por rosca e anel de trava.	
13	PSp11	Transmissão por chaveta plana.	
14	PSp12	Transmissão por chaveta Woodruff.	
15	PSp13	Transmissão por elemento ranhurado.	
16	PSp14	Transmissão por rosca e anel de trava.	(*)

(*) Princípios de solução escolhidos para compor os grupos funcionais da peça exemplo.

Assim, dispondo-se dos requisitos de projeto da peça e de suas funções parciais, inicia-se a resolução do projeto conceitual da peça.

O projeto conceitual da peça se dá pela realização das *funções parciais da peça* através dos *grupos funcionais da peça*. Estes grupos funcionais são constituídos de “*features*” que satisfazem as *funções elementares da peça*. No projeto preliminar da peça, as “*features*” serão desenvolvidas, isto é, passarão de “*features*” *conceituais da peça* à “*features*” *preliminares da peça* e posteriormente, à “*features*” *detalhadas da peça*, no projeto detalhado.

3.3.3 - Conceitos voltados a estrutura hierárquica de peça

Grupo funcional da peça - GFp

Definiu-se o *grupo funcional da peça* como um elemento construtivo que possui uma funcionalidade característica no “corpo” da peça em um certo domínio de aplicação. Em uma peça pode-se ter, por exemplo, dois grupos funcionais alocados em regiões funcionais distintas, porém com funções parciais idênticas, cada um destes *grupos funcionais da peça* possuindo ainda, sub-funções características e assim por diante.

Grupos funcionais de peça possuem sempre uma única *função parcial da peça*, composta por funções elementares mais básicas, realizadas pelas “*features*” *conceituais da peça*, que no projeto preliminar serão refinadas recebendo atributos geométricos e tecnológicos, ou preliminares e detalhados

A definição dos *grupos funcionais da peça* é a atribuição de princípios de solução para as funções especificadas em determinadas regiões funcionais da peça, segundo critérios relacionados ao tipo de peça, tipo montagem (interfaces), do conjunto que compõe, etc

Na verdade, quando um princípio de solução (efeito + portador de efeito) do produto é escolhido e posteriormente definido um módulo realizável, sua configuração deve apresentar croquis possíveis e formas tentativas para a realização de sua função parcial e, na intenção de que uma justaposição de elementos e interfaces funcionais, consiga gerar um determinado efeito associado a um portador de efeito para realizar a respectiva *função elementar do produto*.

Os *princípios de solução de peça* devem ser disponibilizados em bibliotecas ou serem criados pelo projetista. De qualquer forma, são objetos cujas classes encontram-se em constante refinamento ou atualização tanto em espécie como em quantidade. Sua forma representativa, esboço esquemático, “*sketch*” ou croqui, é um atributo indispensável para a visualização necessária na concepção da peça.

“Feature” funcional e “feature” conceitual de peça.

Para definir uma “*feature*” *funcional*, retorna-se ao conceito de *função elementar da peça* acrescentando-se que a associação existente entre estas duas classes, *Classe_FE* e *Classe_feFU* tem cardinalidade de “pelo-menos-um” (+1) do lado da classe *Classe_feFU*, Ver Figura D.8, do Anexo D.

Isso significa que, uma *função elementar de peça* deve ser representada por pelo menos uma “*feature*” *funcional de peça*, ou ainda dizer que uma *função elementar de peça* pode ser definida por uma ou mais “*features*” *funcionais de peça*.

A diferença entre “feature” funcional de peça e “feature” conceitual de peça, está na abordagem de estrutura funcional e conceitual de peça. As “features” funcionais estão relacionadas às funções elementares da peça, ao passo que as “features” conceituais estão relacionadas aos grupos funcionais da peça.

Pode-se dizer que existe um refinamento entre as classes *Classe_feFU* e *Classe_feCO*. Este refinamento está relacionado com os princípios de solução da peça, pois as “features” funcionais da peça são semânticas que descrevem como a função elementar da peça pode realizar-se, ao passo que as “features” conceituais de peça são elementos construtivos que formam os grupos funcionais de peça, capazes de realizar as função parcial para o qual foi designado.

As “features” conceituais da peça na verdade, são designadas pelos princípios de solução da peça, já que estes irão configurar soluções possíveis para os grupos funcionais da peça. O princípio de solução escolhido gera um dado grupo funcional da peça que por sua vez é constituído por “features” conceituais.

As Figuras 3.6 e 3.7 mostram uma representação esquemática das descrições de algumas “features” conceituais de peças, referentes as funções parciais *Fp2* e *Fp4* da peça exemplo.

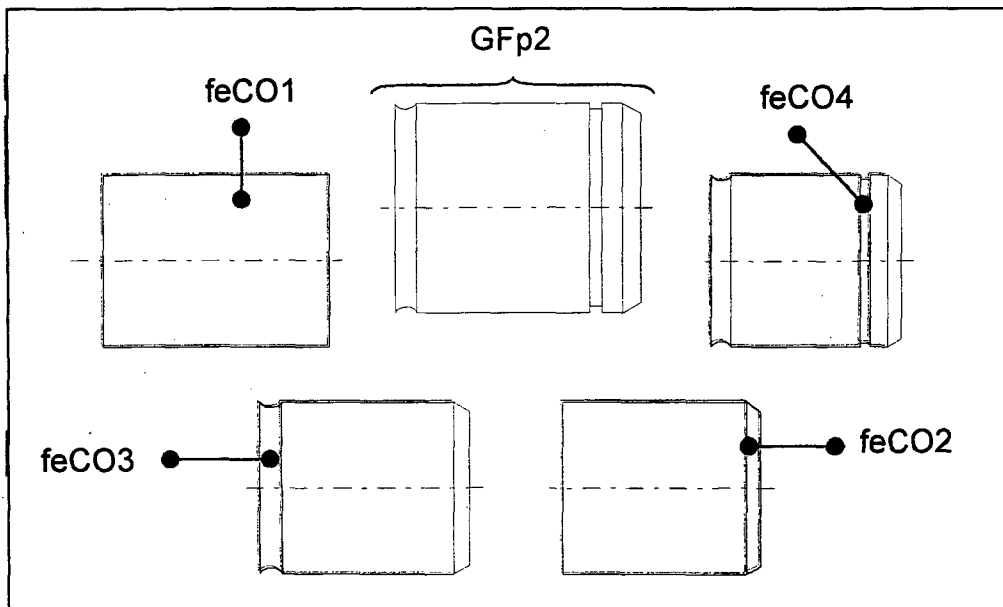


Figura 3.6 – “Features” conceituais do grupo funcional *GFp2* da peça exemplo.

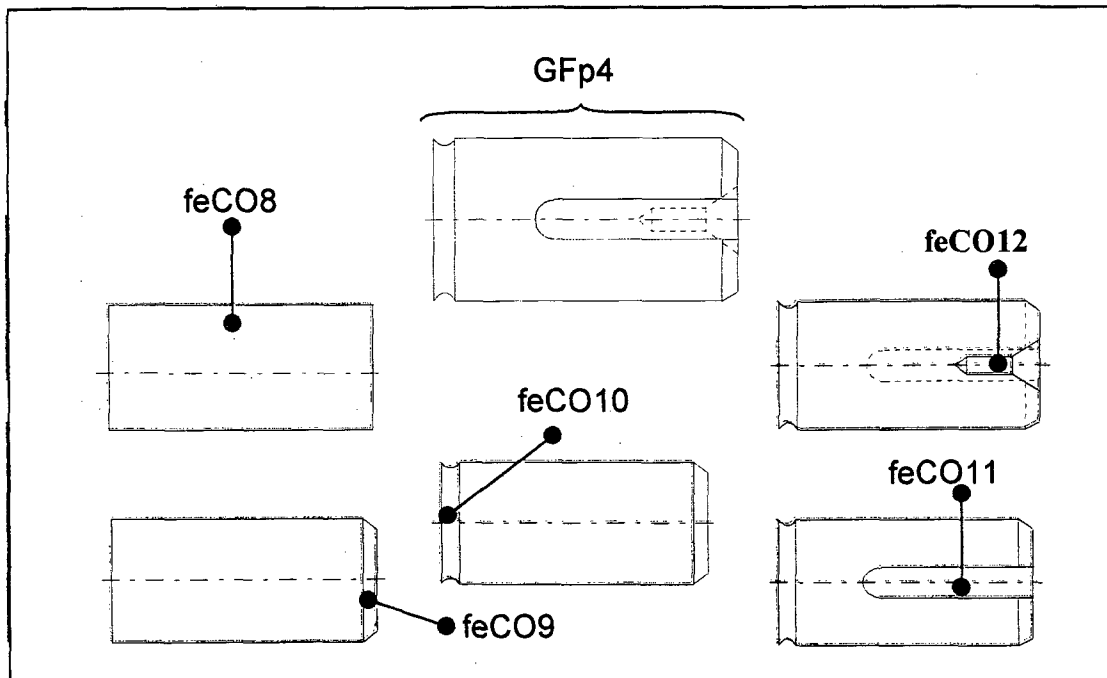


Figura 3.7 – “Features” conceituais do grupo funcional GFp4 da peça exemplo.

A Tabela 3.5 mostra as “features” conceituais da peça e seus respectivos grupos funcionais de peça referentes à peça exemplo. Classe Subclasse *feCO*.

Tabela 3.5 – “Features” conceituais de peça e seus grupos funcionais da peça exemplo.

Cód.feCO	Sigla	Cód.GFp	Cód.Feat.	Nome feCO
1	feCO1	1	1	Cilindro liso.
2	feCO2	1	2	Chanfro cônico.
3	feCO3	1	3	Raio de concordância.
4	feCO4	1	4	Rebaixo quadrado.
5	feCO1	2	1	Cilindro liso.
6	feCO2	2	2	Chanfro cônico.
7	feCO3	2	3	Raio de concordância.
8	feCO4	2	4	Rebaixo quadrado.
9	feCO5	3	5	Cilindro liso.
10	feCO6	3	6	Perfil de engrenamento helicoidal.
11	feCO7	3	7	Chanfro cônico.
12	feCO8	4	8	Ponta de eixo cilíndrica.
13	feCO9	4	9	Chanfro cônico.
14	feCO10	4	10	Chanfro cônico.
15	feCO11	4	11	Rasgo de chaveta plana.
16	feCO12	4	12	Furo de centro.
17	feCO13	5	13	Ponta de eixo cilíndrica.
18	feCO14	5	14	Rosca UNC direita.
19	feCO15	5	15	Chanfro cônico.
20	feCO16	5	16	Raio de concordância.
21	feCO17	5	17	Furo de centro.

3.3.4 – Resumo das estruturas propostas para o projeto de peças

Estrutura funcional da peça

Define o relacionamento entre as *funções global, parciais e elementares* de cada peça do produto. As funções elementares da peça ainda podem ser constituídas pelas *“features” funcionais da peça*. A Figura 3.8, mostra esses relacionamentos.

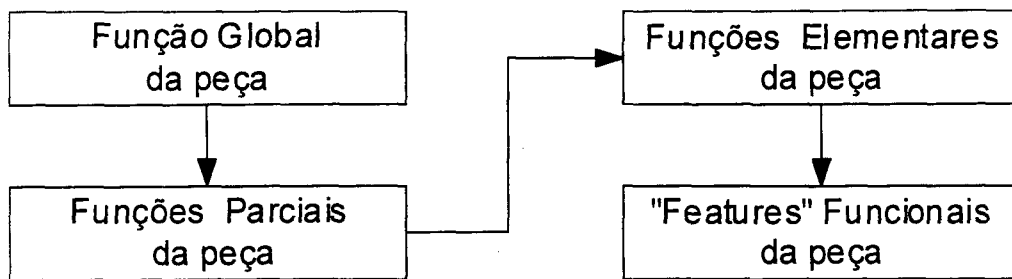


Figura 3.8 – Representação esquemática da estrutura funcional de peça segundo modelo proposto.

Estrutura conceitual da peça

Define os relacionamentos existentes entre os elementos que integram o processo de solução para os *grupos funcionais da peça*, com base na estrutura funcional anteriormente elaborada, veja Figura 3.9.

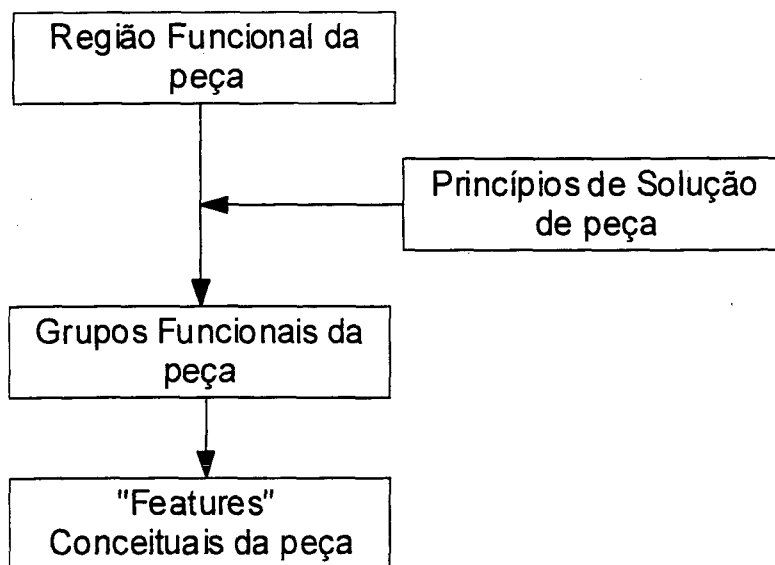


Figura 3.9 – Representação esquemática da estrutura conceitual de peça, segundo modelo proposto.

Estrutura hierárquica da peça

Representa o inter-relacionamento dos elementos físicos ou materiais de uma peça, segundo os conceitos propostos. A diferença entre as estruturas hierárquicas de produto e peça está na montagem, ou seja, produtos, conjuntos e subconjuntos são montados, ao passo que todas as peças são formadas por elementos solidários a um único volume de material. A Figura 3.10, mostra as agregações simples entre a *peça*, seus *grupos funcionais* e as “*features*” *conceituais de peça*.

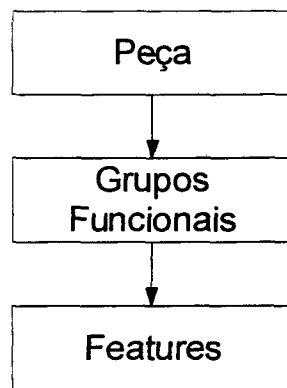


Figura 3.10 – Modelo de objetos da estrutura hierárquica da peça.

3.4 - Modelo orientados a objetos das estruturas de produto

Para a elaboração do modelo de objetos do projeto funcional/conceitual de produto, teve-se como base de conhecimento a metodologia proposta pela *VDI 2221*, revisada no Capítulo 2, onde o projeto conceitual, Fase II, é subdividido nos passos 2, 3 e 4, que são: verificação das funções e suas estruturas, pesquisa de princípios de solução e estruturação em módulos realizáveis, respectivamente.

Inicialmente modela-se a estrutura hierárquica de um produto, subdividindo-o em *Produto*, *Conjunto* e *Peça*, onde o nível de *Conjunto* possui uma agregação recursiva até o nível de *Peça*, como mostra a Figura 3.11, que mostra as classes *Classe_Produto*, classe *Classe_Conjunto* (Pai), *Classe_Conjunto1* (Filho) e *Classe_Peça* relacionadas por agregações simples e recursivas explícitas, respectivamente.

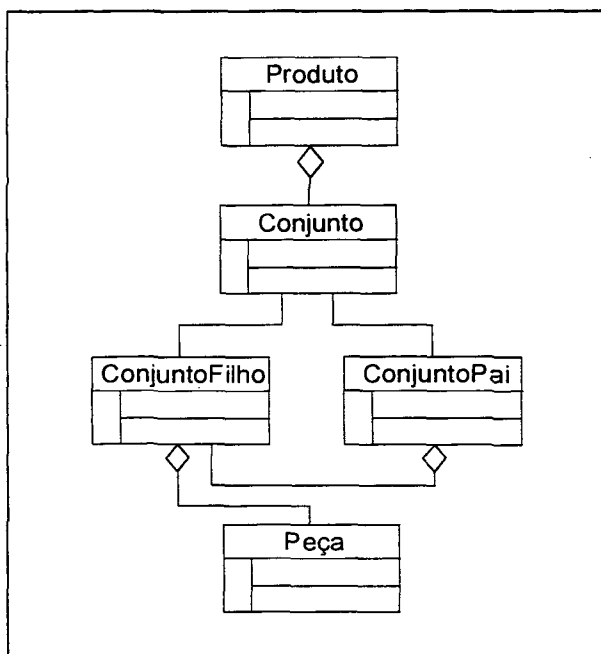


Figura 3.11 – Modelo de objetos da estrutura hierárquica de produto.

No âmbito da terminologia utilizada pela UML, que está sendo aplicada ao modelamento realizado neste trabalho, costuma-se usar os termos “pai” e “filho” designando classes, ou objetos associados através de agregações simples e recursivas

O modelo de objetos da *estrutura funcional do produto* é caracterizado pela estrutura funcional orientada a objetos, mostrada na Figura 3.12 onde tem-se agregações simples entre as classes *Classe_FG*, *Classe_FP (Pai)*, *Classe_FP (Filho)* e *Classe_FE*. As classes *Classe_FP (Pai)* e *Classe_FP (Filho)*, compartilham agregações recursivas que chamou-se de explícitas.

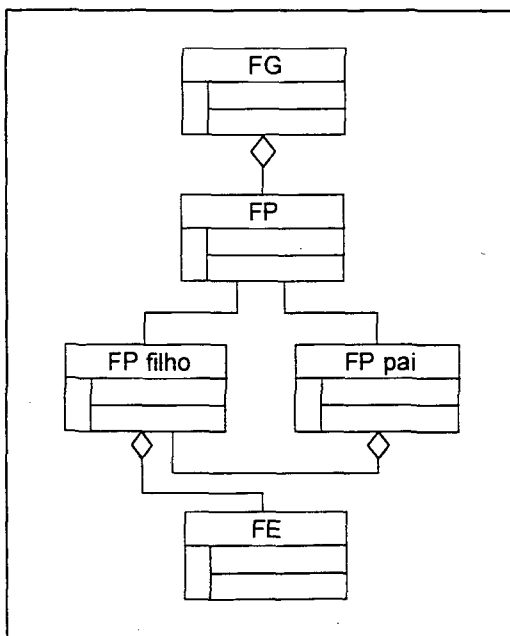


Figura 3.12 – Modelo de objetos da estrutura funcional de produto.

O modelo de objetos da *estrutura conceitual de produto*, mostrado na Figura 3.13, compõem-se respectivamente das classes *Classe_EF*, *Classe_PE* e *Classe_PS* e uma classe adicional, *Classe_ModReal*, que representa os possíveis módulos realizáveis dentre os quais um deve ser escolhido para realizar uma determinada *função elementar do produto*.

Posteriormente será criada a classe *Classe_Bibliot_PS*, uma biblioteca de princípios de solução de produto que irá alimentar a escolha dos princípios de solução mais adequados à classe *Classe_FE*.

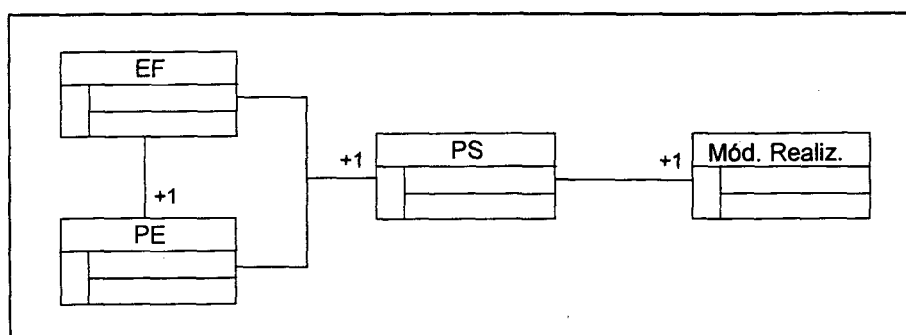


Figura 3.13 – Modelo de objetos da estrutura conceitual de produto.

A partir da definição dos módulos realizáveis inicia-se o projeto funcional e conceitual das peças que os compõem, com base nas estruturas funcional e conceitual de peça, cujos modelos são a seguir, apresentados.

3.5 - Modelos orientados a objetos das estruturas de peça

O modelo de objetos para a *estrutura funcional de peça* é mostrado na Figura 3.14, com os relacionamentos das classes que o representam, cujos conceitos foram apresentados anteriormente nas seções 3.3.1 e 3.3.2 deste capítulo. Toda peça possui uma função global agregada ao módulo realizável. Em conjunto, realizarão uma função parcial ou elementar do produto.

Cada função global da peça dá origem às suas funções parciais da peça, associadas por agregações simples. Cada função parcial, por sua vez, é constituída de funções elementares, também àquelas associadas por agregações simples. As funções elementares são realizadas por funcionalidades básicas que aqui são denominadas de “*features*” *funcionais da peça*.

O modelo funcional da peça fornece ao modelo conceitual da peça, as funções parciais, devidamente constituídas de suas funções elementares. No modelo conceitual da peça, cada função parcial deverá ser realizada em regiões específicas da peça, pelos grupos funcionais da peça.

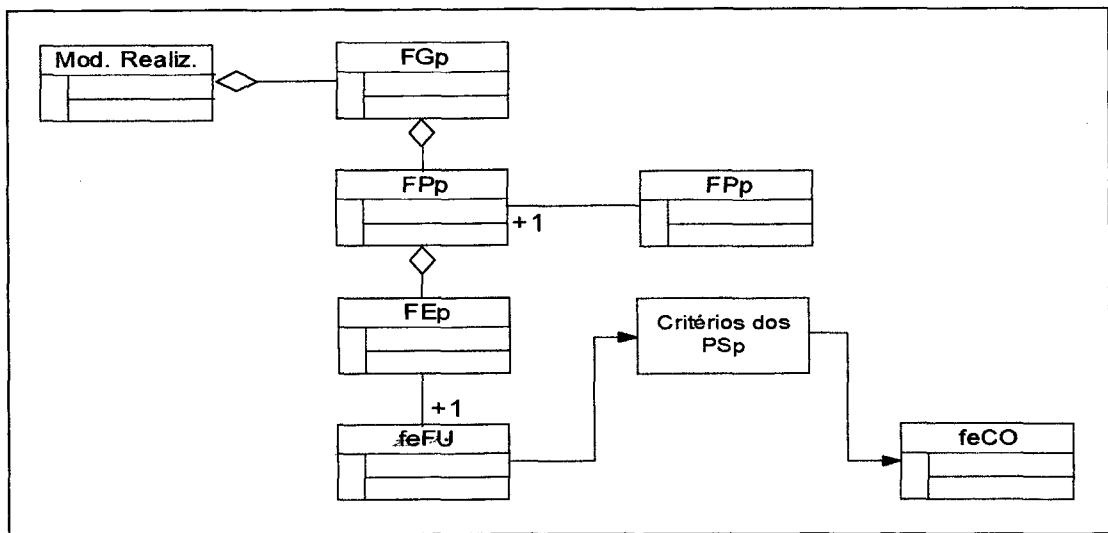


Figura 3.14 – Modelo de objetos da estrutura funcional de peça

A Figura 3.15, mostra o modelo de objetos da *estrutura conceitual de peça*, onde tem-se as classes das siglas *RFp*, *PSp*, *GFp* e *feCO*, relacionadas.

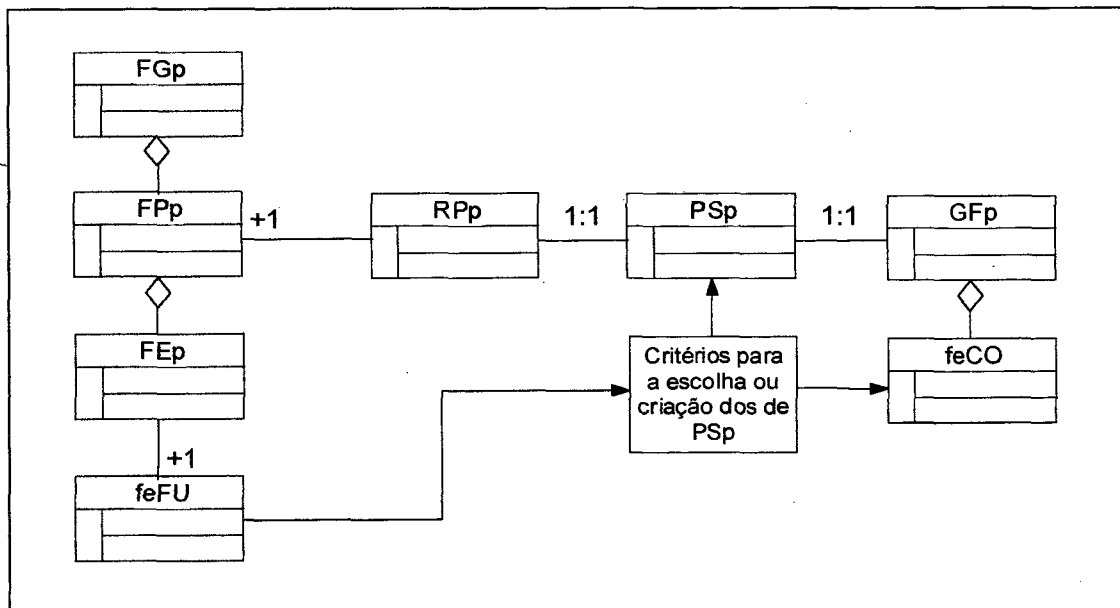


Figura 3.15 – Modelo de objetos da estrutura conceitual de peça

3.6 - O projeto da peça e as "features"

A definição da estrutura de módulos realizáveis não caracteriza as peças que os compõem. Um módulo realizável é, em última análise, uma solução possível para realizar uma determinada função elementar do produto. Assim, a estrutura funcional de um produto pode ter poucos níveis de funções parciais, antes das funções elementares, até algumas dezenas de níveis, afirmação aceitável para equipamentos muito complexos.

Com base nisso, um módulo realizável pode ser desde uma simples manivela, um dispositivo contendo um cilindro pneumático acoplado a um batente, um sistema de sustentação do cilindro superior de um laminador até a parte mecânica da turbina de um caça, por exemplo.

Para iniciar o projeto de uma peça, componente de um conjunto ou sistema mecânico, é necessário que o contexto onde a mesma está inserida seja identificado, isto é, as peças que participam de sua montagem, as funcionalidades necessárias às interfaces e o espaço disponível, têm que estar claramente especificados. Mediante essas informações é que dá-se início ao projeto das peças do conjunto.

Sabe-se que na grande maioria dos casos, não ocorre essencialmente um projeto por completo. Na verdade, o que se faz são consecutivos reprojotos que são refinados com o tempo. Os produtos realmente novos são executados a partir de soluções já conhecidas, apenas justapostos de forma a executarem suas funções através de formas não usuais. Por outro lado, constituindo-se numa minoria dos casos, as verdadeiras invenções, dispositivos contendo mecanismos cujos componentes são realmente inovadores, tanto na forma como em funcionalidade, são bastante raras.

Mecanismos são compostos por peças fabricadas e comerciais. Peças comerciais, por exemplo, têm uma grande influência na otimização de um projeto. Peças fabricadas são manufaturadas dentro da própria empresa, enquanto que as comerciais são aquelas adquiridas comercialmente, sejam padronizadas através de catálogos, sejam terceirizadas.

Para conjuntos envolvendo montagens de peças comerciais, é impossível definir dimensões exatas das peças fabricadas, que com aquelas tenham interfaces funcionais. Isto é muito comum em indústrias que terceirizam parte ou grande parte da manufatura de suas peças, o que certamente ocasiona o “re-trabalho” ou “re-manufatura” das peças que tenham que ser ajustadas durante a montagem, após sua fabricação.

Produtos novos têm às vezes, o projeto de suas peças condicionados à performance dos testes com seus protótipos, outras vezes, condicionados à performance de seu similar na empresa concorrente. A verificação do desempenho de cada peça deve ser monitorada para realimentar o processo de projeto da peça e conseqüentemente, do produto e de seu processo de fabricação.

O projeto de peças, na verdade é uma atividade interativa em que participam várias áreas e não propriamente apenas a área de projeto. Sabe-se que, algumas empresas atualmente, adotam o “*projeto conjunto de produto e processo*” de fabricação de suas peças. Nessa interação entre as área de projeto e manufatura, a funcionalidade de cada peça é considerada separadamente e também em conjunto, com o objetivo de conhecer-se as funções básicas do produto e de seus

componentes, de modo a ter-se claro quais são as características passíveis de serem prejudicadas em soluções de compromisso (técnicas ou econômicas) e aquelas cuja verificação é imprescindível para a aceitação do produto pelo mercado. Outro objetivo é estabelecer as correlações entre funções e as peças ou *grupos funcionais de peça* que as realizam, evidenciando-se, assim, o efeito de uma determinada alteração no produto ou processo, nas demais funcionalidades.

Em suma, faz-se as especificações de processo baseadas nas funções de cada peça, de modo a realmente atender o que é imprescindível e ter claros os efeitos do que for relegado às soluções de compromisso. Isto ajuda a hierarquizar as peças, sub-conjuntos e conjuntos identificando-se elementos dos quais um projeto otimizado pode eventualmente prescindir. O entendimento das funções e de suas inter-relações serve, desta forma, para a determinação dos *grupos funcionais da peça*, durante o seu projeto conceitual.

3.6.1 - "Features" como características fundamentais da peça

A "feature" pode ser o elemento central de todo o projeto de um produto. No projeto de peças especificamente, as "feature", *na forma como estão definidas*, podem compor a base de todas as estruturas de modelamento propostas. Através de seus atributos, cada informação elementar a cerca do modelamento da peça, pode ser recuperada, retrabalhada e refinada.

A capacidade de abstrair dados e informações durante o projeto, fabricação, montagem e uso de uma peça, faz da "feature" uma entidade bastante importante no contexto do ciclo de vida de um produto. Neste âmbito, o modelamento orientado a objetos, proporciona ao projeto de sistemas mecânicos, recursos poderosos para o desenvolvimento de estruturas de troca de informações por meio dos relacionamentos inerentes à esta este tipo de abordagem de projeto.

Uma "feature" suporta inúmeras definições, justamente pelo fato de ser uma entidade atômica, onde a informação chega ao seu limite de fragmentação. Portanto, a inserção da "feature" no processo de projeto de produto, é obrigatória no momento em que vincula-se estruturas específicas para o projeto de peças no processo de projeto do produto.

Seja no desdobramento das *funções elementares da peça* em "features" *funcionais da peça (feFu)*, dos *grupos funcionais da peça* em "features" *conceituais da peça (feCo)* no projeto preliminar (*fePr*) e detalhado da peça (*feDe*), via CAD, ou no processo de manufatura, a "feature", na linha proposta neste trabalho, é um objeto criado na estruturação funcional da peça, ou seja, no momento que se desdobra as *funções parciais da peça* em *funções elementares da peça*.

Um conjunto ou sistema mecânico, por facilidade de execução, pode ser subdividido em subsistemas ou subconjuntos, que possuem funcionalidades próprias. Por processos de montagem, as peças formam subconjuntos e conjuntos até a montagem total.

Do ponto de vista macro, as peças são as menores entidades que formam um produto. Do ponto de vista da estrutura hierárquica específica de uma peça, a “*feature*” é a menor entidade de um produto.

A estrutura hierárquica de um produto pode então, de uma forma geral, ser esquematizada como mostra a Figura 3.16.

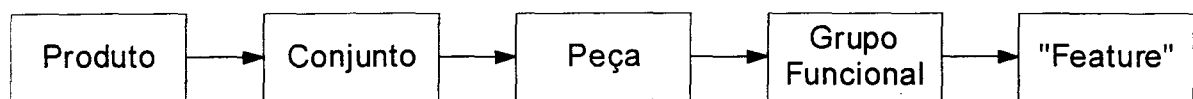


Figura 3.16 – Estrutura hierárquica geral de produto.

3.6.2 - “*Features*” como representação de função e forma

Para SCHULTE, WEBER & STARK [81], a representação de conhecimento em sistemas mecânicos deve agregar informações geométricas e funcionais. Uma vez que “*features*” são principalmente fundamentadas em informações geométricas, sendo esta a concepção cada vez aceita nos últimos anos, um projeto de engenharia consiste de três componentes de informação relacionados numa *feature*:

- (1) Uma “*feature*” é mapeada como uma *forma genérica* e uma *sintaxe*. Para representar uma forma genérica, os componentes de uma “*feature*” são elementos de forma específicos;
- (2) Uma “*feature*” tem um significado específico dentro de um contexto de engenharia. Portanto ela representa uma semântica. Conseqüentemente, o segundo componente de uma “*feature*” são elementos semânticos específicos que expressam o significado funcional da “*feature*”;
- (3) O terceiro componente de uma “*feature*” são as relações entre os dois componentes citados anteriormente.

A “*feature*” é considerada um importante elemento na integração de sistemas CAD/CAM. Neste contexto, ela é a representação e ao mesmo tempo, a forma de manipulação de dados usadas durante as atividades de projeto e manufatura. No âmbito da orientação a objetos, pode ser também considerada como uma classe de objetos que pode ser utilizada em técnicas de

modelamento de produto e peça, levando a uma melhor manipulação dos dados e fornecendo aos sistemas *CAD/CAM* uma excelente plataforma de integração.

“*Features*” podem ser pré-definidas em bibliotecas e englobam um número limitado de elementos que trazem consigo informações relacionadas às atividades de projeto e manufatura.

Em disciplinas tradicionais de engenharia de projeto e manufatura, o poder das “*features*” é evidente, onde entidades simples tais como linhas, arcos e círculos podem ser agrupados logicamente para denotar uma entidade funcional ou manufaturável.

Agrupamento de “*features*” de baixo nível, como as “*features*” conceituais de peça (*feCo*), constituem-se em formas lógicas com significado prático, como é o caso dos *grupos funcionais da peça*, que nas fases posteriores do processo de projeto, são definidos geometricamente através das “*features*” de forma, em “*features*” preliminares (*fePr*) e “*features*” detalhadas (*feDe*) da peça.

Todos os elementos construtivos existentes possuem volume formados por um *conjunto de superfícies*. Os atributos geométricos de “*features*” são compostos por superfícies que representam este volume. No projeto detalhado, em última instância, um produto é formado de várias peças, funcionalmente distintas, representadas por “*features*”.

O escopo deste trabalho não abordará o estudo sobre determinação de “*features*” preliminares nem tão pouco *detalhadas*, desenvolvendo o modelamento de dados apenas até o nível de *grupos funcionais de peça* e suas correspondentes “*features*” conceituais de peça (*feCo*). Estas “*features*” apresentam atributos com a semântica de configurações primárias ou básicas para as peças.

3.7 - Qualificadores funcionais

Uma outra forma de se classificar funções é a que as qualifica de acordo com o nível de importância ou atuação frente a estrutura funcional da qual faz parte. Independente do nível onde situa-se na estrutura funcional do produto ou peça, seja global, parcial ou elementar, uma função pode assumir diferentes níveis de responsabilidades no contexto da peça onde deve ser realizada. A importância de seu papel frente à sua estrutura de funções pode receber um *qualificador* em acordo com seu relacionamento com outras funções de mesmo nível.

A ação conseqüente da realização de uma função é identificada pelo aspecto que a qualifica. No caso de peças, dependendo do ponto de vista da ação que deve desempenhar em seu *grupo funcional da peça*, em relação às funções de mesmo nível, funções global, parciais e

elementares de peça, podem ser qualificadas como primárias, secundárias, acessórias e derivadas de acordo com a responsabilidade de seu envolvimento na estrutura de funções da qual faz parte.

Através de um qualificador funcional, pode-se identificar o envolvimento da função na realização de uma determinada tarefa. Desta forma, desenvolveu-se a seguinte classificação para os qualificadores funcionais

Função principal, Função secundária, Função acessória e Função derivada

Função primária – A responsabilidade de uma função dita primária, em relação a outras funções de mesmo tipo ou de tipos diferentes (global, parcial ou elementar), deve ser a maior de seu grupo funcional. O envolvimento funcional de uma função primária, independente de seu tipo, deve ser máximo em relação ao local onde é realizada.

Função secundária – A função secundária é necessária para que uma função primária possa ser realizada completamente.

Função acessória – Uma função é acessória quando não é fundamental na realização da funcionalidade a que está ligada.

Função derivada – A função derivada é originada de outras funções. É resultante de características geradas por outras funções.

A Tabela 3.6 mostra a análise dos níveis de responsabilidade da função parcial $FPp1$ = resistir a esforços externos, da função global $FGp1$ = transmitir torque e rotação, relativos às Figuras 3.17 e 3.18.

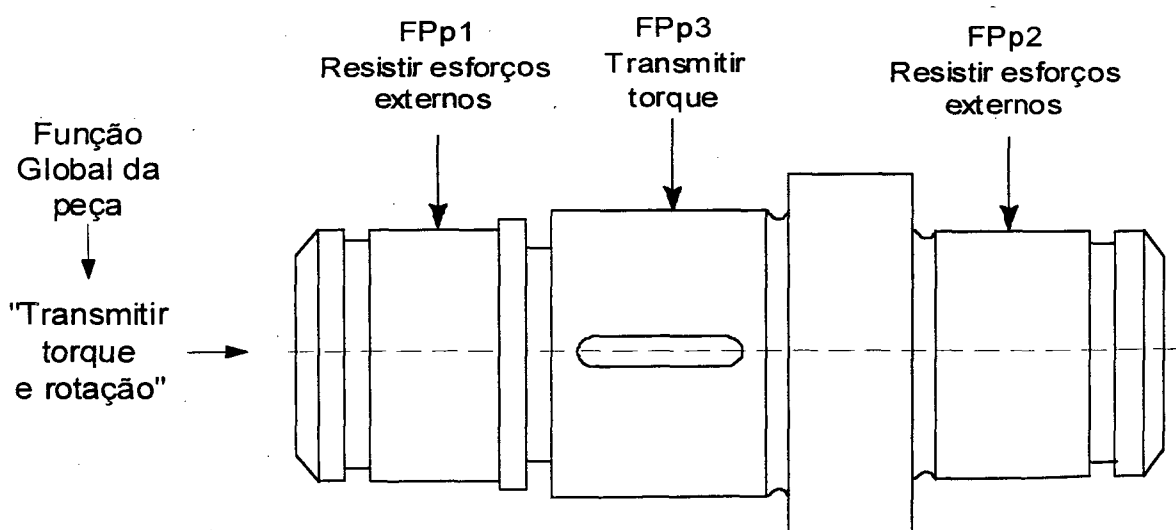


Figura 3.17 – Funções parciais de um eixo de transmissão de torque e rotação

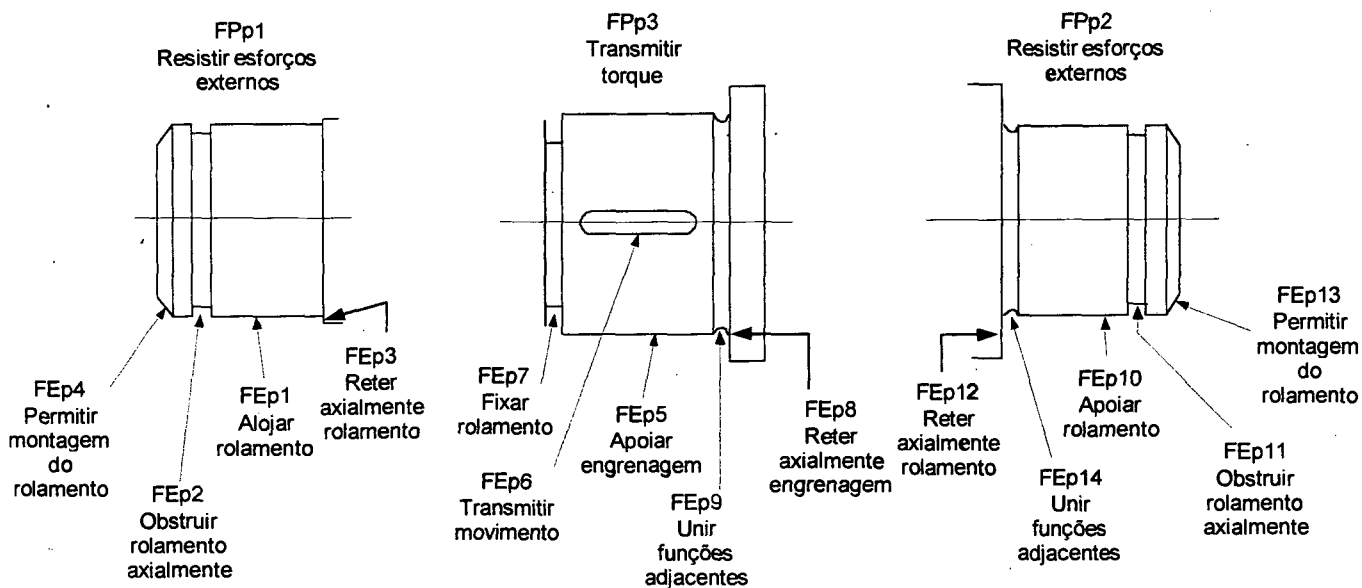


Figura 3.18 – Funções elementares referentes à peça da Figura 3.17.

Tabela 3.6 – Funções qualificadas referentes às Figuras 3.17 e 3.18.

Qualificador da Função	Tipo de Função da Peça		
	Função Global (FGp)	Função Parcial (FPp)	Função Elementar (FEp)
Função Primária (PF)	FGp1	FPp1, FPp2, FPp3	FEp1, FEp5, FEp6, FEp10
Função Secundária (SF)	---	---	FEp2, FEp3, FEp4, FEp7, FEp8, FEp11, FEp12
Função Acessória (AF)	---	---	FEp9, FEp14
Função Derivada (DF)	---	---	FEp13

A *FPp1* possui quatro funções elementares, das quais a *FEp1* é primária, pois foi constituída para realizar a razão de ser deste grupo funcional, que é apoiar o rolamento para resistir aos esforços externos, gerados naquela região da peça. *FEp2* e *FEp3* são secundárias, pois existem em decorrência da *FEp1*. A função *FEp4* é secundária, uma vez que também é necessária para direcionar a montagem do rolamento na peça.

3.8 - Considerações

Em vista do que foi apresentado neste capítulo, algumas impressões e considerações inerentes ao seu contexto são aqui colocadas.

O modelamento de produto e peça, na forma como está sendo proposto e desenvolvido, presupõe a existência de uma visão ao menos básica, dos conceitos de orientação a objetos e de seus conceitos de abstração, classificação e herança. Adicionalmente, para o processo de projeto de produto, isto também é válido, já que o modelamento de produto e peça desenvolvidos devem estar nele inseridos.

Vê-se que a grande vantagem da aplicação destes conceitos no modelamento de componentes dentro do processo de projeto de produto e de suas peças em particular, está exatamente em sua capacidade de mapear a estrutura de projeto de forma estática, isto é, de não preocupar-se com as relações e procedimentos interativos do processo de projeto de produto que ocorrem entre suas diversas fases e também de suas correlações dinâmicas com outras etapas do ciclo de vida do produto.

O modelamento estático caracteriza o modelo de objetos. As estruturas de modelamento baseadas na *UML*, são baseadas em modelos de objetos, modelos dinâmicos e modelos chamados funcionais. A capacidade de modelamento por meio de uma base de dados orientada a objetos, pode estender-se a outros tipos de entidades do mundo real e conseqüentemente abre um leque de aplicações bastante grande. Assim, as estruturas as estruturas desenvolvidas para modelamento do produto, por exemplo, podem ser aplicadas da mesma forma no modelamento de conjuntos e subconjuntos, menos de peças, pelo fato de que estas, necessitam de estruturas funcionais e conceituais específicas ou próprias.

O fator primordial e mais importante, é que tais estruturas de dados, além de conterem fortes relacionamentos em seu interior, ainda podem relacionarem-se entre si, gerando a comunicabilidade desejável à ferramentas computacionais voltadas às áreas de projeto mecânico.

Uma base de dados para projeto mecânico pode ser considerada como um objeto de uma classe, a *Classe_Base_Projeto_Mecânico* que, confrontada com outras classes de bases ou bancos de dados, venha gerar um sistema de modelamento de projeto coeso e poderoso, frente a aplicabilidade que daí pode ser vislumbrada.

As estruturas desenvolvidas neste trabalho podem ser aperfeiçoadas a medida que informações e conhecimentos mais refinados possam ser nelas aplicados e isso, com certeza irá acontecer com o desenvolvimento tecnológico pelo qual passa no momento a tecnologia da informação.

CAPÍTULO 4

Implementação do modelo de dados - MPDD

4.1 - Introdução

Este capítulo discorre sobre a implementação da base de dados para o projeto de peças, *MDPP*. Apresenta-se inicialmente o aplicativo utilizado na sua elaboração. Em seguida são apresentadas as regras de mapeamento, as tabelas ou classes de objetos, seus relacionamentos, as consultas e formulários customizados para utilização da base. Uma descrição sobre a utilização durante o projeto de peças é feita e finalmente, comentários gerais são acrescentados.

4.2 - O aplicativo utilizado

Conforme citado em *FURLAN* [41] e em *KERN, BOHN & BARCIA* [106], bancos de dados relacionais baseiam-se no armazenamento de dados em uma ou mais tabelas com linhas que correspondem a um registro e colunas com tipos de dados que correspondem a campos ou atributos. As operações são implementadas por meio de consultas em linguagem *SQL*, “*Structured Query Language*” ou linguagem para consulta estruturada. *SQL* é uma linguagem de criação e manipulação de banco de dados, desenvolvida pela *IBM “International Business Machines Corporation”* na década de 70 que tornou-se padronizada pela *ANSI “American National Standards Institute”*. A linguagem *SQL*, foi utilizada na plataforma *MSAccess97* da *Microsoft* na organização de um banco de dados relacional para implementar este trabalho.

Os *bancos de dados de objetos* são baseados em modelos de objetos. Um objeto pode ser construído e modificado independentemente do restante do sistema, permitindo herança de atributos e operações. Enquanto o banco de dados relacional é baseado em valores, o banco de dados de objetos é baseado em identidades. A herança é uma de suas características mais importantes pois aumenta a velocidade e a exatidão de sua aplicação, bem como torna possível a criação de objetos a partir de objetos existentes transmitindo características de um para outro.

O desenvolvimento de aplicações baseadas em objetos está sendo melhor suportado por ferramentas a cada dia. Segundo a literatura, até 2001, 60% de todos os novos desenvolvimentos de aplicativos serão baseados em banco de objetos, *FURLAN* [41]. Embora o banco de dados de objetos é o que suportaria de maneira mais eficiente este trabalho, utilizou-se um banco de dados relacional comercial na execução da base de dados proposta. para este trabalho, pela disponibilidade imediata do *MSAccess97*.

4.3 – Estrutura de dados para o modelamento de peças

A elaboração da estrutura geral da base de dados para projeto de produto e peças teve como ponto de partida a definição das tabelas/classes que compõem o modelo de objetos discutido no Capítulo 3. A estrutura de dados básica é composta por tabelas definidas por classes de objetos, agregações e correlações. Estas tabelas, devidamente relacionadas formam, nos estudos de casos que serão vistos no Capítulo 5, os modelos específicos de representação de dados.

As tabelas ou classes, são relacionadas através de associações do tipo agregação simples, agregação recursiva implícita, agregação recursiva explícita, ligações simples ou correlações e ainda generalização ou especialização. Seus relacionamentos são mantidos, ora por uma associação simples, ora por uma tabela de agregação ou por uma tabela de correlação, sendo realizadas a nível de consultas. Os relacionamentos mais utilizados são as agregações simples e recursivas e associações simples.

Quando a base estiver relacionada com o projeto de um produto novo, o primeiro passo é a definição de que módulos da estrutura de módulos realizáveis do produto serão executados e em qual seqüência. Assim definidos, inicia-se o modelamento pelas peças de menor dificuldade para concepção, isto é, por aquelas que possuem similaridades com peças já conhecidas e que não apresentem muitos detalhes. Aos poucos, o nível de dificuldade deve aumentar até chegar-se às peças mais difíceis para cada um dos conjuntos.

Adicionalmente, as interfaces entre as peças devem ser consideradas no momento de sua concepção. A maior parte dos conjuntos contém peças que necessitam ser projetadas em paralelo, isto é, possuem funcionalidades dependentes. Ao mesmo tempo, existem peças que apenas justificam-se pela existência de outras, que complementam suas funcionalidades.

Uma peça, quando possui em si própria uma funcionalidade “ativa”, pode ser considerada como um produto. Pode-se citar como exemplos, uma faca, um taco de “baseball”, etc., ao passo que, a grande maioria das peças, no caso de sistemas mecânicos, têm funcionalidade “passiva” quando isoladas, como por exemplo, é o caso de parafusos e porcas. Vê-se então, que o interfaceamento entre peças, é um campo vasto para estudos.

A estrutura de dados desenvolvida suporta o modelamento das funcionalidades de cada peça, permitindo que o inter-relacionamento entre suas funções seja analisado e avaliado durante o processo de projeto.

4.4 - Regras de mapeamento

Para a implementação é necessária a existência de regras que regulamentem o mapeamento dos modelos orientados a objetos no banco de dados relacional. Mapear modelos orientados a objetos sobre um banco de dados relacional, é passar para a linguagem do banco de dados, as classes e relacionamentos definidos graficamente para cada modelo. A criação das tabelas que compõem a base de dados para modelamento de peças MDPP, seguiu as seguintes regras de mapeamento durante sua elaboração:

1. Cada classe é modelada diretamente para uma tabela

- (a) Todos os atributos das classes de objetos transformam-se nos atributos das tabelas.
- (b) Para cada objeto:
 - (b.1) Verifica-se se o mesmo pode ou não ter valor nulo.
 - (b.2) Associa-se um domínio ou conjunto de valores possíveis.
- (c) Lista-se as chaves candidatas da tabela e explicita-se a chave primária.
- (d) Tabelas/Classes de agregação/correlação possuem chave primária dupla.
- (e) Lista-se os atributos que são frequentemente acessados, candidatos a indexação posterior.

2. Relacionamento de generalização

- (a) Superclasse e suas subclasses são modeladas cada uma para uma tabela.
- (b) A identidade do objeto através da hierarquia de generalização é preservada através de uma chave primária compartilhada, ou seja, o mesmo objeto está sendo representado em cada nível da hierarquia, ou seja cada subclasse contém como atributo, o código de sua superclasse correspondente.
- (c) Na tabela da superclasse, além do identificador e dos demais atributos da superclasse é adicionado o atributo discriminador das subclasses (tipo de classificação), cujos valores de domínio correspondem aos nomes das subclasses existentes.
- (d) Na tabela de subclasse tem-se o identificador ou chave primária da superclasse e os seus atributos específicos.

3. Mapeamento de agregação (1:n e 1:1)

- (a) Uma tabela para cada par de classes envolvidas.
- (b) Para a agregação tipo recursiva, onde pode-se ter a situação em que um conjunto é parte de outro conjunto, a tabela de agregação é composta dos códigos dos conjuntos agregador e agregado com as duas chaves primárias correspondentes à cada uma das classes.

- (c) Uma tabela para o relacionamento de agregação, onde as chaves primárias das classes envolvidas são combinadas formando uma chave primária dupla para a agregação.
- (d) As características comuns a cada classe, tornam-se atributos da tabela correspondente ao relacionamento.
- (e) As agregações acontecem entre objetos independentes, de mesmo “*status*”.

Para operar o banco de dados foram criadas janelas para as diversas atividades das quais o usuário poderá dispor. Consultas, inserções, verificações, compartilhamentos e outras operações podem ser executadas de acordo com a permissão de acesso de cada usuário que e devem ser preestabelecidas antes da implementação da base de dados.

4. Mapeamento de recursividades

- (1) Agregações recursivas explícitas são mapeadas com três tabelas envolvendo uma classe básica e duas derivadas, as correspondentes classes pai e filho. Entre classe básica e classes pai e filho tem-se associações simples e entre classe pai e filho, uma agregação simples.
- (2) Agregações recursivas implícitas são mapeadas via consultas do banco de dados relacional, a partir da duplicação da classe cujos objetos são recursivos, utilizando-se para isso ligações do tipo 1:1 entre os correspondentes atributos, onde um é chave primária de uma classe e outro é chave estrangeira de sua duplicata.

4.5 - Os relacionamentos entre classes

A grande maioria dos relacionamentos a nível de base de dados são mapeados nas consultas. Isso deve-se a alguns fatores: o primeiro deles é o espaço disponível reduzido na tela do aplicativo, para a representação de todos os relacionamentos em conjunto, o que facilitaria muito a realização das consultas, pois já estariam mapeados.

Um outro fator é que, durante as consultas pode-se definir com maior exatidão, o tipo de relacionamento que se quer, ativando-o diretamente sobre o traço que representa a associação. Assim, todos os relacionamentos da base de dados são mapeados a nível de consultas. Um exemplo é mostrado na Figura 4.1, onde tem-se a representação do relacionamento de agregação simples feita por uma tabela de agregação ligada às classes por associações simples.

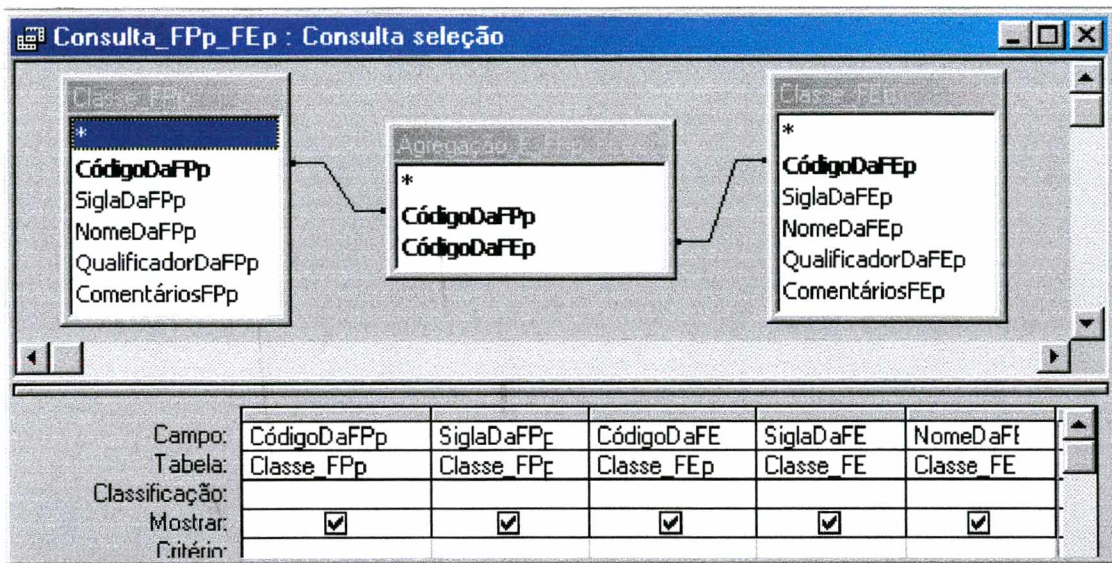


Figura 4.1 – Tela mostrando os relacionamentos da consulta *Consulta_Fp_FEp* da base de dados *MDPP_Acionador*.

4.6 - Os modelos mapeados na base de dados MDPP

A composição dos modelos de classes de objetos representados na base de dados *MDPP* é agora descrita em suas formas básicas. Cada modelo segue as regras de mapeamento anteriormente citadas, com seus elementos de composição e respectivas classes básicas definidas.

4.6.1 - Modelo funcional do produto

O modelo de classes de objetos que representa a estrutura funcional de produto é composto pelas seguintes classes de objetos:

- *Classe_FG* = classe função global do produto;
- *Classe_FP* = classe função parcial do produto;
- *Classe_FE* = classe função elementar do produto.

Outras classe podem ser definidas de acordo com cada caso específico de projeto. Cada uma destas classes contém atributos referentes ao *projeto funcional do produto*, de acordo com os dados e as informações provenientes desta etapa do processo de projeto do produto, que já deve estar concluída. Nos estudos de caso, este *modelo funcional do produto* será alimentado com informações da estrutura de funções do produto.

No modelo funcional do produto, as classes se inter-relacionam formando grades de interfaces com associações diversas. Observe a Figura 2.11, do Capítulo 2.

4.6.2 - Modelo conceitual do produto

O modelo conceitual de produto é a principal fonte de dados e informações para o início do projeto de peças via modelamento de dados MDPP, pois é dele que derivam as informações e dados que serão manipulados na atividade de modelamento e representação de peças subsequentes, sendo composto pelas seguintes classes:

- *Classe_EF* = classe efeito necessário à realização da função elementar do produto;
- *Classe_PE* = classe portador de efeito da função elementar do produto;
- *Classe_PS* = classe princípio de solução do produto;
- *Classe_ModReal* = classe módulos realizáveis, escolhidos para compor a estrutura conceitual do produto.

Conceitualmente, um *princípio de solução do produto* é formado pelo efeito e seu correspondente portador. No caso de sistemas mecânicos, o princípio de solução constitui-se de uma possível configuração dada por um mecanismo composto por peças. Uma estrutura de módulos realizáveis, com base nesses possíveis mecanismos deve ser definida e somente depois inicia-se o projeto de cada módulo realizável e suas peças.

A estrutura conceitual de um produto escolhida com base em alternativas de concepção para o produto, são apresentadas na forma de uma matriz com princípios de solução, refinados posteriormente a módulos realizáveis, ordenadamente dispostos e com elementos que interligam-se definindo suas interfaces.

A possível estrutura, assim escolhida, deve compor a solução final que desta forma é disponibilizada ao projeto funcional e conceitual específico das peças que a compõem.

Do modelo conceitual do produto é que serão utilizados dados e informações necessários ao prosseguimento do processo de projeto de produto, agora com o modelamento específico de cada peça, proposto. Com base neste modelo, são gerados os modelos funcional e conceitual de peça.

4.6.3 - Modelo funcional da peça

A estrutura de funções de cada peça é definida após a análise de cada módulo realizável. Cada peça vai desempenhar uma função global no módulo realizável ou conjunto, realizando-a através de sua interface com outras peças que integram o mesmo conjunto. As classes que integram o modelo funcional de peça são:

- *Classe_FGp* = classe função global da peça;
- *Classe_FPp* = classe função parcial da peça;

- *Classe_FEp* = classe função elementar da peça.
- *Classe_Feature*, *Subclasse_feFU* = classe *feature* e especialização *feature funcional*.
- *Classe_Req_Proj_Peça* = classe requisitos de projeto de peça, derivados das necessidades funcionais do módulo realizável.

De forma análoga ao *modelo funcional do produto*, existe um inter-relacionamento entre as funções parciais e elementares de uma peça, acrescentando-se que, as interfaces são sólidas, pois existe a necessidade de continuidade material entre os grupos funcionais de uma peça.

4.6.4 - Modelo conceitual da peça

A peça após fabricada, é um volume de material isolado, onde as ligações entre seus grupos funcionais devem possuir continuidades materiais. Desta forma, cada função parcial será realizada numa determinada região do espaço disponível para a peça no módulo realizável. Como já abordado no Capítulo 3, nas *regiões funcionais da peça*, através dos *princípios de solução de peça*, há a alocação dos *grupos funcionais da peça*. A estrutura conceitual da peça é composta assim, pelas classes que correspondem a esses elementos, salientando-se que os *grupos funcionais da peça* ainda são formados pelas “*features*” *conceituais da peça*, da classe *Classe_feCo*.

Na classe *Classe_PSp* descreve-se e esquematiza-se *princípios de solução de peça*. Caso nenhum deles satisfaça às restrições ou limitações de projeto para a peça, o projetista deverá inserir, com base em sua experiência prática, aqueles que melhor adaptarem-se à solução requerida para o *grupo funcional da peça* em questão, ou mesmo criar novos *princípios de solução de peça* e igualmente, inseri-lo nesta classe. Os *princípios de solução de peça* devem satisfazer às restrições impostas pelos requisitos de custos, manufatura, montagem, manutenção uso/operação e descarte, para permitir a realização das funções das regiões funcionais da peça e assim realizar sua função global através dos grupos funcionais da peça.

O modelo conceitual de peça é formado pelas seguintes classes de objetos:

- *Classe_RFp* = classe região funcional da peça;
- *Classe_PSp* = classe princípio de solução da peça;
- *Classe_GFp* = classe grupo funcional da peça.
- *Classe_Feature*, *Subclasse_feCO* = classe *feature* e especialização *feature conceitual*.

A classe *Classe_Feature*, na base de dados *MDPP_Geral*, especializa-se nas subclasses: *Subclasse_feFU* = etapa de projeto funcional da peça, *Subclasse_feCO* = etapa de projeto

conceitual da peça, *Subclasse_fePR* = etapa de projeto preliminar da peça e *Subclasse_feDE* = etapa de projeto detalhado da peça.

4.7 - As consultas

As consultas são utilizadas para visualizar, alterar e analisar dados de diferentes maneiras e também como origem de registros para formulários e relatórios. O tipo mais comum de consulta é uma consulta *seleção*. Uma consulta *seleção* recupera dados de uma ou mais tabelas utilizando critérios previamente especificados e, em seguida, exibe-os na ordem desejada.

A criação de consultas pode ser feita com a ajuda de um assistente ou a partir do zero, no modo estrutura da consulta. Diversas recomendações a respeito de consultas são encontradas na “ajuda” da base de dados.

A grande maioria das consultas da base *MPDD_Geral*, são do tipo “seleção” que são criadas tomando-se por base as tabelas e associações do modelo de objetos que está sendo mapeado. A Figura 4.2, mostra, por exemplo, a consulta *Consulta_Custo_Atividade*, que envolve cinco tabelas ou classes, definidas dentro da estrutura referente à base de dados *MDPP_Custos*, do estudo de caso 2. Nesta consulta, são de interesse as operações referentes aos cálculos dos custos hora operacional das atividades de fabricação envolvidas especificamente naquele estudo de caso.

Assim, as classes *Classe_Atividade*, suas subclasses *Subclasse_Hom* e *Subclasse_Máq* e ainda as consultas *Consulta_Custo_HH* e *Consulta_Custo_HM*, derivadas das subclasses *Subclasse_Hom* e *Subclasse_Cotação_Hom* e *Subclasse_Máq* e *Subclasse_Cotação_Máq*, respectivamente, são selecionadas.

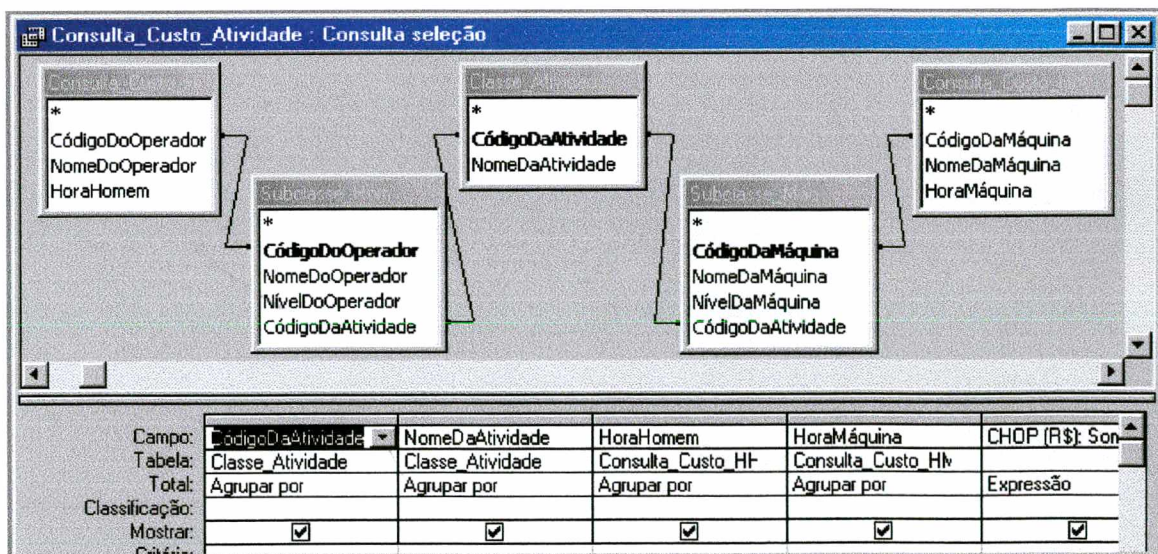


Figura 4.2 – Tela mostrando a consulta *Consulta_Custo_Atividade* da base de dados *MDPP_Custos*.

4.8 - Os formulários

Os formulários, no caso específico deste trabalho, são criados para servirem de interface customizada entre o usuário e a base de dados. São utilizados, por exemplo, para inserir dados em uma tabela ou classe, ou seja, criar novos objetos, para criar caixas de diálogo personalizadas e também para criar menus de controle para abrir outros formulários.

Alguns formulários foram criados nas bases de dados referentes aos estudos de casos executados neste trabalho. A maioria deles referem-se às consultas, a fim de que o usuário possa visualizá-las melhor e dispor de um ambiente agradável para o trabalho de projeto.

Uma grande vantagem dos formulários é a capacidade de visualização de todos os atributos de uma classe, seja ela uma tabela, uma agregação, uma consulta, etc. Atributos com dados dos tipos “AutoNumeração, Texto, Memorando, Número, Data/Hora, Moeda, Sim/Não, Objeto OLE, Hyperlink e Assistente de Pesquisa”, podem ser visualizados numa mesma tela customizada.

A Figura 4.3, mostra um formulário típico, criado para a consulta *Consulta_QMP*, éta da base de dados *MDPP_Custos*, que fornece dados de atributos como: *QMP* (quantidade de matéria- prima gasta em cada peça) calculada em função de outros dois parâmetros, a *QMB* (quantidade de matéria-prima bruta) e de *PUnit* (peso unitário), éta (fator de aproveitamento de matéria-prima - η), além de outros.

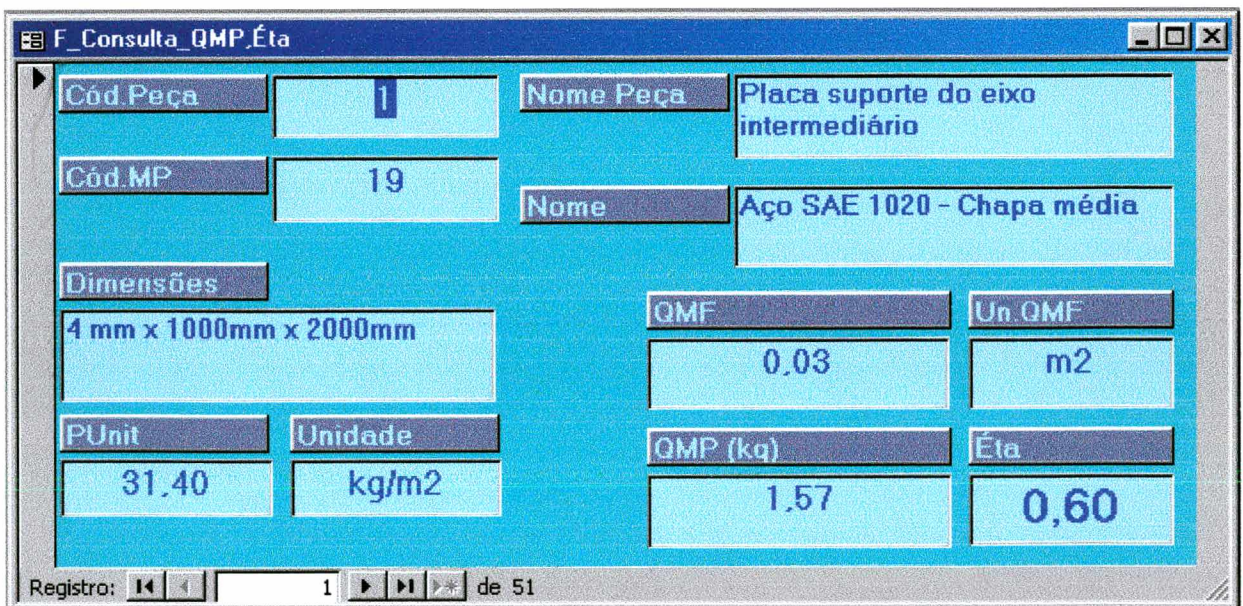


Figura 4.3 – Tela mostrando o formulário *F_Consulta_QMP*, éta, da base de dados *MDPP_Custos*.

4.9 - A utilização da base de dados

Para que ocorra um relacionamento satisfatório entre usuários e base de dados *MDPP*, de forma a conseguir-se bons resultados, faz-se a seguir alguns comentários sobre como trabalhar com a mesma considerando os recursos do banco de dados relacional adotado para este trabalho.

4.9.1 - Adequação da base de dados

A base de dados *MDPP*, no modo como é estruturada na sua forma raiz é constituída de 87 (oitenta e sete) tabelas ou classes disponíveis para modelamento de dados de produto e peças, devendo ser ajustada a cada caso particular ou a cada tipo de modelamento desejado. Como aconteceu nos três estudos de casos desenvolvidos, que serão mostrados no Capítulo 5, representou-se três tipos diferentes de situações de projeto de peças, as três bases foram montadas partindo-se da mesma raiz, a *MDPP_Geral*.

Entretanto, é necessário estabelecer “o que” se quer com o modelamento a ser feito, listando-se as características desejáveis relacionadas aos objetivos que se quer alcançar, para não correr-se riscos de inviabilizar o modelamento. Isso é feito antes de se montar o diagrama com o modelo de objetos para o modelamento desejado. O modelo de objetos deve estar muito bem elaborado antes de iniciar-se qualquer tipo de modelamento seja de produto ou peça. É uma prática que requer o conhecimento básico da orientação a objetos, pelo menos em relação ao modelo de objetos.

4.9.2 - Inserção de novos atributos e operações

Uma vez definidos os objetivos e as classes envolvidas na situação particular de projeto de peças, o próximo passo é conferir se os atributos (e operações) declarados em cada classe convergem para o objetivo que se quer. É possível adicionar-se atributos e operações não contidos na base raiz. Deve-se, de igual forma, definir-se as características dos campos de cada classe/tabela.

Definidos todos os atributos e operações de todas as classes, o próximo passo é efetuar os relacionamentos entre elas no quadro de relacionamentos quando puderem ser ali representados. Caso contrário, terão que ser representados individualmente em cada consulta. Cada tipo de associação tem características a serem modificadas ou mantidas. As situações normais geralmente vem como “*default*”.

4.9.3 - Inserção de dados e informações

O usuário final, aquele que irá manipular diariamente a base de dados específica de um dado projeto, deve ter disponibilizados na tela de seu computador, apenas os “*formulários*” referentes às consultas e/ou tabelas que dizem respeito a sua função específica na área de projeto. O acesso a tabelas, consultas, formulários, etc., da base de dado, pode ser assegurado através de senhas específicas para cada nível de usuário durante um projeto.

Com a base de dados da aplicação pronta, é possível iniciar-se a inserção dos dados referentes ao problema específico de projeto. Deve-se inserir todos os dados e informações de todas as tabelas ou classes, antes de começar a realização de consultas. Como trata-se de um processo de modelamento interativo, isto é, durante o uso da base, os dados a serem inseridos têm relação entre si, as informações desejadas podem ser filtradas e manipuladas imediatamente após o preenchimento de todas as classes e respectivos relacionamentos.

4.9.4 - Preparação de consultas

Antes de serem realizadas as consultas, o usuário deve definir exatamente as informações e dados que deseja. Para um melhor aproveitamento dos recursos disponibilizados pelo modelamento orientado a objetos estruturado em banco de dados relacional, o usuário deverá ter pelo menos um conhecimento básico do que deseja obter. Somente desta forma conseguirá disponibilizar as informações requeridas de forma clara e recuperável.

Em consultas onde a recursividade for do tipo implícita, é necessário ter-se um maior conhecimento a cerca dos comandos disponibilizados pelo próprio banco de dados relacional. O conhecimento prévio da linguagem *SQL* para o usuário da área de projeto na utilização da base de dados *MDPP* é uma vantagem, visto que há a disponibilidade de montar-se todas as tabelas e seus relacionamentos por meio da linguagem *SQL*.

4.9.5 - Atualização e/ou alterações de dados

As atualizações e alterações de dados são feitas diretamente nos formulários customizados, que são a interface entre projetista e base de dados. Como já citado, é possível desenvolver-se uma hierarquia de acesso a dados com prioridades definidas com base no envolvimento do usuário em cada tipo de projeto de produto, conjunto ou peças que a empresa experimenta, no âmbito de seu departamento ou sessão de projeto de sistemas mecânicos.

Qualquer alteração que deva ser feita em qualquer tipo de dado e em qualquer uma das tabelas deve ter seu histórico registrado para evitar-se contratemplos inesperados. Sendo assim,

um atributo de “observações ou comentários gerais” é de fundamental importância, já que, se corretamente preenchidos, será o histórico das intenções do projetista ou equipe de projeto.

4.10 - Resultados

A utilização de um aplicativo comercial na elaboração de um trabalho acadêmico, tem vantagens e desvantagens. Como desvantagens, não tem-se acesso ao código fonte, uma vez que utilizou-se um programa computacional comercial que não permite essa prática. Assim, a estrutura montada sobre um aplicativo comercial, como é o caso das estruturas orientadas a objeto mapeadas nas bases MDPP, embora tenha seu mapeamento desenvolvido sobre novos conceitos, apresenta resultados satisfatórios com o jargão do “*software*” utilizado para tal.

Contudo, no caso da base de dados desenvolvida para este trabalho, sua aplicação está voltada ao processo de projeto de produto, no projeto funcional e conceitual específico *de cada peça que compõe o produto*, o que justifica sua primeira vantagem, baseado nos resultados dos estudos de casos realizados e mostrados no Capítulo 5. Uma segunda vantagem é a utilização do trabalho como fonte de outras pesquisas relacionadas ao mesmo contexto.

Entretanto, vê-se que a abertura das discussões e dos estudos sobre a estruturação funcional e conceitual voltadas exclusivamente às peças, sob o enfoque dos conceitos da orientação a objetos, é a grande vantagem deste trabalho.

A capacidade de inter-relacionamento entre as diversas classes do modelo, está intimamente relacionada com as diversas alternativas de relacionamentos entre funcionalidades, conceitos e geometrias. Num futuro próximo, ter-se-á condições de inter-relacionar as estruturas funcionais, conceituais, preliminares e detalhadas de todas as peças de um produto, peça a peça, conjunto a conjunto, de um produto industrial.

4.11 - Considerações

Neste capítulo foram apresentadas as características principais da base para modelamento de dados de peça. O aplicativo sobre o qual a mesma foi desenvolvida e seus recursos básicos, foi descrito e exemplificado, assim como as principais classes de objetos que formam os modelos das estruturas funcionais e conceituais de produto e peça, apresentados.

Para orientar aqueles que vierem a interessar-se por uma utilização piloto da base MDPP, foi acrescentado um sub-item com procedimentos gerais de como utilizá-la.

Finalmente, fez-se algumas considerações a cerca da capacidade de inter-relacionamento entre as classes do modelo, dando ênfase às funcionalidades características de cada peça.

CAPÍTULO 5

Estudo de casos

5.1 - Introdução

A avaliação da base de dados para modelamento e representação de peças é realizada a partir de estudos de casos. Neste capítulo, três estudos de casos são apresentados. A base de dados *MDPP_Geral* é utilizada, sendo adaptada a cada um deles, obedecendo às suas particularidades.

O primeiro estudo de caso avaliado é o reprojeto de um conjunto isolado pertencente a um equipamento que aciona contactores elétricos de uma rede de alta tensão. Neste estudo gera-se a base de dados *MDPP_Acionador*, cuja estrutura de dados é constituída de 22 (vinte e duas) classes, como detalhado na Figura C.10 do Anexo C.

No segundo estudo de caso, faz-se a estimativa de custos referentes à manufatura das peças que compõem um implemento agrícola, em que são definidas as operações de custos nas classes do modelo, com informações que dizem respeito aos cálculos dos custos de fabricação. Neste caso, gera-se a base de dados *MDPP_Custos*, composta por 20 (vinte classes), como detalhado no Anexo D, onde operações a cerca da estimativa dos custos envolvidos são executadas com base numa estrutura que envolve apenas custos diretos operacionais de fabricação e de matérias primas.

O terceiro estudo de caso, modelado na base de dados *MDPP_J&J*, compõe-se de três classes básicas, como apresenta-se no Anexo E, envolvendo o modelamento de dados de peças fabricadas e adquiridas comercialmente para o projeto de uma máquina industrial, onde serão avaliados dados e informações referentes a representação e disposição dos dados da estrutura hierárquica do produto.

Nos estudos de caso 1 e 3 trabalhou-se apenas com atributos nas classes das estruturas modeladas, enquanto que no estudo de caso 2, trabalhou-se com atributos e operações.

5.2 - Primeiro estudo de caso: Conjunto de acionamento

O objeto deste caso é um conjunto constituído por peças fabricadas e peças comerciais, utilizado para o acionamento de um seccionador de alta tensão em redes de transmissão de energia elétrica. Este conjunto é movido por um eixo denominado “*eixo da coroa*”, que recebe transmissão de um primeiro eixo movido por um motor elétrico com rotação de 1750 rpm,

acoplado a um redutor. O conjunto é utilizado em média quatro vezes ao dia, tendo na saída uma rotação equivalente a 5 rpm com um torque aproximado de 350 N.m.

O *eixo da coroa* é acoplado ao conjunto através de flanges fixados por parafusos. O torque e a rotação são transmitidos até uma *coroa* cônica na saída do *eixo da coroa* que é acoplada a um *pinhão*, também cônico, solidário ao *eixo do pinhão* que comanda os movimentos de vai-e-vem do *braço* dos elementos que ligam e desligam os *contactores* elétricos.

Este reprojeto é voltado à substituição dos componentes que do mecanismo que estão provocando o seu desgaste excessivo. A alteração efetuada sobre os componentes de maior desgaste implicará na substituição de algumas outras peças que integram o conjunto, desde o *flange de entrada da transmissão* até a *coroa*. O restante do mecanismo, envolvendo *pinhão*, *eixo do pinhão*, *buchas de apoio* e *pinos de fixação*, são preservados.

O motivo do reprojeto é o aparecimento de folgas excessivas entre *coroa* e *pinhão*, decorrentes de um elevado desgaste no mancal de escorregamento de apoio do *eixo da coroa*.

5.2.1 - Projeto original

O equipamento ao qual o conjunto sob reprojeto pertence é utilizado para ligar e desligar um contator elétrico por onde passa uma voltagem de aproximadamente 500 kV. Para realizar esta tarefa, um mecanismo de braços articulados é acionado a partir do eixo de saída (*eixo do pinhão*) do conjunto que recebe transmissão de rotação e torque de um par coroa/pinhão do conjunto estudado, veja detalhe na Figura 5.1. O mecanismo com braços articulados é estendido em balanço da posição inativa até efetuar o contato elétrico, com um curso de aproximadamente seis metros.

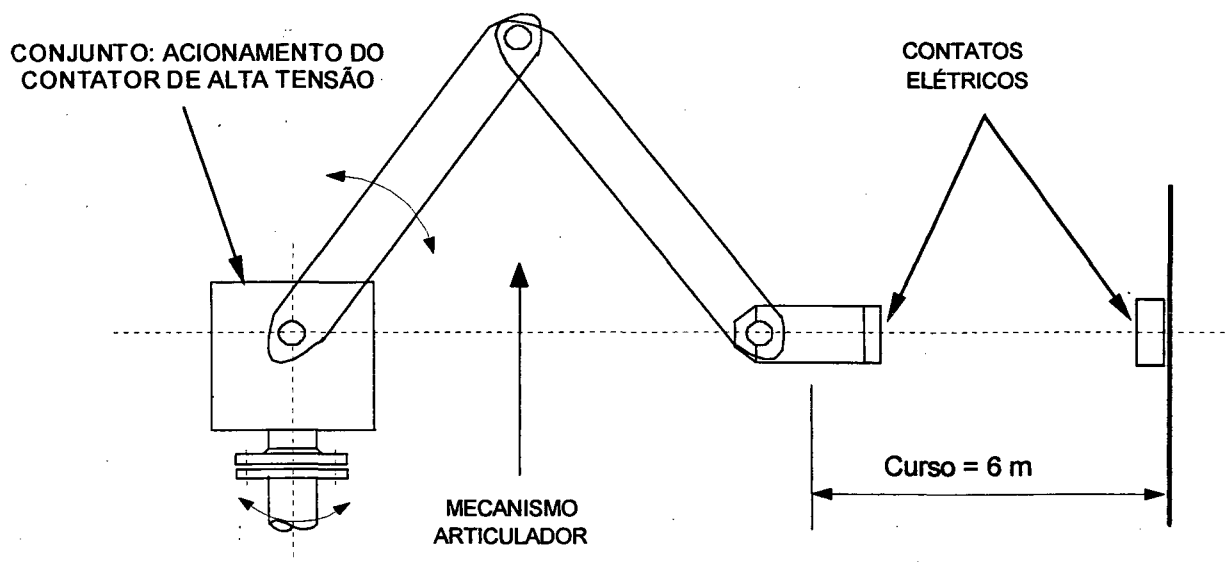


Figura 5.1 – Esquema básico do equipamento de acionamento do contator de alta tensão.

O conjunto utilizado atualmente compõe-se de peças acopladas por meio de pinos de travamento que sofrem solicitações de cisalhamento quando em operação. De uma forma geral, o equipamento como um todo requer precisão nos movimentos que executa, até que o contator elétrico atue, exigindo contato sem folgas. As folgas são indesejáveis, principalmente por questões de segurança no ambiente de trabalho, para evitar riscos de acidentes antes e depois de ocorrer o acoplamento do contator.

A Figura 5.2, mostra o desenho esquemático do projeto inicial onde podem ser visualizados os pinos que fazem o acoplamento da *coroa* ② ao *eixo da coroa* ③ e do *pinhão* ④ ao seu *eixo do pinhão* ⑤. Como as solicitações, apesar de esporádicas, são grandes no momento do acionamento, pelo fato do mecanismo articulado estar em balanço, ocorre um alto nível de desgaste entre essas peças que devem ser então reprojatadas.

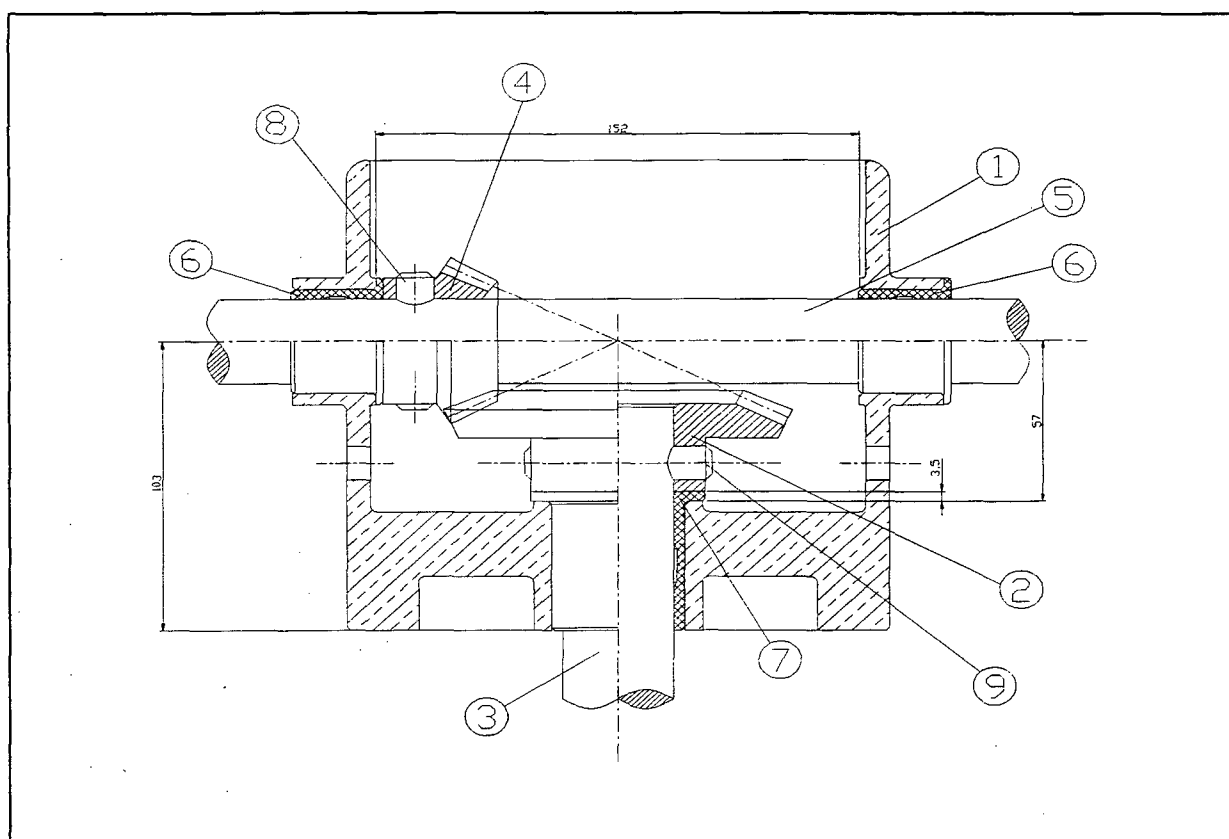


Figura 5.2 – Projeto inicial do conjunto de acionamento do contator de alta tensão.

A Tabela 5.1 mostra a relação das peças do conjunto de acionamento antigo. Os desenhos detalhados das peças reprojatadas são mostrados no Anexo C.

Tabela 5.1 – Legenda das peças do conjunto de acionamento antigo.

Peças do acionamento do contator – conjunto antigo	
Nº	Nome
1	Caixa
2	Coroa
3	Eixo da coroa
4	Pinhão
5	Eixo do pinhão
6	Bucha do eixo do pinhão
7	Bucha do eixo da coroa
8	Pino do pinhão
9	Pino da coroa

5.2.2 - Reprojeto

No reprojeto deste conjunto, por solicitação do cliente, pensou-se em um tipo de dispositivo que fornecesse um nível de transmissão de rotação e torque mais seguros e adequados ao ambiente de trabalho no qual o conjunto se insere.

A elaboração das estruturas funcional, conceitual, preliminar e detalhada do novo conjunto e de cada uma de suas peças, de maneira a atenderem os requisitos de projeto listados no próximo item, são os propósitos deste estudo de caso. Para tal é necessário o conhecimento das funções básicas do conjunto e de suas peças, de modo a ter-se claro quais as características passíveis de serem ou não adicionadas na elaboração e reconfiguração do projeto e em paralelo, estudando-se também forma adequada para a inserção destes dados na estrutura da base de dados para futuros estudos de casos.

Presume-se que o processo de definição de uma solução factível para as estruturas funcionais do produto, seus conjuntos e suas peças, deva ser elaborado, sob a análise, avaliação e retro-alimentação dos requisitos técnicos e econômicos, que envolvem não apenas o projeto, como também os processos de fabricação dos mesmos, que são imprescindíveis nesta escolha.

Para estabelecer-se as correlações entre novas funções e formas no reprojeto das peças, julga-se muito importante ter-se como base, os efeitos que estas relações funcionais e conceituais possam causar nos requisitos de projeto do produto e estes, nos requisitos de projeto de cada novo conjunto e finalmente de cada nova peça.

A alteração de uma função a nível de produto, muitas vezes inviabiliza um reprojeto, partindo-se para um produto novo. Outras vezes, a modificação de funcionalidades a nível de conjunto, desencadeia grandes alterações nas estruturas funcionais das peças que o compõem e também daquelas que, por interface, “movem” ou são “movidas” pelas primeiras.

Portanto, um estudo minucioso deve ser feito a cerca de que soluções de compromisso serão afetadas pelas alterações de funcionalidades ligadas ao reprojeto.

5.2.3 - Requisitos do projeto do conjunto

Buscou-se classificar os requisitos de projeto de acordo com as fases do processo de projeto do produto dentro de seu ciclo de vida. Conseqüentemente, tem-se os requisitos subdivididos em requisitos de:

- (1) Projeto mecânico: que seja um projeto rápido, fácil e de dados estruturados.
- (2) Custos: o custo total do produto não pode ultrapassar a um valor limite estipulado. De igual forma, os custos relacionados às peças comerciais e fabricadas.
- (3) Fabricação: as peças devem ser fabricadas dentro dos padrões estabelecidos pela norma *ISO 9000*. Peças adquiridas comercialmente devem ser referenciadas com base em sua nomenclatura técnica com indicativos de fornecedores qualificados.
- (4) Montagem: montagem fácil, “*spare parts*” de fácil aquisição, não necessitar de muitos equipamentos para montagem e que a mesma não seja onerosa.
- (5) Funcionalidade do conjunto: ser um conjunto silencioso, seguro, com nível baixo de vibrações. Sua funcionalidade deve assegurar movimentos retilíneos de ida e volta da parte terminal dos braços de acionamento, para que no momento do contato elétrico não ocorram trepidações na região do contato.
- (6) Manutenção: prever uma fácil manutenção corretiva, ter garantia de manutenção preventiva periódica programada e possibilitar acesso rápido ao conjunto.

5.2.4 - Definição das estruturas de dados

O projeto do conjunto é elaborado sobre a base de dados *MDPP* “*Modelamento de dados para Projeto de Peças*”. Das estruturas mapeadas na base de dados, defini-se as que serão utilizadas neste estudo de caso, aquelas que dizem respeito ao projeto de apenas um conjunto onde a recursividade da estrutura hierárquica de produto definida não será utilizada. As estruturas de dados estudadas neste caso são:

- (1) Estrutura funcional do conjunto;
- (2) Estrutura conceitual do conjunto;
- (3) Estrutura funcional das peças;
- (4) Estrutura conceitual das peças.

5.2.5 – Análise funcional para o reprojeto

Considerando-se os requisitos listados anteriormente, definiu-se as estruturas funcional e conceitual do conjunto que foi reprojeto. Iniciando-se pela função global, foram determinados o efeito, portador de efeito, princípio de solução e demais funções do conjunto.

Objetivo do reprojeto do conjunto

O objetivo do reprojeto é “Eliminar/reduzir as folgas decorrentes do desgaste”. Para tal faz-se necessária a função parcial do conjunto, aqui denominada *FP1*, em relação ao produto onde está inserido, conforme especificado na tabela da classe *Classe_FP*, desta base de dados

FP1 = “Transmitir torque e rotação do flange de transmissão ao eixo do pinhão, sem folgas”.

Para atender ao objetivo do reprojeto, em detrimento da função parcial do produto *FP1* que a corresponde, adotou-se os seguintes elementos conceituais:

Efeito adotado – mancal de rolamento montado em superfície cilíndrica.

Portador de efeito – para eliminar, ou pelo menos reduzir as folgas provenientes do elevado desgaste, adotou-se o apoio por mancal de rolamento.

Princípio de solução adotado – o princípio de solução adotado para o conjunto é então um mancal de rolamento de contato angular de dupla carreira de esferas, montagem “O”.

Funções elementares do produto correspondentes à função parcial *FP1*

Montagem do flange: FE1 = Posicionar o conjunto flange/eixo/coroa em relação ao eixo de saída, sem folgas.

Fixação radial

Fixação axial

Transmissão de torque

Montagem do rolamento: FE2 = Transmitir torque e rotação da entrada para a saída do conjunto.

Fixação radial

Fixação axial

Montagem da coroa de acionamento: FE3 = Transmitir torque e rotação para a saída do conjunto.

Fixação radial

Fixação axial

Transmissão de torque

Os princípios de solução descritos a seguir, foram adotados sem análise de alternativas, uma vez que não é esse o propósito desta etapa do trabalho.

Princípios de solução de produto adotados

Montagem do flange para FE1:

Eixo ranhurado com encosto

Fixação com porca e arruela

Montagem do rolamento para FE2:

Anel interno:

Sede cilíndrica

Fixação com ressalto do eixo da coroa e face do cilindro do flange

Anel externo:

Apoio no anel externo, bucha de apoio, em carcaça de alumínio fundido.

Montagem da coroa de acionamento para FE3:

Eixo ranhurado

Anel de apoio

Porca com anel de fixação

5.2.6 - Estruturas funcional e conceitual do reprojeto

O conjunto que se quer reprojeter está inserido em um conjunto maior, ou produto, que tem como função global acionar o seccionador ou interruptor de alta tensão. Pode-se decompor sua estrutura funcional, como mostrado na Tabela C.1 do Anexo C, tendo como ponto de partida sua função global do produto, *FG = Acionar o seccionador de alta tensão*.

A função parcial de interesse é a *FPI = Transmitir torque e rotação do eixo de transmissão ao eixo do pinhão, sem folgas*, composta pelas funções elementares *FE1*, *FE2* e *FE3*, mostradas na Tabela C.2 do Anexo C.

As *funções elementares da peça* geram elementos conceituais, denominados “*features*” *conceituais*, que compõem os *grupos funcionais da peça*. Estes últimos, realizam as *funções globais das peças*, as *funções parciais* de cada conjunto e finalmente a *função global do produto*.

Uma grande quantidade de formas e de tipos de peças podem ser concebidas para a realização das *funções elementares do conjunto* definidas. Esta busca deve ser baseada nos *requisitos de projeto do conjunto* e deve ser realizada dentro de uma estrutura de dados onde suas diversas etapas de concepção possam ser registradas e re-utilizadas, quando necessário.

Com a definição das funções elementares finaliza-se a estrutura funcional do conjunto. Observa-se que este conjunto, ao ser modelado e analisado separadamente do equipamento ao qual se insere, é considerado como produto dentro da base de dados *MDPP_Acionador*.

A estrutura conceitual do conjunto tem início com a escolha dos efeitos disponíveis à realização de sua função parcial e elementares, como mostrado na Tabela C.3 do Anexo C, cujos atributos compõem a classe *Classe_EF*. Para estes *efeitos* foram considerados os *portadores de efeitos* relacionados na Tabela C.4 do Anexo C, que devem portar elementos físicos que consigam realizar as *funções elementares do conjunto* definidas anteriormente.

A conjunção do *efeito* mais o correspondente *portador de efeito*, resulta no *princípio de solução* para a execução da *função elementar do conjunto*. A Tabela C.5 do Anexo C, mostra atributos da classe *Classe_PS*, que identificam os princípios de solução de produto/conjunto.

5.2.7 - Estruturas funcional e conceitual das peças do reprojeto

A partir da definição dos princípios de solução para as *funções elementares do conjunto*, determina-se as funções a nível de peça a serem realizadas. Elabora-se a estrutura de funções a nível de peça subdividida em *funções globais, parciais e elementares de peça*. A estrutura funcional do conjunto novo é mostrada na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Hierarquia funcional do conjunto de acionamento do seccionador – estudo de caso 1.

FG = Acionar seccionador de alta tensão (Função Global do equipamento)	FPI = Transmitir torque e rotação do eixo de transmissão ao eixo do pinhão	FE1 = Receber torque e rotação da transmissão principal	FGp1 = Acoplar o flange da transmissão primária
		FE2 = Transmitir torque e rotação do acoplamento do flange ao eixo do pinhão	FGp2 = Acoplar eixo da coroa
			FGp6 = Apoiar externamente e radialmente mancal de apoio do eixo da coroa
			FGp7 = Apoiar axialmente o mancal de apoio do eixo da coroa
			FGp8 = Apoiar eixo da coroa para transmissão de rotação
			FGp9 = Fixar elementos de apoio do acoplamento e do eixo da coroa na carcaça
			FGp10 = Fixar o eixo da coroa no acoplamento de entrada e no elemento de transmissão de torque para o eixo de saída
		FGp11 = Travar a fixação do eixo da coroa no acoplamento de entrada e no elemento de transmissão de torque para o eixo de saída	
		FE3 = Transmitir torque e rotação para o eixo do pinhão	FGp3 = Transmitir torque e rotação para o eixo do pinhão
			FGp4 = Transmitir torque e rotação do acoplamento ao eixo do pinhão
			FGp5 = Apoiar o eixo do pinhão

A Tabela C.6 do Anexo C, mostra os portadores de efeito relacionando-os com as peças que os representam e seus respectivos códigos de identificação. É importante que todas as funções globais de cada peça sejam determinadas antes de iniciar-se a análise funcional.

Uma vez determinadas as funções globais das peças que compõem o conjunto considerado, prossegue-se a análise funcional das peças com a determinação, a partir de cada *função global de peça (FGp)*, de suas respectivas funções parciais e elementares. Cada função global é composta por funções parciais que posteriormente serão realizadas pelos grupos funcionais da peça, que são solidários entre si e dependentes funcionalmente, uma vez que integram um mesmo volume de material.

A Tabela C.7 do Anexo C, mostra atributos das classes *Classe_FGp* e *Classe_FPp*, ou seja, as funções globais e suas respectivas funções parciais, analisadas para cada peça

Cada *função parcial da peça* é realizada por um *grupo funcional da peça* definidos por *princípios de solução de peça* adequados, sejam criados ou disponíveis em bibliotecas, considerando-se que a análise funcional deva ser executada apoiada em critérios ou requisitos de projeto e também em restrições e limitações consideradas durante o projeto.

As *funções parciais da peça*, assim determinadas são desdobradas em *funções elementares da peça*, necessárias a sua realização, como mostrado na Tabela C.8 do Anexo C, extraída da classe *Classe_FEp*. A Tabela C.9, do Anexo C, mostra a correlação entre as funções parciais da peça e suas respectivas regiões funcionais.

Após a definição das *funções elementares das peças* visa-se a determinação imediata de “*features*” a nível funcional, ou “*features*” *funcionais (feFU)*. Estas “*features*”, definidas nesta fase do projeto da peça na subclasse *Subclasse_feFU*, compõe-se das funcionalidades necessárias à correta realização *das funções parciais da peça*, às quais estão ligadas. Progressivamente, a classe mãe *Classe_Feature*, vai especializando-se através das subclasses *Subclasse_feCO*, *Subclasse_fePR* e *Subclasse_feDE*.

No projeto detalhado, como “*feature*” *detalhada (feDE)*, chega ao maior nível de refinamento em relação a projeto, em que é representada ou modelada geometricamente, apresentando dimensões finais e demais parâmetros pertinentes ao projeto detalhado. Desta fase em diante, passa a ser refinada a nível de manufatura.

Em relação aos grupos funcionais da peça, sua determinação é feita por meio da escolha dos *princípios de solução de peça* disponibilizados, sejam em bibliotecas de *princípios de solução de peça* ou do conhecimento prático e/ou teórico do projetista ou equipe de projeto.

A não existência de *princípios de solução de peça* para um determinado *grupo funcional da peça*, implica na sua criação por parte do projetista ou equipe de projeto, seguida de sua adição a uma biblioteca correspondente. Uma possível classificação de bibliotecas de princípios de solução é de acordo com o tipo de peça que se está projetando, isto é, prismáticas, rotacionais, laminares ou mistas. Tanto as rotacionais e prismáticas como as laminares e mistas, teriam seus *princípios de solução de peça* classificados e disponíveis em suas respectivas bibliotecas. Sugere-se ser este um tema a ser melhor avaliado para estudos em trabalhos futuros.

A Tabela C.10 do Anexo C, mostra os *princípios de solução de peça* escolhidos e/ou criados para a concepção das peças do estudo de caso 1.

A partir dos *princípios de solução de peça* estabelecidos anteriormente define-se, na Tabela C.11 do Anexo C, os *grupos funcionais da peça* correspondentes, que devem traduzir, pelo menos conceitualmente através de esboços, as possíveis formas da peça que está sendo projetada com um bom grau de definição visual.

Os *grupos funcionais da peça* são formados por objetos da classe *Classe_Feature* especializados pela subclasse *Subclasse_feCO*. A subclasse *Subclasse_feCO* é refinada a partir da subclasse *Subclasse_feFU*.

O modelamento e representação dos *grupos funcionais da peça* e respectivas “*features*” conceituais são descritos nos “*formulários*” da base de dados *MDPP_Acionador* sob os títulos *F_Cons_Desenho_Feature* e *F_Cons_Desenho_GFp*.

Para os *grupos funcionais da peça* definidos neste estudo de caso foram definidas 113 “*features*” conceituais. O detalhamento da análise estrutural destes dados, encontram-se na Tabela C.14 do Anexo C.

5.2.8 - Análise funcional das peças reprojatadas

(I). Análise do eixo da coroa

O *eixo da coroa* deverá ser constituído de pelo menos, três montagens subdivididas em regiões funcionais para o acoplamento da *coroa*, do *mancal de rolamento* e do *flange*. A disposição destas regiões funcionais está sendo considerada como mostrado na Figura 5.3. Entretanto, sabe-se que uma análise minuciosa deve ser feita antes da definição de regiões funcionais em que leva-se em conta os requisitos de projeto e as restrições e limitações derivadas dos requisitos de projeto do produto.

A simbologia utilizada na representação das *regiões funcionais da peça* (*RFp11, ..., RFp19*), provém da codificação usada na classe *Classe_RFp*

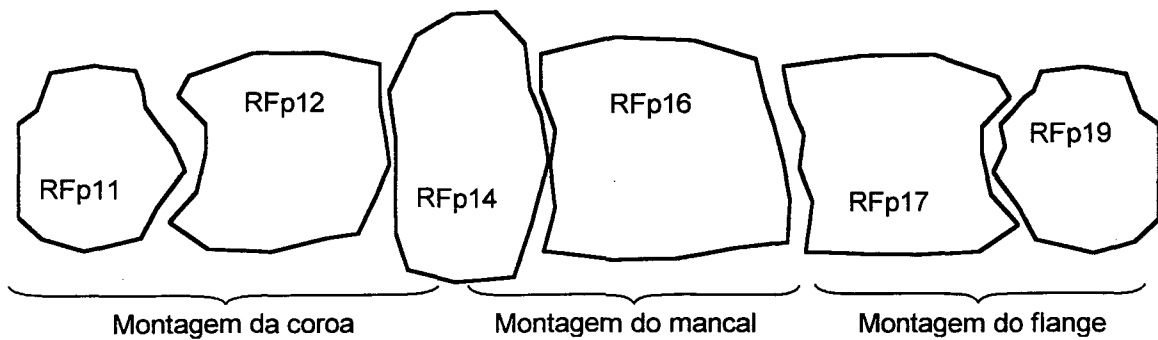


Figura 5.3 – Regiões funcionais do eixo da coroa.

A Figura 5.4, mostra o resultado do levantamento funcional para o *eixo da coroa*, em que identifica-se a nomenclatura funcional e as necessidades funcionais para cada volume de material da peça.

Abaixo são identificados os princípios de solução adotados para cada região funcional das peças reprojctadas.

Região funcional 11 - *Fixação axial superior da coroa*

- Rosca para a porca de fixação
- Ranhura da saída da rosca
- Ranhura anti-rotação
- Chanfro de entrada

Região funcional 12 - *Transmissão de torque e fixação radial da coroa*

- Eixo ranhurado (ϕ , N^o ranhuras)
- Rebaixo de saída (ϕ , altura)

Região funcional 14 - *Fixação axial inferior da coroa e fixação axial do mancal e do flange superior*

- Anel de apoio (ϕ , espessura)
- Concordâncias (r_1)
- Chanfros (a)

Região funcional 16 - *Apoio e fixação radial do mancal*

- Cubo cilíndrico (ϕ , tolerância no ϕ , h , concordância)
- Ressalto de fixação axial (ϕ'_s , altura, etc.)
- Fixação axial superior
- Contato com anel interno do mancal

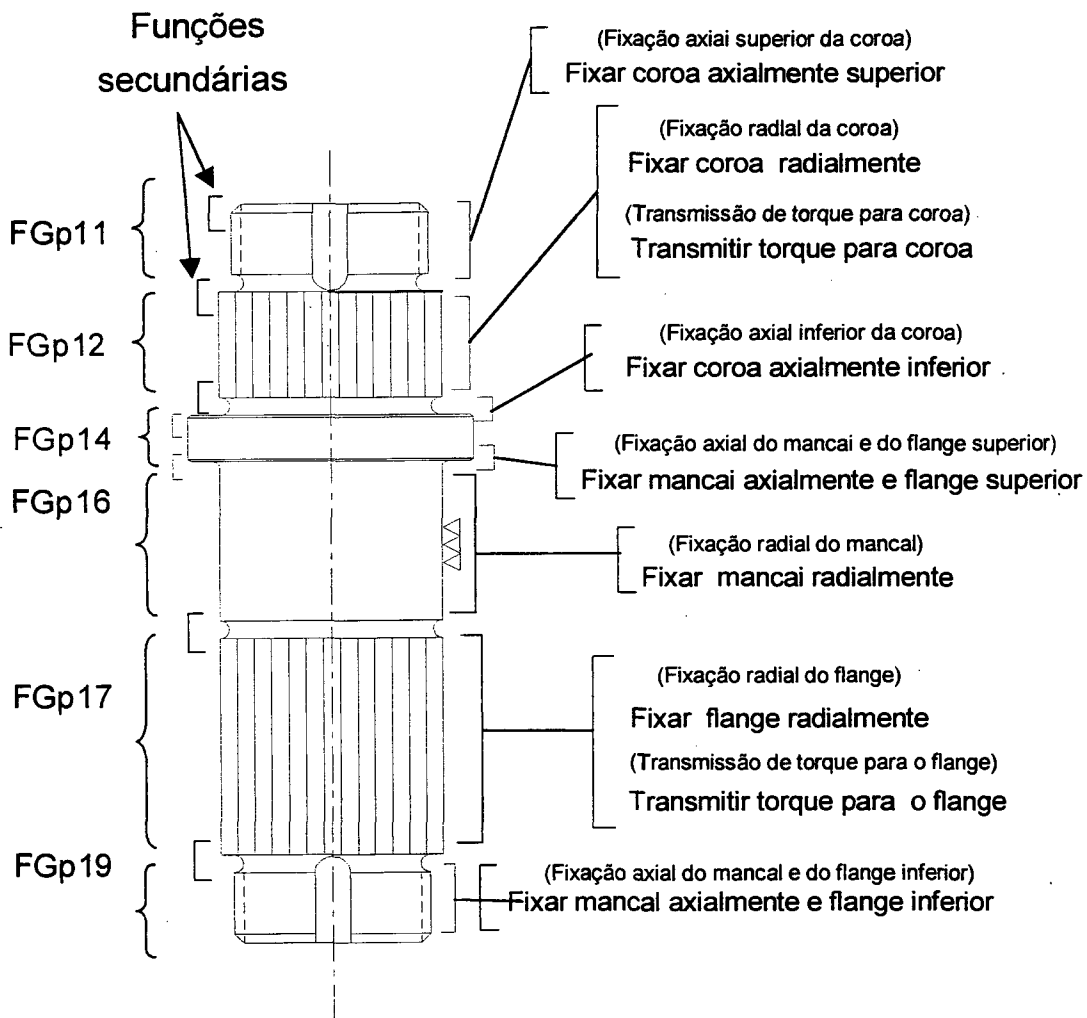


Figura 5.4 – Levantamento funcional do eixo da coroa

Região funcional 17 - Transmissão de torque e fixação radial do flange

Eixo ranhurado (ϕ , número de ranhuras, etc.)

Rebaixo de saída

Região funcional 19 - Fixação axial do mancal e do flange inferior

Rosca para a porca de fixação

Ranhura da saída da rosca

Ranhura anti-rotação

Chanfro de entrada

(II). Análise da coroa

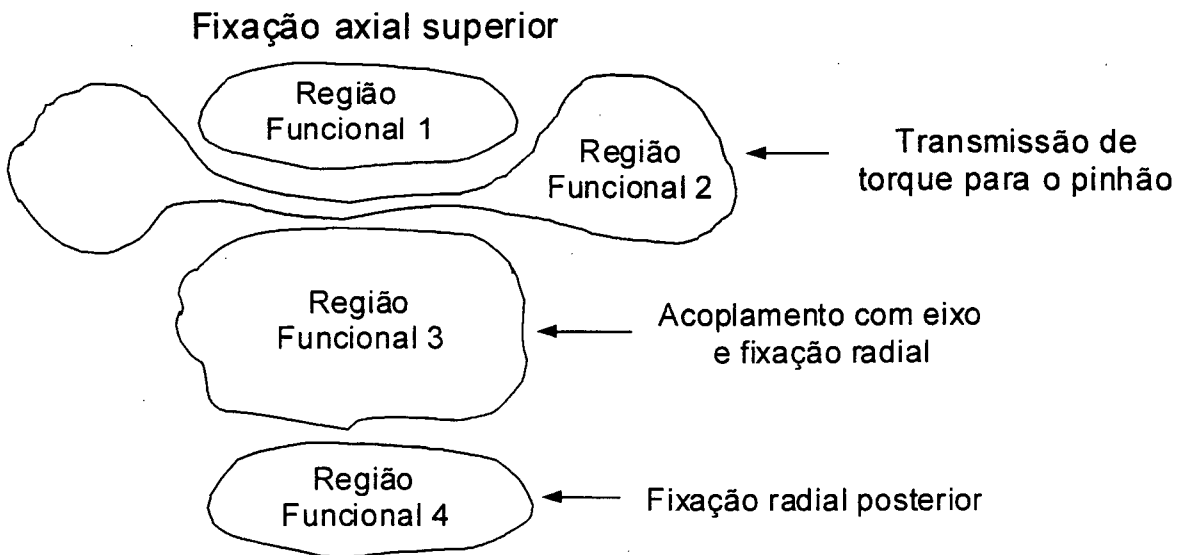


Figura 5.5 – Regiões funcionais da coroa.

Região funcional 1

Fixação axial superior

Rebaixo anelar interno de fixação axial do eixo (ϕ'_s , altura, etc.)

Região funcional 2

Transmissão de torque para o pinhão

Parte cônica de engrenamento (ϕ'_s , ângulo de inclinação, módulo, etc.)

Parte cônica de cabeça de engrenamento (ϕ'_s , altura, etc.)

Parte cônica de pé de engrenamento (ϕ'_s , altura, etc.)

Região funcional 3

Acoplamento com eixo e fixação radial

Parte cilíndrica ranhurada interna de fixação e acoplamento (ϕ'_s , altura)

Região funcional 4

Fixação axial posterior

Rebaixo anelar externa de fixação axial (ϕ'_s , h)

(III). Análise da bucha de apoio do rolamento

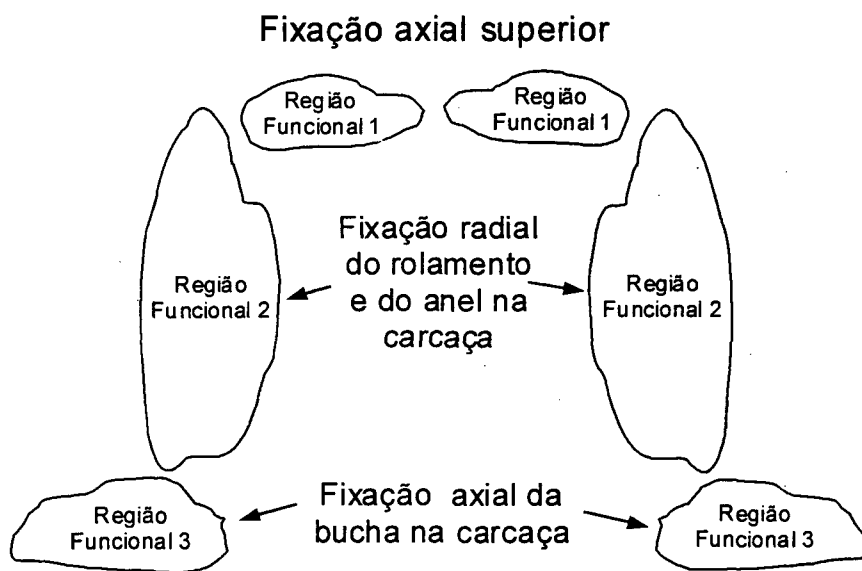


Figura 5.6 – Regiões funcionais da bucha de apoio do rolamento.

Região funcional 1

Fixação axial superior do mancal

Rebaixo cilíndrico de apoio axial (parâmetros dimensionais)

Chanfros cônicos de manuseio (ϕ'_s , altura, etc.)

Furos cilíndricos de passagem do eixo da coroa (ϕ'_s , altura, etc)

Região funcional 2

Fixação radial do mancal e do anel da carcaça

Parte cilíndrica anelar de apoio radial (parâmetros dimensionais)

Região funcional 3

Fixação axial da bucha da carcaça

Aba de fixação axial da carcaça (parâmetros dimensionais)

Chanfros cônicos de manuseio (ϕ'_s , altura, etc.)

Furos cilíndricos de passagem do eixo da coroa (ϕ'_s , altura, etc.)

(IV). Análise do anel de apoio do rolamento

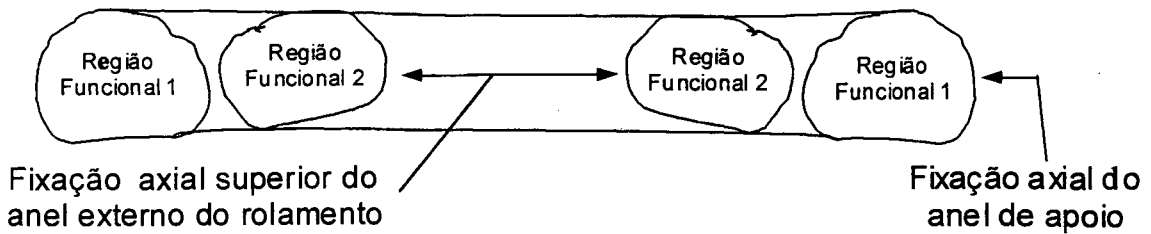


Figura 5.7 – Regiões funcionais do anel de apoio do rolamento.

Região funcional 1

Fixação axial inferior do anel externo do mancal

Cubo anelar de apoio da fixação axial (ϕ'_s)

Furos cilíndricos de fixação (ϕ'_s , altura, etc.)

Chanfros cônicos de manuseio (ϕ'_s , altura, etc.)

Região funcional 2

Fixação axial do anel

Chanfros cônicos de manuseio (ϕ'_s , inclinação, altura, etc.)

Furo cilíndrico para alojamento do cilindro do flange (ϕ'_s , altura, etc.)

(V). Análise do flange

Esta peça deve passar por um processo decisório quanto ao seu processo de fabricação devido a sua forma. Considerou-se que o processo escolhido tenha sido o de usinagem por torneamento de duas peças, seguido de uma soldagem e um posterior repasse.

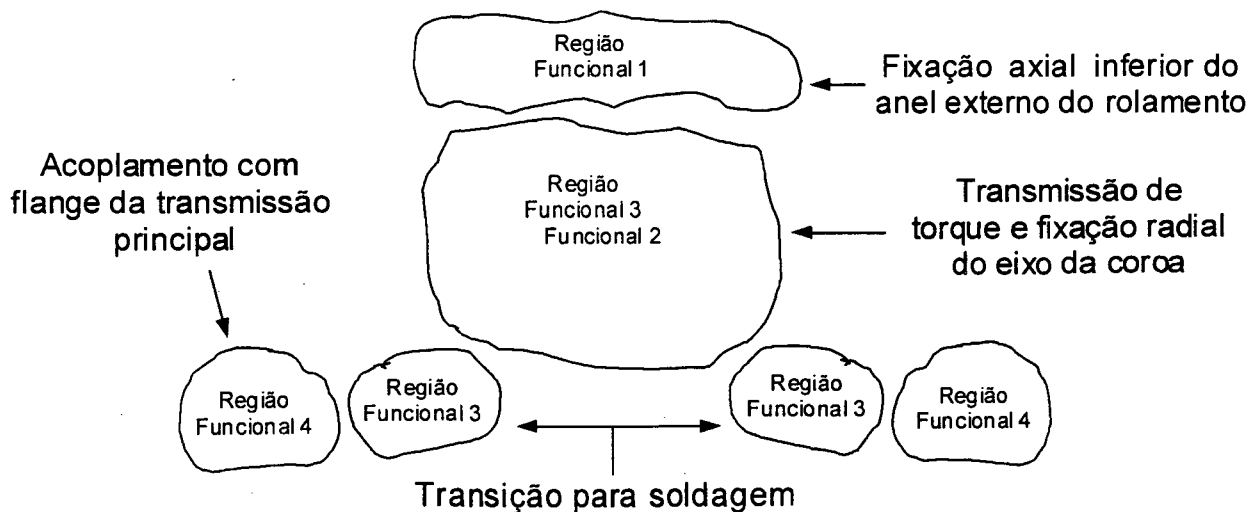


Figura 5.8 – Regiões funcionais do cilindro e anel do flange.

Habitualmente, um levantamento sobre qual processo de fabricação seja o mais adequado é realizado, com base nos requisitos de projeto do produto, conjunto ou peça.

Região funcional 1

Fixação axial inferior do anel interno do rolamento

Rebaixos e ressaltos anelares de fixação do anel interno do rolamento (ϕ'_s)

Região funcional 2

Transmissão de torque e fixação radial do eixo da coroa

Furo ranhurado de transmissão de torque (ϕ'_s , h, m, etc.)

Superfície de fixação radial do eixo

Região funcional 3

Ajuste de soldagem

Furos cilíndricos de fixação (ϕ'_s , h, a)

Chanfros cônicos de manuseio (ϕ'_s , α , h)

Região funcional 4

Fixação axial do flange de transmissão

Chanfros cônicos de manuseio (ϕ'_s , α , h)

Furo cilíndrico para alojamento do cilindro do flange (ϕ , h, a)

5.2.9 - Estruturas preliminar e detalhada das peças

Para complementar o reprojeto, mesmo não fazendo parte do propósito deste trabalho, desenvolveu-se em paralelo, os projetos preliminar e detalhado das peças projetadas nesse estudo de caso, cujos elementos serão descritos a seguir.

Com a definição dos *grupos funcionais de peça* do conjunto de acionamento do estudo de caso 1 e suas respectivas “*features*” *conceituais* na base de dados *MDPP_Acionador*, tem-se agora que buscar as soluções geométricas que realizem as funções globais da estrutura funcional de cada uma das peças, para a execução do projeto preliminar das peças e do produto.

A função parcial do conjunto, *FPI*, será realizada por um conjunto de peças cujas funções globais executem todas as funções elementares relacionadas na estrutura. Partindo-se deste princípio, a união dos grupos funcionais determinados para cada peça deve então compor um primeiro esboço do que devem ser as peças projetadas.

Esta síntese, voltada para a definição das formas que vão compor cada grupo funcional é guiada pelos *requisitos de projeto das peças*, isto é, nenhum detalhamento deve ter início antes de serem cumpridos os requisitos de projeto de cada peça individualmente.

No caso de um reprojeto, muitas das peças que se busca, já têm sua forma aproximadamente definida pelas configurações geométricas das peças antigas, que agora estão sendo reprojetaadas.

Nesta fase do projeto, as informações e dados gerados durante a fase de projeto conceitual de cada peça, deve ser utilizadas ao máximo, principalmente aquelas que traduzem de alguma forma, as intenções do projetista ou equipe de projeto, sejam elas de cunho informativo e essencialmente descritivas, sejam por meio de esquemas, esboços e indicações de montagens, etc. No caso de um reprojeto, vê-se ser muito importante considerar ainda o histórico do uso de cada peça que está sendo reprojetaada, para que não tenha-se que correr o risco de cometer-se possíveis erros que podem assim, serem evitados.

Os desenhos das peças reprojetaadas, elaborados em *CAD*, foram gerados com base nas informações das classes das estruturas funcional e conceitual da base de dados *MDPP_Acionador*. Os grupos funcionais de cada peça foram inicialmente esboçados e gradativamente unidos a medida que o “*lay-out*”, previamente elaborado para o novo conjunto, ia sendo verificado e desenvolvido.

A Tabela C.12, do Anexo C, mostra os grupos funcionais e suas correspondentes peças codificadas.

Os formulários *F_Classe_Desenho*, *F_Cons_Desenho_Feature* e *F_Cons_Desenho_GFp* mostram todos os croquis e desenhos elaborados durante a concepção das peças na base de dados *MDPP_Acionador*. Após sua elaboração, os desenhos em *CAD* das peças reprojetaadas foram inseridos via “*Objeto OLE*” nas classes *Classe_Desenho* e *Classe_Croquí*.

As Tabelas C.15 e C.16 do Anexo C, mostram a correspondência entre os códigos nas agregações de *conjunto* e *peça* e de *peça* com os *grupos funcionais da peça*. Na base de dados, estas tabelas correspondem a associações do tipo 1:n onde um objeto agrega “n” outros objetos que o compõem. A Tabela C.13 do Anexo C, mostra os grupos funcionais do conjunto e suas respectivas declarações tentativas de forma, que são suas possíveis soluções.

As Figuras C.8 e C.9 do Anexo C, mostram dois formulários de manipulação da base de dados *MDPP_Acionador*. São formulários típicos através dos quais o usuário realiza suas tarefas de projeto funcional e conceitual de produtos e peças.

A Figura 5.9 mostra o desenho de montagem final com detalhes das peças que foram reprojctadas e peças comerciais. A Tabela 5.3, contém a legenda das peças do acionador detalhadas nesta figura. O modelo orientado a objetos é mostrado na Figura B.9 do Anexo B.

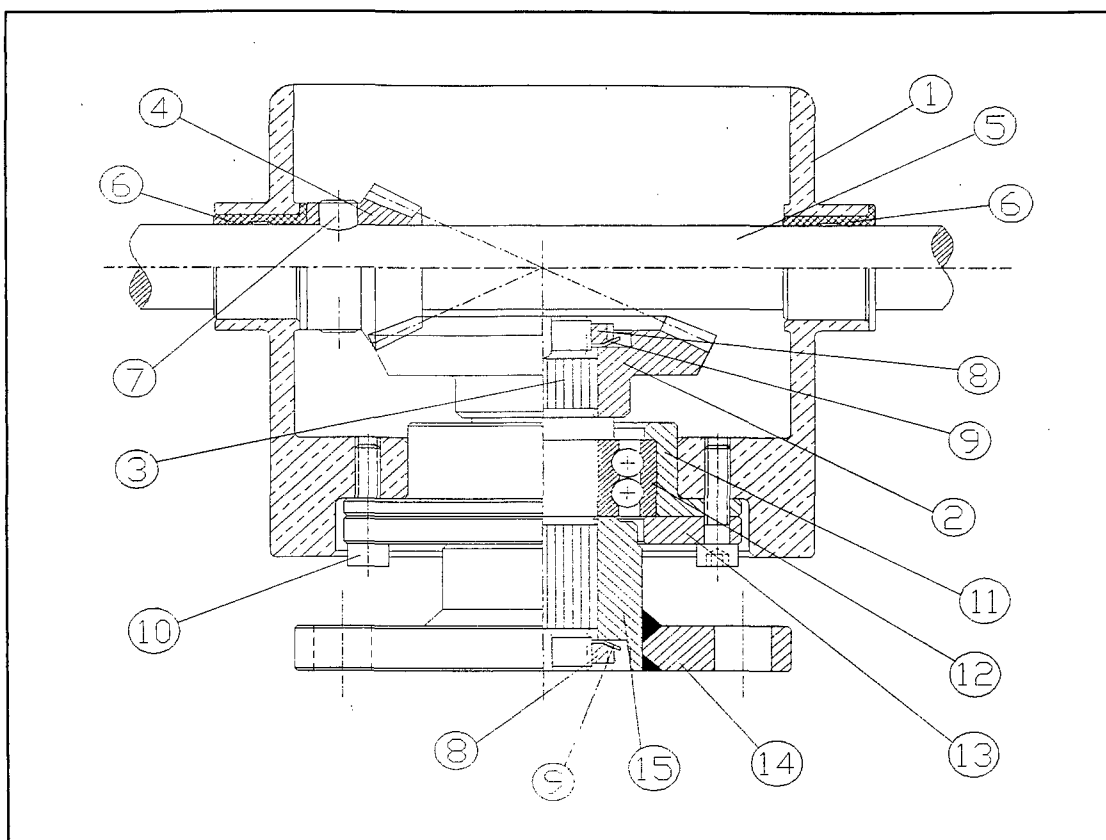


Figura 5.9 – Desenho do conjunto novo com detalhamento das peças fabricadas e comerciais.

Tabela 5.3 – Legenda das peças do conjunto de acionamento novo: estudo de caso 1.

Peças do acionamento do contator elétrico			
Nº	Nome	Obs	Manufatura
1	Caixa	Retrabalho	Fabricada
2	Coroa	Nova	Fabricada
3	Eixo da coroa	Novo	Fabricado
4	Pinhão	Mantido	Fabricado
5	Eixo do pinhão	Mantido	Fabricado
6	Bucha do eixo do pinhão	Mantida	Fabricada
7	Pino de engate	Mantido	Fabricado
8	Porca de fixação	Nova	Comercial
9	Arruela de segurança	Nova	Comercial
10	Parafuso	Novo	Comercial
11	Bucha de apoio do rolamento	Nova	Fabricada
12	Rolamento	Novo	Comercial
13	Anel de apoio do rolamento	Novo	Fabricado
14	Anel do flange	Novo	Fabricado
15	Cilindro do flange	Novo	Fabricado

5.2.10 - Resultados

Em vista do que foi estudado neste caso, conclui-se que a base de dados *MDPP_Acionador* é perfeitamente adaptável ao reprojeto de produtos. O conjunto analisado e reprojeto não possuía nenhum registro técnico que permitisse a visualização de sua estrutura funcional. Contudo, a indisponibilidade dessa documentação não foi impecilio na realização do reprojeto com o auxílio da base de dados.

Isso é relevante, principalmente quando trata-se de um reprojeto, onde muitas vezes o que se quer é apenas um melhoramento ou um “*improvement*” de parte de um equipamento, máquina ou sistema mecânico. Desta forma não vê-se restrições quanto a sua aplicação no reprojeto de conjuntos isolados que componham um determinado produto

A nomenclatura de funções, efeitos, portadores de efeito, princípios de solução e demais elementos envolvidos na análise funcional e conceitual de peças, feita com base na gramática funcional proposta na referência *LINHARES* [104], é uma tentativa de padronização das descrições das funções a fim de melhorar seu entendimento direto e das necessidades funcionais durante a elaboração das estruturas funcionais das peças e do produto.

Outro aspecto importante é a recuperação de informações e dados na base *MDPP*, feita por parte do usuário de projeto de acordo com as informações de seu interesse. Ao fazer uso da recursividade explicitada nos relacionamentos do modelo orientado a objetos da base de dados, o usuário pode acessar as consultas da *MDPP* rapidamente e levantar os dados que deseja. Esta visualização apenas será possível na manipulação da base de dados no computador. Maiores detalhes sobre as bases de dados *MDPP* podem ser encontrados no endereço eletrônico <http://www.grante.ufsc.br/~linhares>.

5.3 - Segundo estudo de caso: Estimativa de custos de fabricação

Este estudo de caso tem como objetivo o modelamento da estimativa de custos referente a material e mão-de-obra para a fabricação das peças de um produto, utilizando-se a base de dados de modelamento de dados para o projeto de peças *MDPP*. Tal levou também à necessidade de modelar o processo de fabricação de cada peça envolvida.

Para esta aplicação, buscou-se exemplos em duas dissertações de mestrado. A primeira, de autoria de *AMORIN* [44], tem como resultado um *implemento agrícola para abertura e adubação de sulcos no plantio direto* desenvolvido junto ao *NeDIP* - Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos da Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC e a

segunda, de autoria de FERREIRA [33], tem como resultado uma estrutura para *estimativa de custos de produtos na fase de projeto conceitual*, que utilizou a primeira como fonte de dados.

Para este estudo de caso, utiliza-se a metodologia e os valores referentes às estimativas de custos de material e mão de obra da segunda dissertação envolvidos na fabricação do implemento agrícola gerado na primeira.

5.3.1 - O equipamento

O implemento agrícola foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar no plantio de mudas de cebola, acoplado a um micro-tractor articulado, realizando as operações de abertura e adubação de sulcos e transplante de mudas de cebola. Para este estudo de caso são considerados apenas os custos referentes aos materiais, máquinas e mão de obra de fabricação das peças do implemento. Custos de “overheads” não são considerados, ao passo que os custos de montagem apenas serão considerados em trabalhos futuros, quando do desenvolvimento de uma estrutura de modelamento específica para montagens. A Figura 5.10 mostra um esquema básico do implemento agrícola do estudo de caso 2.

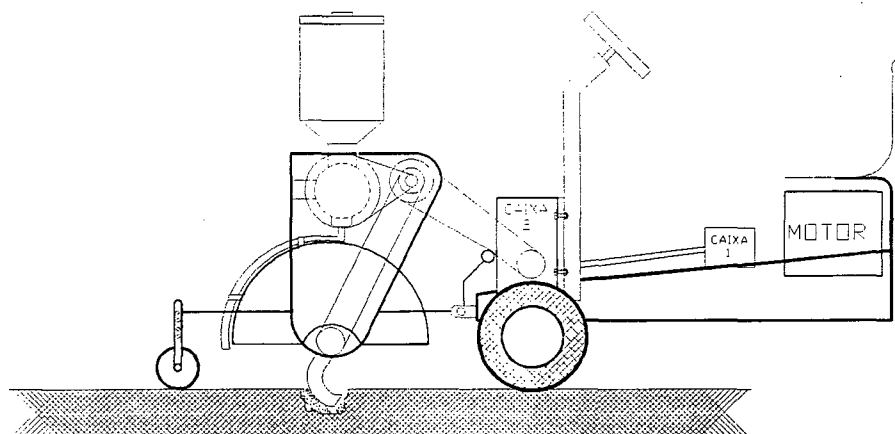


Figura 5.10 – Vista lateral do implemento agrícola com mini-tractor posicionado, [33].

5.3.2 - Análise do processo de fabricação

Com o fim de determinar-se as operações, o tempo das operações e o material necessários a cada peça, elaborou-se um procedimento de análise das peças fabricadas, descritas na Tabela D.1 do Anexo D, que gerou os dados comentados a seguir:

- (1) Análise da seqüência de fabricação com a criação do atributo “Status” da peça (St).
- (2) Determinação do fator de aproveitamento de material (η).
- (3) Codificação das operações de fabricação.
- (4) Estabelecimento dos tempos aproximados de cada atividade.

(I). Análise da seqüência de fabricação das peças.

A seqüência de operações é determinada com base na geometria de cada peça partindo-se sempre dos atributos, *Status_1* e *Status_2*. O indicador do *Status_1* da peça define em qual operação, a partir do valor zero (0), a peça está, assumindo valores de 0 até n, onde $n \in \mathbb{Z}$. O *Status_2*, simultaneamente, indica se aquela é ou não a última operação, assumindo valores 0 ou 1. A Tabela D.2 do Anexo D, mostra os parâmetros da análise do processo de fabricação da peça de número de desenho 1.1, pertencente à Tabela D.1, Anexo D, mostrada em detalhes na Figura 5.11, que apresenta a evolução do “*Status_1*” durante o processo de fabricação da peça.

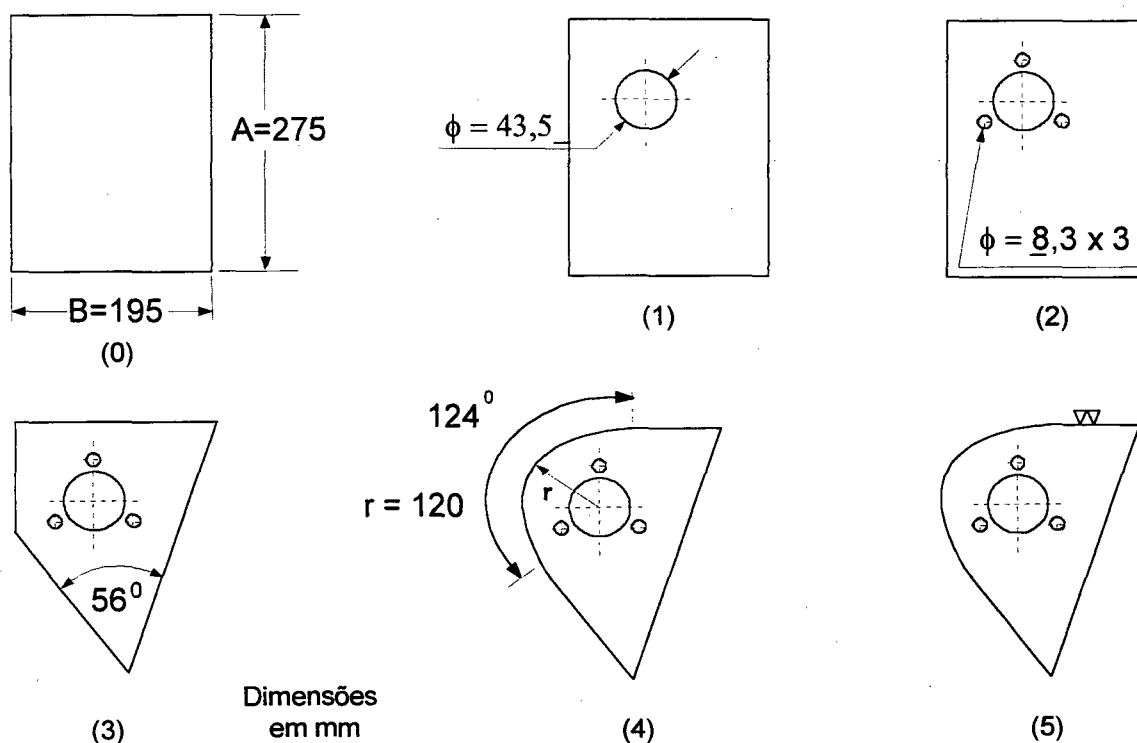


Figura 5.11 – Evolução do *Status_1* do valor 0 (zero) até o valor 5 (cinco).

As análise do processo de fabricação de todas as peças envolvidas neste estudo de caso é mostrada na Tabela D.3, Anexo D.

(II). Determinação do fator de aproveitamento de material (η)

Assume-se o fator de aproveitamento de material como sendo dado pela equação 5.1, onde é representado pela razão entre a quantidade de material da peça acabada, ou a quantidade de material que compõe a peça final e a quantidade de material bruto antes da fabricação, ou material bruto a partir do qual a peça é gerada, na maioria dos casos, o material cortado para a fabricação da peça. Esta relação pode ser expressa com base em parâmetros unidimensionais (m,

mm, etc.), bidimensionais (m², mm², etc.) ou tridimensionais (m³, mm³, etc.), de acordo com a unidade do peso unitário considerado, ou ainda diretamente em peso.

$$\eta = \frac{\text{Material_Peça_Acabada}}{\text{Material_Bruto}}, (0 \leq \eta \leq 1) \tag{5.1}$$

Salvo alguns casos onde tem-se deposição de material na peça, como eletro-deposição e alguns casos envolvendo processos de soldagem, o valor de η é sempre menor que a unidade e maior que zero, estando sempre diretamente relacionado com a quantidade de material da peça acabada e, conseqüentemente, com a quantidade de material retirado no processo de fabricação da peça e inversamente relacionado com a forma e disposição do corte da matéria-prima bruta antes do início da primeira operação de transformação. A Tabela D.3 do Anexo D, mostra alguns valores de η para as peças do estudo de caso.

(III). Codificação das operações de fabricação.

Para auxiliar as inserções de dados e a execução de “consultas” na estrutura da base de dados *MDPP*, viu-se por bem e igualmente, codificar as operações mais usuais envolvidas na fabricação do produto em questão. Desta forma, optou-se por estabelecer uma codificação numérica básica de 01 à 14 envolvendo as operações descritas na Tabela 5.4, onde estão respectivamente indicados os custos atualizados em reais (R\$) da hora/máquina (*) e da hora/homem (**), segundo as fontes assinaladas com asterísticos.

Tabela 5.4 – Códigos das operações usuais de fabricação de peças para produtos industriais.

Operação	Código	Hora/Máquina (R\$) (*)	Nível Máquina	Hora/Homem (R\$) (**)	Nível Operador
Corte em guilhotina	01	5,00	3	3,42	3
Corte Serra-Fita	02	5,00	3	3,42	3
Oxi-corte	03	7,50	2	6,82	2
Torneamento	04	10,00	1	10,24	1
Fresamento	05	10,00	1	10,24	1
Funilaria	06	5,00	3	6,82	2
Calandragem	07	5,00	3	3,42	3
Soldagem	08	7,50	2	10,24	1
Mandrilamento	09	7,50	2	10,24	1
Furação	10	5,00	3	6,82	2
Ajustagem/Acabamento	11	5,00	3	3,42	3
Pintura	12	7,50	2	3,42	3
Oxidação preta	13	7,50	2	3,42	3
Retifica	14	10,00	1	10,24	1

Os valores declarados na Tabela 5.4 foram consultados nas fontes indicadas a seguir. (*) a hora/máquina = consulta feita à Johnson & Johnson - Fábrica de Máquinas em São José dos Campos – SP em out/99. Tomou-se como referência três níveis de máquinas: nível 3, nível 2 e nível 1. (**) hora/homem = consulta feita ao Sindicato dos Metalúrgicos do Estado de São Paulo – SP. Tomou-se como referência três níveis salariais: nível 1 = 300,00 R\$ para operador iniciante, nível 2 = 600,00 R\$ para operador pleno e nível 3 = 900,00 R\$ para operador especializado, valores acrescidos de 100% relativos a encargos e considerando-se uma carga horária de 176 horas mensais.

(IV). Estabelecimento de tempos para as operações de fabricação

A Tabela D.3 do Anexo D, mostra a análise do processo de fabricação para as peças do estudo de caso 2, onde apresenta-se as quantidades brutas do material envolvido, assim como as quantidades de material de cada peça final. Observa-se também, a seqüência das operações de fabricação e seus respectivos tempos de fabricação utilizados posteriormente no cálculo do custo de mão de obra de cada uma das cinquenta e uma peças.

O fator de aproveitamento de material η , indica o quanto do material cortado ou bruto é aproveitado para a peça final, como definido anteriormente. O valor de η pode ser utilizado no cálculo do rendimento e dos custos dos materiais envolvidos na fabricação do produto, conjunto ou peças, sendo também um indicativo direto do aproveitamento de material.

O custo de matéria-prima ou materiais utilizados na fabricação de cada peça deve considerar, além do material usado para a fabricação da peça, os insumos de fabricação, como por exemplo, no caso de torneamento e fresamento, o óleo de resfriamento, rebolos de afiação de ferramentas, etc. Para efeito da análise de custos aqui elaborada, considera-se somente a parte referente aos materiais que compõem as peças.

O custo de mão de obra ou operações envolve dois tipos distintos de custos: o que diz respeito ao equipamento (hora/máquina) e o que se refere ao operador deste equipamento (hora/homem).

5.3.3 - A base de dados MDPP_Custos

Uma vez definida a análise a cerca do processo de fabricação das peças do implemento, estes dados são inseridos na base deste estudo de caso para gerar a estimativa dos custos correspondentes às atividades de fabricação e materiais e sua respectiva análise, de acordo com a referência [33]. Para tal, desenvolveu-se um modelo de objetos que utiliza instanciamentos das

classes *Classe_Peça_Acabada* e *Classe_Peça_SemiAcab*, onde os atributos “*Status_1* e *Status_2*” da classe *Classe_Peça_SemiAcab*, definem o estágio em que a peça se encontra durante seu processo de fabricação.

O modelo de objetos de custos proposto tem como base de referência o modelo de estimativa de custos utilizado por FERREIRA [33]. O modelo proposto dispõe, para modelagem das funções de matéria prima, as classes *Classe_MatériaPrima* e suas subclasses *Subclasse_Chapa*, *Subclasse_Barra* e *Subclasse_Tubo*, derivadas das classes *Classe_Cotação_Barra*, *Classe_Cotação_Chapa* e *Classe_Cotação_Tubo*, com as quais mantém associações simples, respectivamente.

Para a modelagem das atividades de fabricação tem-se as classes *Classe_Atividade*, suas subclasses *Subclasse_Hom* e *Subclasse_Maq* e ainda as classes derivadas *Classe_Cotação_Hom* e *Classe_Cotação_Maq*. Nas classes de cotação encontram-se os atributos onde são inseridos os valores dos custos atualizados de hora/homem, hora/máquina e matérias primas, em que se pode ter declarados dados referentes à dimensões, pesos e densidades de materiais metálicos e não metálicos utilizados na fabricação de peças industriais.

O preço do quilo do aço, do alumínio, do cobre e também os valores referentes de mão de obra segundo os níveis anteriormente estipulados, são típicos valores que devem ser inseridos nestas classes.

Os parâmetros indexados nas operações de “consulta” onde são efetuadas as estimativas dos custos do produto, vão depender dos valores atualizados da classes de cotação a proporção em que valores de mercado das matérias primas de construção mecânica sofram alterações significativas, como ocorre frequentemente com os preços de mercado do aço.

A Tabela 5.5, mostra os materiais que foram utilizados na fabricação das peças do implemento agrícola em estudo. Na avaliação para a escolha da bitola, espessura de chapa, diâmetro, enfim, das dimensões brutas da matéria prima a ser utilizada, deve-se comparar o custo do tempo necessário para o corte do material bruto com os custos relativos aos respectivos tipos de materiais disponíveis.

Muitas vezes corta-se o material mais barato, esquecendo-se de que o mesmo requer um tempo de corte grande, suficiente para inviabilizar a fabricação da peça com aquele tipo de matéria prima. Um estudo sobre a otimização do corte de chapas unidimensional é feito por CUNHA [107].

Tabela 5.5 – Relação dos materiais utilizados na fabricação das peças do implemento.

Chapas		Barras		Tubos	
Espessura	Nº Peças	Diâmetro	Nº Peças	Diâm. Nominal	Nº Peças
1,0 mm	2	φ 4 mm	1	φ 3" Schedule 80	1
2,0 mm	2	10 mm (Seção quadr.)	1	--*--	--*--
4,0 mm	6	φ 1/4"	1	--*--	--*--
5,0 mm	15	φ 1/2"	1	--*--	--*--
6,0 mm	2	φ 3/4"	1	--*--	--*--
7,0 mm	2	φ 7/8"	1	--*--	--*--
8,0 mm	1	φ 1"	2	--*--	--*--
2,0 mm (Galvaniz.)	2	φ 1 1/4"	2	--*--	--*--
--*--	--*--	φ 1 1/2"	3	--*--	--*--
--*--	--*--	φ 2 1/4"	1	--*--	--*--
--*--	--*--	φ 2 1/2"	1	--*--	--*--
--*--	--*--	φ 3"	1	--*--	--*--
--*--	--*--	φ 3 1/2"	2	--*--	--*--
--*--	--*--	φ 5"	2	--*--	--*--

A Figura D.3, Anexo D, reproduz uma tela da base de dados *MDPP_Custos*, onde pode-se observar dados referentes à chapa média de aço *SAE 1020* utilizada na fabricação da peça de código 19 (Placa suporte do eixo intermediário) do implemento.

A Tabela D4 do Anexo D, mostra a tela de comando da base de dados *MDPP_Custos*, com a descrição de suas classes e relacionamento.

5.3.4 - Modelo de objetos para a análise de custos

O modelo orientado a objetos é mostrado na Figura B.10, Anexo B, onde tem-se graficamente apresentada a estrutura de classes e suas associações.

A estrutura hierárquica de custos relacionados às peças é subdividida em duas classe principais, a classe *Peça_Acabada* e a classe *Peça_SemiAcab*, esta sendo recursiva com atributos indicadores da atividade de fabricação na qual a peça se encontra, ou sejam, *Status_1* e *Status_2* e ainda contendo os dados de fabricação para cálculos de custos como *tipo* e *quantidade de material* e *tempo de fabricação* para cada peça instanciada.

Para efeito deste estudo de caso, o custo de fabricação, dado pela equação 5.2, é estimado com base nos custos operacionais de fabricação e de matéria prima, que são os principais custos diretos. Os demais custos diretos e os custos de "overheads", como já citado, não serão abordados. Os custos operacional e de matéria prima são dados pelas equações 5.3 a 5.6, mostradas a seguir.

$$(CFabr)_i = (CMP)_i + (COP)_i \quad (5.2)$$

$$(CMP)_i = (CTMP)_i * (QMP)_i \quad (5.3)$$

$$(COP)_i = (t)_i * (HH_i + HM_i) \quad (5.4)$$

$$CFabrTot = \sum_n^{i=1} (CFabr)_i \quad (5.5)$$

$$(QMP)_i = (QMB)_i * (PUnit)_i \quad (5.6)$$

5.3.5 - A utilização de consultas na base de dados *MDPP_Custos*

As equações que processam os cálculos dos custos envolvidos neste estudo de caso são descritas na base de dados *MDPP_Custos* via “consultas” e seus resultados transferidos posteriormente às tabelas correspondentes à classe *Classe_Peça_Acabada*.

A consulta é o recurso mais importante de verificação de dados e informações de uma base de dados. Neste caso, esse recurso habilita o usuário a filtrar dados de interesse, atender à pesquisas de informações sobre peças, conjuntos e produto e ainda executar ações sobre dados e informações. De uma forma geral, através da consulta, define-se um determinado número de objetos, verificando-se resultados de um conjunto particular de atributos de interesse.

Uma consulta é formada por objetos criados a partir de campos selecionados em tabelas distintas. Além disso, também pode ser utilizada para atualizar tabelas, ou seja, com os resultados das consultas, pode-se atualizar os dados da tabela que representam as classes de origem dos objetos instanciados. Pode ainda ser utilizada para classificar-se dados da base de dados e visualizar-se subconjuntos de dados desta mesma base. A Tabela 5.7, mostra as principais consultas que foram elaboradas para o estudo de caso 2.

A Tabela 5.6, mostra as siglas das variáveis utilizadas na estimativa de custos via base de dados *MDPP_Custos*.

Tabela 5.6 – Variáveis utilizadas na estimativa de custos na base de dados *MDPP_Custos*.

Sigla	O que é	Onde é calculado
<i>CFabrTot</i>	Custo total de fabricação de todas as peças envolvidas no modelamento, dado em (R\$):	Calculado na planilha <i>Consulta_CFabrTot</i> da planilha eletrônica <i>EXCEL</i> , auxiliar da base de dados <i>MDPP_Custos</i> .
<i>(CFabrConj)i</i>	Custo total de fabricação de cada conjunto, dado em (R\$):	Calculado na consulta <i>Consulta_CFabrConj</i> , em função da totalização dos custos de fabricação individuais de cada peça que os compõem.
<i>(CFabr)i</i>	Custo de fabricação de cada peça, dado em (R\$)	Calculado na consulta <i>Consulta_CFabr</i> da estrutura de dados.
<i>(CMP)i</i>	Custo da matéria prima de cada peça, dado em (R\$)	Calculado na consulta <i>Consulta_CMP</i> da estrutura de dados
<i>(CTMP)i</i>	Custo unitário da matéria prima de cada peça, dado em (R\$):	Valores de cotações atualizados de mercado, declarados na classe <i>Classe_MatériaPrima</i> .
<i>(QMP)i</i>	Quantidade de matéria prima gasta em cada peça, dado em unidades de peso	Valor calculado na <i>Consulta_QMP</i> , éta, função do <i>QMB</i> da classe <i>Classe_Peça_Acabada</i> e do <i>PUnit</i> , peso unitário da classe <i>Classe_MatériaPrima</i> .
<i>(QMB)i</i>	Quantidade de matéria prima bruta, dada em unidades compatíveis com a unidade do peso unitário, que é dado normalmente em kg/m, kg/m ² ou kg/m ³	Valores declarados na classe <i>Classe_Peça_Acabada</i>
<i>(PUnit)i</i>	Valor do peso da matéria prima por unidade de medida, normalmente m, m ² ou m ³ :	Valor declarado na classe <i>Classe_MatériaPrima</i>
<i>(COP)i</i>	Custo operacional de fabricação de cada peça, dado em (R\$):	Calculado na consulta <i>Consulta_COP</i> .
<i>(HH)i</i>	Valor atualizado da hora/homem do operador para cada peça, dado em (R\$):	Valores declarados na classe <i>Classe_Fabricação</i> .
<i>(HM)i</i>	Valor atualizado da hora/máquina do equipamento ou máquina utilizada na fabricação de cada peça, dado em (R\$)	Valores declarados na classe <i>Classe_Fabricação</i> .
<i>(t)i</i>	Tempo de cada atividade de fabricação de cada peça, dado em (hs):	Valores estimados e declarados na classe <i>Classe_Peça_SemiAcab</i> , para cada atividade de fabricação

Tabela 5.7 – Relação das principais consultas da base de dados *MDPP_Custos*

Nome da Classe	Operação
<i>Consulta_QMP, éta</i>	Acha o valor da <i>QMP</i> em função dos valores da <i>QMB</i> da classe <i>Classe_Peça Acabada</i> e do peso unitário da classe <i>Classe_MatériaPrima</i> . Acha também os valores correspondentes de η em função dos valores de <i>QMB</i> e <i>QMF</i> .
<i>Consulta_CMP</i>	Acha o valor de <i>CMP</i> em função dos valores <i>CTMP</i> da classe <i>Classe_MatériaPrima</i> e de <i>QMP</i> , calculada anteriormente na <i>Consulta_QMP, éta</i> .
<i>Consulta_COP</i>	Acha o valor de <i>COP</i> em função dos valores de “ γ ” da classe <i>Classe_Peça_SemiAcab</i> e de <i>HH</i> e <i>HM</i> da classe <i>Classe_Fabricação</i> .
<i>Consulta_CFabrPeça</i>	Acha os valores dos custos individuais de fabricação de cada peça em função dos seus custos <i>CMP</i> , da <i>Consulta_CMP</i> e <i>COP</i> da <i>Consulta_COP</i>
<i>Consulta_CFabrSist</i>	Acha os valores dos custos de fabricação de cada sistema em função dos valores dos custos de matéria prima e operacional de fabricação de cada sistema.
<i>Consulta_CFabrTot</i>	Acha o valor do custo de fabricação total das peças fabricadas do produto em função dos valores dos custos de fabricação totalizados dos sistemas. (<i>Esta consulta é feita via totalização de dados na planilha eletrônica mostrada na Tabela 8.5</i>).
<i>Consulta_Custo_Atividade</i>	Acha o valor do custo hora operacional de fabricação individual para cada uma das atividades relacionadas na classe <i>Classe_Atividade</i> .
<i>Consulta_HH</i>	Fornece os valores da hora homem de todos os níveis e tipos de operadores e equipamentos da fabricação de peças, declarados na subclasse <i>Subclasse_Hom</i> .
<i>Consulta_HM</i>	Fornece os valores da hora máquina para todos os tipos de máquinas declarados na subclasse <i>Subclasse_Máq</i> .

A Tabela 5.8, foi importada da planilha eletrônica *MSEXcel97* e sintetiza os resultados da estimativa de custos realizada pela base de dados *MDPP_Custos*.

Tabela 5.8 – Representação da consulta *Consulta_CFabrConj* com a totalização dos custos elaborada na planilha eletrônica auxiliar da base de dados.

Base de dados MDPP para estimativa de custos de fabricação de peças				
Definição dos custos de fabricação (OP e MP) para as peças fabricadas do implemento agrícola do estudo de caso 2				
Cód.Sist.	Nome Conjunto	COP	CMP	CFabrConj
1	Estrutura	R\$ 75,45	R\$ 60,87	R\$ 136,32
2	Enxada rotativa	R\$ 60,65	R\$ 109,88	R\$ 170,53
3	Eixo intermediário	R\$ 31,18	R\$ 12,31	R\$ 43,49
4	Carcaça	R\$ 44,27	R\$ 20,77	R\$ 65,04
5	Trambulador	R\$ 26,12	R\$ 1,11	R\$ 27,23
6	Reservatório	R\$ 28,22	R\$ 72,18	R\$ 100,40
7	Dosador	R\$ 66,11	R\$ 57,89	R\$ 124,00
Totalização		R\$ 332,00	R\$ 335,02	R\$ 667,02

5.3.6 - Resultados

Com o segundo estudo de casos concluiu-se que a base de dados absorve de maneira bastante positiva o modelamento de dados relativos à estimativa de custos de fabricação e mão-de-obra de conjuntos mecânicos, baseada no processo de fabricação das peças que compõem estes conjuntos.

O enfoque sobre a estimativa dos custos de produção de peças relativos às operações de fabricação, envolvendo hora/homem e hora/máquina e aos materiais das peças, é um típico estudo para ter-se uma noção da extensão das aplicações de uma base de dados estruturada via modelo orientado a objetos aplicado ao projeto de conjuntos mecânicos.

A estimativa de custos, por exemplo, é sempre necessária durante qualquer processo de tomada de decisão que envolva a escolha da solução mais adequada para a configuração de uma peça, conjunto e de um produto, em um processo de projeto de produto industrial, principalmente na fase de projeto conceitual, onde na grande maioria dos casos, as decisões são baseadas em fatores meramente econômicos.

Salienta-se que a estrutura funcional do equipamento em estudo não foi evidenciada, uma vez que, o objetivo deste estudo de caso foi a utilização de *métodos* ou *operações* para o cálculo de custos utilizando a base de dados desenvolvida, via consultas.

Nota-se que as classes da base de dados *MDPP_Custos*, possuem atributos consideravelmente diferenciados das classes da base de dados *MDPP_Acionador* do estudo de caso 1, onde o objetivo foi a elaboração das estruturas funcional e conceitual das peças.

5.4 - Terceiro estudo de caso: Estrutura hierárquica de produto

Com o fim de analisar o comportamento da base de dados no que se refere a uma utilização preliminar da mesma, por parte de usuários de áreas de projeto, resolveu-se desenvolver este estudo de caso para possibilitar uma melhor visualização de sua aplicabilidade.

Escolheu-se estudar peças fabricadas e comerciais que compõem uma máquina de produção de fraldas descartáveis infantis, de fabricação e propriedade de uma empresa multinacional do ramo.

Uma grande porcentagem destas peças são fabricadas na empresa. Outra parcela, principalmente aquelas peças utilizadas para a montagem das peças fabricadas, são normalmente adquiridas comercialmente, seja com base em catálogos de fabricantes diversos, seja por contrato de serviços de terceiros. Informações sobre o equipamento são encontradas no Anexo E.

A estrutura de dados apresentada para este estudo de caso é representada na Figura 5.12, que mostra o modelo de objetos simplificado da hierarquia entre os diversos componentes de um produto, onde são utilizadas as agregações simples e recursivas.

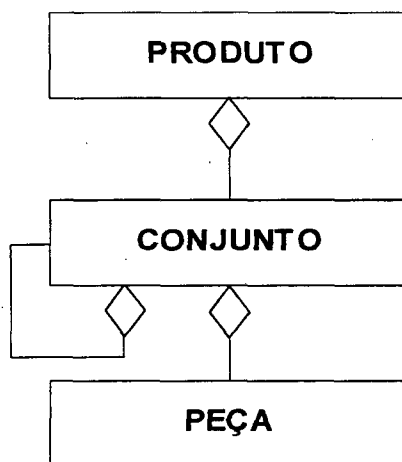


Figura 5.12 – Modelo de objetos simplificado para a hierarquia dos componentes de um produto industrial.

5.4.1 - Classificação dos dados

Iniciou-se com uma classificação de cada componente da máquina dentro da estrutura hierárquica de produto, formada pelo produto como um todo, seus diversos conjuntos em vários níveis de hierarquia e finalmente suas respectivas peças.

Com as peças e os conjuntos devidamente listados e hierarquicamente dispostos, escolhe-se dentro da base de dados aquelas classes que comportam estes tipo de estrutura, gerando-se a base de dados *MDPP_J&J*. Para tal, foram definidas as classes *Classe_Produto*, *Classe_Conjunto* e *Classe_Peça* e as agregações, *Agregação_Produto_Conjunto* e *Agregação_Conjunto_Peça*. A recursividade dos 5 (cinco) níveis de conjuntos existentes é feita nas “consultas” da base de dados, pelo mecanismo de recursividade implícita, definida no Capítulo 4, definida em termos das classes *Classe_ConjuntoPai* e *Classe_ConjuntoFilho*.

Os atributos definidos para cada classe seguidos de seus respectivos tipos de dados são descritos no Anexo E. Algumas vantagens em relação aos dois primeiros casos devem ser ressaltadas. O tipo de dado “*AutoNumeração*”, definido para alguns atributos, neste estudo de caso foi substituído pelo tipo de dado “*Número*”, devido a grande quantidade de códigos de desenhos referentes às peças e conjuntos. Outra vantagem é que esta forma de representação e mapeamento torna a base de dados mais fácil de ser manipulada, com a uma considerável redução do número de classes, subclasses, agregações e generalizações/especializações.

Para assimilar melhor essa redução, a base de dados *MDPP_Geral* integra um modelo com 87 (oitenta e sete) classes de objetos e aproximadamente 50 (cinquenta) agregações. No primeiro estudo de caso, ou da base de dados *MDPP_Acionador*, utilizou-se 22 (vinte e duas) classes com 16 (dezesesseis) agregações, no segundo estudo de casos, representado pela base de dados *MDPP_Custos*, 20 (vinte) classes com 5 agregações e no estudo de caso 3, referente à base de dados *MDPP_J&J*, utilizou-se 3 (três) classes com 2 (duas) agregações simples, sendo que as agregações recursivas, como já citado, são realizadas a nível de “consultas”.

5.4.2 - Abstrações do modelamento

O número de classes envolvidas no modelamento em cada caso específico vai depender de algumas características, que podem ser listadas como a seguir.

(I). Tipo de estrutura envolvida no modelamento

Para estruturas hierárquicas, por exemplo, a tendência é ter-se poucas classes envolvidas, já que predominam as agregações simples e casualmente recursivas. Para estruturas funcionais e conceituais, este número tende a aumentar à proporção que se especializa o modelo, ou seja, quando deseja-se introduzir análises mais refinadas e mais detalhadas a cerca do produto/peça a serem modelados.

(II). Tipo de dados definidos para os atributos das chaves primárias

Como fator importante na execução de consultas, tanto via assistente do próprio banco de dados relacional (*BDR*) ou diretamente via linguagem *SQL*, o “tipo” do dado declarado para os atributos chaves determina a versatilidade no manuseio, escolha e cruzamento das tabelas que representam as classes envolvidas.

Desta forma, uma quantidade maior de informações pode ser cruzada, filtrada e recuperada na forma de consultas, quando tem-se dados do tipo “Número” e tipo “Texto” como chaves primárias, já que estes possibilitam uma nomenclatura mais apropriada na codificação de cada objeto instanciado, como ocorre no estudo de caso 3, onde tem-se uma enorme quantidade de peças e conjuntos cadastrados em que os códigos são seus próprios números de desenho.

(III). Tipo de informação requerida

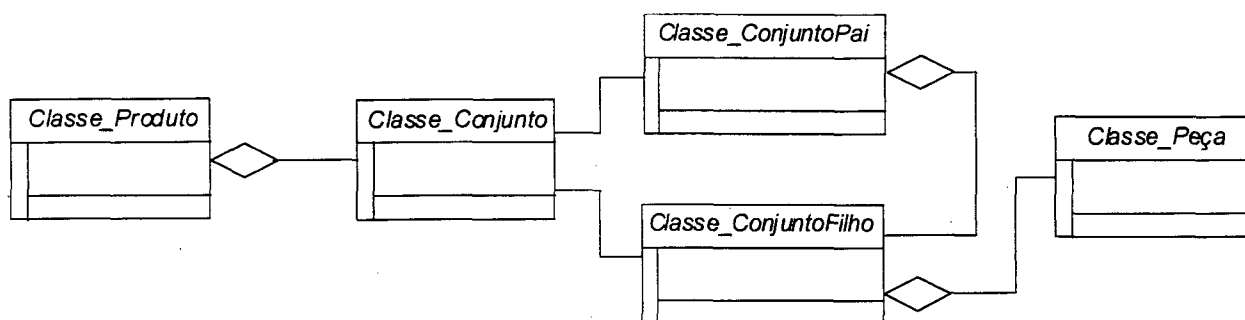
A informação requerida na saída do projeto conceitual das peças que compõem um produto industrial, é a definição de sua estrutura conceitual, baseada em sua estrutura funcional. Esta estrutura conceitual deve ser composta pelos grupos funcionais de todas as peças de todos os conjuntos e subconjuntos do produto. Se durante a determinação dos grupos funcionais utilizou-se sínteses baseadas em classes do tipo *Classe_Critério_PSp*, *Classe_Restrição_PSp*, *Classe_Bibliot_PSp*, *Agregação_Req_Proj_Peça_PSp*, etc., é muito provável que esta estrutura proporcionará resultados bem mais refinados que aquelas onde quer-se apenas visualizar uma distribuição hierárquica das informações envolvidas.

(IV). Recursividade explícita e implícita

O mapeamento do mecanismo de recursividade, ou de agregações recursivas, é fundamental para a determinação dos tipos de consultas desejadas. Nos dois primeiros estudos de casos implementou-se uma recursividade explícita, isto é, mapeada como mostrada na Figura 5.13, onde para a estrutura hierárquica, tem-se a classe *Classe_Conjunto* associada (associação tipo 1) a duas outras classes, *Classe_ConjuntoPai* e *Classe_ConjuntoFilho*, sendo que esta última agregando a classe *Classe_Peça* ao mesmo tempo em que é agregada pela classe *Classe_ConjuntoPai*.

Na agregação implícita, utilizada no estudo de caso 2, a recursividade é implementada via “consulta”, adicionando-se duas vezes a classe *Classe_Conjunto*, logo, sua elaboração dependerá do usuário e de sua habilidade com consultas em banco de dados relacionais.

A agregação implícita torna a base de dados mais fácil de ser utilizada. As associações são feitas unindo-se a chave primária com o atributo *CódigoDoConjunto* do tipo “Número” da classe *Classe_Conjunto* com a chave estrangeira *CódigoDoConjuntoPai* da classe *Classe_Conjunto_1*, como mostrado na Figura 5.14. O termo “chave estrangeira” é utilizado para atributos procedentes de outra classe. Ocorre que, no mapeamento do estudo de caso 3, utiliza-se a mesma classe duas vezes e portanto, para esse fim entendeu-se ser procedente utilizá-lo. Do



relacionamento entre os atributos envolvidos neste tipo de consulta pode-se obter por exemplo, informações do tipo, “conjuntos pais e seus conjuntos filhos”, “conjuntos filhos e suas peças”, “conjuntos pais e suas peças”, e muitas outras informações baseadas nos dados inseridos nas três classes de origem, classes *Classe_Produto*, *Classe_Conjunto* e *Classe_Peça*

Figura 5.13 – Representação de classes para recursividade explícita.

(V). Relacionamento entre classes idênticas

A Figura 5.14 mostra a forma de relacionamento entre as classes *Classe_Conjunto* e *Classe_Conjunto_1*, como é feita nas consultas do *MDPP_J&J*. Na consulta, a classe é adicionada duas vezes para que se possa inserir o relacionamento ou a associação entre elas. O banco de dados relacional atribui automaticamente o índice “1” à segunda classe nomeando-a diferenciadamente. Como resultado, obtém-se a descrição recursiva no modo “folha de dados” com todos os “conjuntos-pai” e “conjuntos-filho”.

A tabela da classe *Classe_Peça* pode também ser adicionada para efetuar-se uma consulta que contenha informações referentes às peças de cada conjunto, ou peças específicas por conjunto.

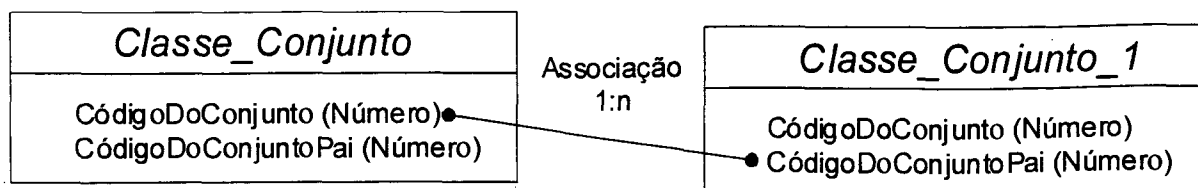


Figura 5.14 – Representação da associação entre classes *Classe_Conjunto* e *Classe_Conjunto_1*.

5.4.3 – Resultados

O objetivo deste estudo de caso foi o de avaliar a base de dados no que se refere à estrutura hierárquica de um produto, isto é, como modelar os componentes de um produto no âmbito de sua estrutura física, obedecendo a hierarquia de seus conjuntos mecânicos.

Conseguiu-se uma base de dados em que dados e informações provenientes de atributos das classes *Classe_Produto*, *Classe_Conjunto* e *Classe_Peça*, são disponibilizadas e facilmente acessadas por meio de consultas, formulários e relatórios, que são recursos inerentes ao banco de dados relacional sobre o qual foram desenvolvidas as bases de dados de cada estudo de caso.

Em comparação ao estudo de caso 1, anteriormente descrito, neste, não foram estudadas as estruturas funcional e conceitual do produto e sim apenas sua estrutura hierárquica. A utilização de uma máquina industrial com muitos conjuntos e muitas peças foi proposital justamente para evidenciar a capacidade de recursividade dos modelos mapeados, considerando-se os diversos níveis de conjuntos e subconjuntos existentes neste tipo de produto.

5.5 – Considerações finais sobre os estudos de casos

Os estudos de casos realizados muito se prestaram para aperfeiçoamento dos modelos orientados a objetos à medida em que vinham sendo desenvolvidos, principalmente em relação ao terceiro estudo de caso, onde conseguiu-se desenvolver a “recursividade implícita” não inerente ao modelo, que simplifica sobremaneira as consultas sobre dados e informações cruzadas e que ainda podem gerar outras classificações de dados de acordo com a “filtragem” de dados que se deseja.

Principalmente nos casos de máquinas e equipamentos industriais compostos por inúmeros níveis hierárquicos de conjuntos e peças, a estruturação hierárquica dos conjuntos mecânicos que o integram torna-se fundamental para a visualização de informações e manipulação de seus dados.

O estudo de caso 1, tem como resultado as estruturas funcionais de cada peça representada na base de dados *MDPP_Acionador*, explicitada até o nível de “*feature*”, onde considera-se a “*feature*” como um elemento básico ou entidade básica para a representação

funcional (*feFU*) e conceitual (*feCO*) de cada peça, cujas informações são refinadas a medida que o processo de projeto das peças evolui

O estudo de caso 2, o referente à *MDPP_Custos*, apresenta como resultado uma estrutura para a estimativa dos custos operacionais de fabricação e de materiais envolvidos na manufatura de um implemento agrícola, onde explicita-se dados resultantes de cálculos realizados em operações a nível de consultas para peças, conjuntos e produto.

O estudo de caso 3, mostra na base *MDPP_J&J*, o modelamento da hierarquia de componentes mecânicos de uma máquina industrial que produz fraldas descartáveis infantis, explicitando sua estrutura de produto, desdobrada em conjuntos e subconjuntos até o nível das peças que os compõem.

Finalizando, destaca-se uma outra utilidade da base de dados, direcionada às áreas de manutenção, já que pode-se modelar dados referentes às peças adquiridas comercialmente.

Ao usuário de projeto, deixa-se a disponibilidade de mais um recurso computacional voltado para a sistematização das tarefas que integram o processo de projeto de produto conforme item 4.9, página 69.

Teve-se, portanto, a avaliação de três tipos de estruturas de dados definidas sobre uma mesma base de dados cujo modelamento foi desenvolvido com a utilização de conceitos e representações de modelos orientados a objetos obedecendo-se ao padrão de modelamento *UML* (*Unified Modelling Language*).

CAPÍTULO 6

Conclusões e recomendações

6.1 - Conclusões

Uma metodologia de projeto consiste num sistema de *métodos de projeto* formados por um conjunto de procedimentos que promovem a evolução, a transformação e o refinamento das informações de projeto à medida que o processo de projeto de produto evolui. As prescrições da metodologia de projeto, devem ser traduzíveis em funcionalidades de ferramentas computacionais. Cada *método de projeto* deve ser associado a uma dada ferramenta computacional de apoio ao projeto, *OGLIARI* [43].

O desenvolvimento das bases de dados *MDPP* tem envolvido em suas intenções o aprimoramento de metodologias de projeto direcionadas especificamente ao projeto funcional e conceitual das peças que compõem um produto industrial, razão pela qual, resolveu-se estudar casos, para que a aplicabilidade da base de dados pudesse ser testada e verificada, uma vez tratando-se de uma ferramenta computacional, baseada em conceitos novos, voltada ao projeto específico de peças durante seu projeto funcional e conceitual.

Intensificar o desenvolvimento de métodos e técnicas para o melhor desempenho do projeto de sistemas mecânicos é hoje um grande desafio para as empresas e principalmente para as instituições acadêmicas onde desenvolve-se este tipo de pesquisa. Assim, o estabelecimento de linhas de pesquisa voltadas ao desenvolvimento e a difusão de trabalhos que contenham em seu escopo a execução de ferramentas computacionais a serem aplicadas no projeto de sistemas mecânicos, deve ser prioridade daqueles que visualizam a revolução e a independência de nossa engenharia de projeto, pelo menos no que se refere a tecnologias aplicadas ao processo de projeto de produtos industriais.

Tem-se sentido a existência de diversidades bastante complexas de situações de projeto sendo enfrentadas por áreas de projeto que apesar de serem constituídas dentro de grandes empresas, estão verdadeiramente despreparadas para tal. Há uma carência de metodologias para o desenvolvimento de métodos computacionais de auxílio ao projeto e do desenvolvimento do próprio profissional da área de projeto.

Como necessidade do desenvolvimento da pesquisa voltada para esse fim e tendo-se como objetivo paralelo a elaboração do trabalho de dissertação, é que pensou-se na criação de

estruturas de dados para a representação específicas das peças que compõem um produto industrial.

O modelamento e representação de dados de um componente mecânico podem ser feitos simplificadaamente, com dados básicos e gerais, até exaustivamente, envolvendo todos os dados e as informações a ele pertencentes. Tudo vai depender da aplicação e do que se quer disponibilizar como informação, ou melhor, o que se quer como saída do modelamento e representação.

Dentro da base de dados raiz desenvolvida no trabalho, procurou-se inserir classes de objetos que traduzissem as peças em sua essência, proporcionando-lhes, através dos aspectos funcional e conceitual, as características que melhor as representassem em termos da estrutura funcional e conceitual do produto resultantes do seu projeto conceitual. Para avaliar o modelamento de produto e peça proposto, escolheu-se os estudos de casos, procurando-se maximizar a abrangência dos novos conceitos propostos, para compor as estruturas funcional e conceitual específicas de cada nova peça do produto. Três estudos de casos foram escolhidos para a avaliação das bases de dados onde cada caso foi adaptado de acordo com suas particularidades, usando-se apenas aquelas classes e aqueles relacionamentos que melhor lhes conviessem, na geração de seu conjunto de informações pertinentes.

No primeiro estudo de caso avaliou-se a representatividade da base de dados *MDPP* em relação a um caso envolvendo um reprojeto de um sistema de acionamento dos contactores de energia elétrica de uma sub-estação que alimenta 500kV. As várias relações entre os objetos que compõem as estruturas funcional e conceitual desta base de dados, leva à conclusão de que o modelo elaborado, representa adequadamente as peças do sistema escolhido, onde as informações foram disponibilizadas na forma de formulários de acesso, para o usuário de projeto, sendo trabalhadas na forma de consultas ao banco de dados relacional adotado para o mapeamento das estruturas funcional e conceitual.

Neste estudo de caso, um sistema com poucas peças, consegue-se visualizar “passo-a-passo” os relacionamentos entre as várias partes que compõem as estruturas, desde a função elementar do produto até as “*features*” conceituais (*feCO*) das peças que os compõem.

Para o segundo estudo de caso, buscou-se utilizar as operações entre classes de objetos, saindo um pouco da área da manipulação apenas de atributos, como no estudo de caso 1. Criou-se os atributos “*Status_1* e *Status_2*”, utilizados na definição de que estágio ou tipo de operação de fabricação a peça é submetida durante sua manufatura. A estimativa de custo assim realizada mostrou valores reais que viabilizam sua utilização em outros casos.

No terceiro estudo de caso, explorou-se a estrutura hierárquica de um produto industrial, quando classificou-se seus componentes em vários níveis de atuação no produto. Neste caso, o nível *PRODUTO* encabeça a estrutura, seguido do nível *CONJUNTO* recursivo, e finalmente o nível *PEÇA*. Neste ponto, a base de dados pode ser estendida para outros níveis, como os desenvolvidos no estudo de caso 1. A estrutura funcional e conceitual de peça poderia ser aqui introduzida, contudo, como trata-se de um equipamento com muitas peças (± 700), achou-se por bem avaliá-lo apenas do nível *PRODUTO* ao nível de *PEÇA*, devido ao tempo disponível à elaboração do trabalho. A recursividade entre conjuntos e peças foi feita de forma diferenciada dos casos 1 e 2. Utiliza-se a recursividade implícita implementada apenas a nível de consulta e não inerente à base de dados *MDPP*.

Uma grande vantagem deste tipo de recursividade é que as possibilidades de consultas aumentam consideravelmente, podendo-se fazer inúmeros cruzamentos entre as diversas classes de objetos do modelo na busca de dados específicos, assim como as interfaces da base com usuário ficam bem melhores de serem utilizadas.

6.2 - Avaliação

De modo geral, pode-se descrever os pontos da avaliação considerados positivos em relação aos objetivos traçados e aqueles que ainda necessitam de um desenvolvimento ao longo de futuros trabalhos.

A avaliação foi realizada com base em critérios cujos parâmetros estabelecem suas métricas em relação a estrutura interna da base de dados, ou seja, com base na capacidade de armazenamento e de mapeamento dos modelos orientados a objetos. Também é avaliada a utilização ou o uso e manuseabilidade da base pelo usuário de projeto e, por último, questões relacionadas ao modelamento das peças. Tais critérios e parâmetros são descritos na Tabela 6.1. Os pontos positivos em relação a avaliação realizada, são descritos em seguida, assim como aqueles que julgou-se serem passíveis de melhoramentos e futuros desenvolvimentos através de trabalhos ligados a área de projeto de sistemas mecânicos.

Tabela 6.1 – Critérios de avaliação da base de dados MDPP.

Critérios	Parâmetros	Avaliação
Estrutura interna	Capacidade de armazenamento	Não houve nenhuma restrição quanto a quantidade e tipos de dados inseridos em nenhuma das bases realizadas.
	Mapeamento dos modelos orientados a objetos no banco de dados relacional	O mapeamento foi realizado sem dificuldades, ressaltando-se o mecanismo de recursividade implícita que criou-se para simplificar o problema dos múltiplos níveis hierárquicos do estudo de caso 3.
Interface	Uso e manuseabilidade	Interfaces customizadas com excelente manuseabilidade que facilitam o relacionamento entre usuário e aplicativo no seu uso, principalmente em relação a inserção de dados e consultas.
	Classes de apoio e bibliotecas	Durante o armazenamento de dados nas classes do modelo, o usuário pode dispor de classes auxiliares para apoiá-lo na realização das estruturas funcional e conceitual das peças, conjunto e produto no qual trabalha. Cada base pode ser expandida com mais classes e relacionamentos.
Modelamento	Processo de projeto de produto	A base de dados para modelamento de peças é o local onde todos os dados referentes ao projeto funcional e conceitual das peças de um produto podem ser inseridos, armazenados e disponibilizados para a área de projeto.
	Informações	O modelamento das peças significa ter-se claramente disponíveis, na forma de dados e informações relevantes ao projeto de produto, os parâmetros de projeto funcional e conceitual, inerentes a cada uma das peças de um produto.
	Aplicação em casos reais	O modelamento das peças envolvidas nos estudos de caso realizados formam bases de dados com informações de projeto funcional e conceitual que podem ser reutilizadas posteriormente nas fases posteriores do processo de projeto de produto, na elaboração dos projetos preliminares e detalhado das peças envolvidas.

Pontos positivos da avaliação

- (1) Pode-se verificar que a base de dados comportou uma quantidade de informações e dados compatível com as estruturas dos estudos de casos mapeadas.
- (2) Houve uma boa adesão das estruturas orientadas a objetos desenvolvidas em relação ao mapeamento do banco de dados relacional escolhido para o desenvolvimento dos trabalhos.
- (3) A base de dados MDPP é de fácil utilização por sua boa manuseabilidade e pelos “links” que podem ser disponibilizados para a inserção de dados diversos, como por exemplo, através de “hyperlinks” e objetos OLE.
- (4) Para o projeto específico de peças, torna o conjunto de informações referentes às peças de um dado conjunto mecânico, mais refinado e facilmente acessível por meio de consultas realizáveis por usuários projetistas e outros.
- (5) Pode ser assessorado por bibliotecas de princípios de solução de peças (PSP) no desenvolvimento da estrutura funcional das peças de um produto.

- (6) A medida que for aplicado a casos reais na indústria ou academia, será refinado em termos da organização de seus conceitos e da estruturação do conjunto dos elementos que formam seus modelos orientados a objetos.
- (7) As estruturas funcional e conceitual de peças mapeiam adequadamente as estruturas básicas de projeto de um componente mecânico, pelas subdivisões que faz na composição dessas, ou sejam, para a estrutura funcional, definindo as *funções global, parcial e elementar da peça* e, para a estrutura conceitual, definindo *região funcional de peça, princípios de solução da peça e grupos funcionais da peça*, sendo um provedor contínuo de dados de cada uma das peças que compõe um produto industrial durante o processo de projeto de produto.

Pontos a serem re-estudados

- (1) A forma de apresentação dos esquemas, croquis e desenhos nas bases de dados deve ser melhor endereçada à base de dados. Os recursos do “objeto OLE” devem ser explorados para outros tipos de desenhos, não os relacionados ao projeto funcional e conceitual de peças no projeto de conjuntos mecânicos, em que o projetista usa de esquemas, rascunhos e croquis, ao passar suas idéias momentaneamente para um papel ou via caneta eletrônica, direto para a tela do computador.
- (2) Muitas das classes que fazem parte da base de dados *MDPP_Geral* não foram utilizadas em nenhum dos três estudos de caso por não serem necessárias. Dificilmente ocorrerá de serem todas elas utilizadas por abrangência. De qualquer forma, o desenvolvimento e a utilização das classes relacionadas à bibliotecas de princípios de solução, restrições de projeto de produto e peças, critérios para a avaliação de peças, catálogo de peças comerciais, croquis de peças e conjuntos, matriz transformação, subclasses da classe “*feature*”, agregações e poderá ser realizado em estudos futuros na geração de outros trabalhos de mestrado e até mesmo de doutorado.
- (3) A disponibilidade de um Banco de Dados de Objetos (*BDO*) para a conversão do mapeamento, que neste trabalho foi realizado em um Banco de Dados Relacional (*BDR*), traria uma maior agilidade e confiabilidade no desenvolvimento e estruturação das bases de dados *MDPP's*, uma vez que os banco de objetos são baseados em modelos de objetos onde um objeto é uma caixa preta que pode ser construído e modificado independentemente do restante do conjunto. Comparando-se esses dois

modelos, o relacional é baseado em valores, ao passo que o orientado a objetos é baseado em identidades [41]. Os bancos de objetos vão além de uma representação de dados, como os clássicos números e textos, em vez disso, modelam o mundo como ele é, com suas riquezas de detalhes, incluindo representações gráficas, imagens, sons, animação e vídeo.

Mediante o que foi absorvido durante o trabalho de dissertação como um todo, e depois de ter-se aplicado os novos conhecimentos adquiridos nesta trajetória, conseguiu-se resultados satisfatórios considerando-se as dificuldades apresentadas. Pode-se dizer que a base de dados, na forma como é apresentada, pode ser implantada em áreas de projeto de sistemas mecânico, com a ressalva de que ainda necessita ser aprimorada para projetos refinados em que tem-se um volume de informações extremamente grande a ser processado.

A intenção que se tem é a de não deixar que aconteça aquela tradicional tendência de trabalhos como este tornarem-se “mais um” de uma série de módulos computacionais criados com o objetivo de auxiliar o processo de projeto de produto. Pretende-se torná-lo cada vez eficaz diante das diferentes situações de projeto apresentadas no dia a dia da realidade dos sistemas de projeto ora existentes. No entanto, baseados em seus primeiros resultados, quer-se dar continuidade ao seu desenvolvimento, na intenção de aprimorá-lo cada vez mais para o alcance dos objetivos traçados.

Fica aqui traçado um desafio para a execução de trabalhos que a este dêem continuidade no sentido de não deixar-se esmorecer pelo menos a intenção de cada vez mais desenvolver-se a convicção que se tem sobre a necessidade de particularizar o projeto específico de peças com o objetivo de refinar-se as especificidades inerentes às partes fundamentais de um produto.

6.3 - Recomendações para futuros trabalhos

O trabalho que se está iniciando com o desenvolvimento destas estruturas de dados sobre novos conceitos relacionados ao projeto de peças deve ser intensificado e expandido à outras etapas do processo de projeto de produto. Havendo um maior refinamento a cerca das sínteses e das análises sobre possíveis *princípios de solução de peças* para os *grupos funcionais de peça* é possível chegar-se à bibliotecas de elementos básicos funcionais, conceituais, preliminares e detalhados, de forma a compor-se sistematicamente novas metodologias computacionais baseadas nestes elementos.

A determinação dos parâmetros necessários às definições de “*features*” *funcionais* (*feFU*) e “*features*” *conceituais* (*feCO*) é o fundamental e derradeiro passo para chegar-se ao projeto preliminar das peças dos conjuntos que compõem um produto industrial, representado por estruturas de dados organizadas e passíveis de serem compartilhadas.

Um estudo para definir modelos de bibliotecas de “*features*” *funcionais* (*feFU*) e “*features*” *conceituais* (*feCO*) é básico para posteriormente serem montadas as bibliotecas de *princípios de solução de peças*

O “estudo de caso” dentro da indústria é apenas um dos meios de se buscar o detalhamento e a classificação dos diferentes tipos de objetos de cada classe envolvida nas *estruturas funcional e conceitual de peças* de acordo com seu tipo. Peças rotacionais, prismáticas, laminares e mistas devem possuir tipos particulares e diferenciados de abordagem em relação a maneira de chegar-se até a definição de seus respectivos *grupos funcionais de peça*.

Trabalhos voltados à especificação de caminhos que devem ser seguidos em direção a determinação das *estruturas preliminar e detalhada de peças* são também necessários para chegar-se a metodologias voltadas ao processo de transição de *função* para *forma*.

O modelamento geométrico de cada peça, é outro enfoque que deverá ser inserido neste contexto, já que o projeto de engenharia da peça deve passar pelo dimensionamento de sua geometria, aliada aos critérios de resistência, confiabilidade e durabilidade.

6.4 - Próximos objetivos

Pretende-se dar continuidade a este trabalho buscado-se, possivelmente dentro desta mesma área de atuação, o desenvolvimento e elaboração de procedimentos para definir as *regiões funcionais de uma peça*, evoluindo-se para estruturas que consigam auxiliar a escolha dos *princípios de solução de peças* e a determinação de “*features*” *básicas funcionais e conceituais*, a fim de fundamentar-se esta metodologia para a definição dos *grupos funcionais da peça*.

Pretende-se, desta forma, buscar procedimentos que consigam viabilizar o caminho ou a ponte que liga projeto conceitual ao projeto preliminar do produto, através de estudos específicos voltados para as suas peças. A Figura 6.1, mostra uma função que leva parâmetros do conjunto das funções de uma peça ao conjunto particular das prováveis formas que podem realiza-las, definido dentro de um conjunto maior de geometrias possíveis.

Na verdade, a função zéta (ζ) leva os critérios e requisitos de projeto da peça e as restrições de custos, fabricação, montagem, operação, manutenção e descarte, ao domínio das

possíveis geometrias que a podem definir univocamente, considerando-se todos esses elementos em conjunto.

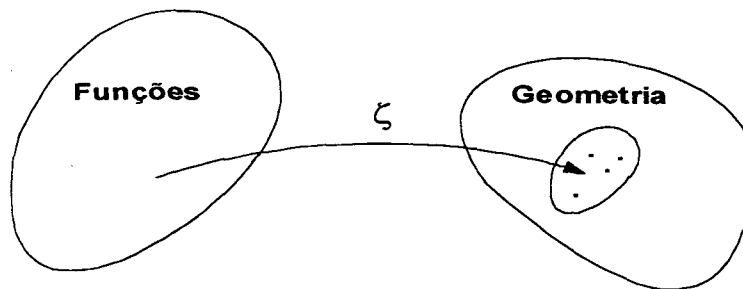


Figura 6.1 – Representação da função zéta (ζ) que leva funções de peça ao conjunto de possíveis formas geométricas que podem executá-las.

É necessário aplicar critérios para a escolha de uma geometria. Para a realização de uma única função, existem “ n ” possibilidades de geometria, mas apenas algumas mais adequadas ao cumprimento dos requisitos de projeto da peça.

Um estudo breve sobre os aspectos gerais da transição de função para forma é desenvolvido no Anexo A, baseado em estudos e revisões realizados por *SHULTE, WEBER & STARK* [45].

A função zéta (ζ), que leva as funções necessárias à peça para o domínio das geometrias possíveis, deve ser melhor estudada!

Referências Bibliográficas e Bibliografia

- [01] Hounsell, M. - Feature-based Validation Reasoning for Intent-driven Engineering Design – Loughborough University, 1998, Tese de Doutorado em Engenharia.
- [02] Shah, J. at all. Current Status of Features Technology – Arizona State University, CAM-I, nov-1988.
- [03] Maziero, N. Um Sistema Computacional Inteligente de Suporte ao Projeto, Manufatura e Montagem de Peças baseado em Features: uma abordagem com Sistemas Especialistas. Tese em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, junho 1998.
- [04] Espíndola, J. C. Apostila de “Computer Aided Process Plain” CAPP, GRUCON/EMCI/UFSC, 1996.
- [05] Fujita, K., Nakayama, T. & Akagi, S. – Integrated Product design Methodology for aesthetics, functions and geometry with feature-based modeling and constraint management – ICED 99, Vol. 3, pp 1753-1756, Munich, August 1999.
- [06] Salomons, O. - Computer Support in the Design of Mechanical Products – Tese de Doutorado. Universiteit Twente – Alemanha, 1995.
- [07] Hounsell, M. & Case, K. - Intent-Driven Reasoning Priorities in a Feature-based Validation System – Loughborough University - <http://www.fej.udesc.br/dcc/Marcelo>
- [08] Hounsell, M. & Case, K. - Operating Invalid Feature-based Models – Loughborough University - <http://www.fej.udesc.br/dcc/Marcelo>
- [09] Hounsell, M. & Case, K. - Structured Multi-Level Feature Interaction Identification - Loughborough University - <http://www.fej.udesc.br/dcc/Marcelo>
- [10] Hounsell, M. & Case, K.- Representation Validation in Feature-Based Modelling: A Framework For Design Correctness Analysis and Assurance - Loughborough University - <http://www.fej.udesc.br/dcc/Marcelo> , .
- [11] Rosa, E., Faria, P. e Paim, N. - Uma Modelagem de Informações para CIM – Grante/Grucon – Dpto. Eng. Mec. - UFSC, 1993.
- [12] Rados, G. J. V. Manufacturing Code Generation for Rotational Parts. A Feature Based Product Modeling Environment – Tese de Doutorado – Loughborough University of Technology / 1991.

- [13] Rosa, E., Forcellini, F., Ogliari, A. e Back, N.. “Novos enfoques para a concepção de produtos com o uso de sistemas CAE/CAD/CAM”, Artigo publicado na Revista Metal Mecânica. Editora Aranda, Ano XXX, Nº 353, pp 138-148, junho 1995.
- [14] Veloso, P., Santos, C., Azeredo, P. e Furtado, A., Estrutura de dados, Campus, Rio de Janeiro, 1986.
- [15] Rosa, E. - Apostila “Técnicas de Modelamento de Sistemas” – UFSC, 1996.
- [16] Rambaugh, J. & Blaha, M. - Modelagem e Projetos baseados em Objetos, Rio de Janeiro, Edit. Campus, 1994, (caps. 1, 2, 3, 4, 5 e 6).
- [17] Rosa, E. Apostila: “Bancos de dados em sistema integrados de manufatura” UFSC, 1993.
- [18] Hsu, H. & Woon, I.M.Y. - Current Research in the Conceptual Design of Mechanical Product, Computer-Aided Design, vol. 30, pp 377-389, 1998.
- [20] Wood, W. H. & Agogino, A. M. - Case-based Conceptual Design Information Server for Concurrent Engineering , Computer-Aided Design, vol. 28, pp 361-369 – 1996.
- [21] Gorti, S. R.. et al. A. An Object-oriented Representation for Product and Design Processes, Computer-Aided Design, vol. 30, 489-501, 1998.
- [22] Bowler, C., Medland, A.J. & Mullineux, G. – Communication of parametric data between design processes. ICED 99 – Vol. 3, pp 1737-1740, Munich, August 1999.
- [23] Rosa, E., New Modeller – Concepts for an Integrated Product Development Environment. Proceedings of Second International FAIM Conference, Falls Church, Virginia, USA, 1992.
- [24] Gu, P. & Zhang, Y.– An Object-oriented Process Planning System. Computer Industrial Engineering, vol. 26, pp 709-731, 1994.
- [25] Meyer, B.– A Construção de Software Orientado a Objetos – Parte 1: Questões e Princípios, Capítulo 1: Aspectos da Qualidade de Software, R. Faust, 1991.
- [26] Ross, D.T.– Structured Analysis (AS): A Language for Communicating Ideas. Artigo sobre Análise Estruturada. SADT - System Analysis and Design Technique, 1977.
- [27] Chen, P. P-S. The Entity-Relationship Model – Toward a Unified View of Data. Massachusetts Institute of Technology – ACM (Association for Computing Machinery, Inc – ACM). Transactions on Database Systems, vol. 1, mar 1976, pp 9-36.
- [28] Azevedo, G. Gramática da Língua Portuguesa. Editora Brasiliense, São Paulo, 1985.

- [29] Ambler, S. W. The Techniques of Object-Oriented Modeling – Artigo da Internet, - AmbySoft Inc. April, 1998. <http://www.ambysoft.com/umlAndBeyond.pdf>
- [30] Butterfield, W. R. et al. John Deere & Company, Illinois. Part Features for Process Planning. CAM – I, nov.1986.
- [31] Chen, C. L. P., & LeClair, S. R. Integration of design and manufacturing: solving setup generation and feature sequencing using an unsupervised-learning approach. Computer Aided Design, vol 26 N° 1, pp 59-75, janeiro 1994.
- [32] Mantylä, M. An Introduction to Solid Modelling – Helsinki University of Technology, Computer Science Press, 1988.
- [33] Ferreira, C. V. Estimativa de custos de produtos na fase de projeto conceitual: uma metodologia para seleção da estrutura funcional e alternativa de solução. Dissertação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, junho 1997.
- [34] Murdoch, T. N. S. Sharing Design Data , *CUED* – Cambridge Engineering Design Center, University of Cambridge, 1995.
- [35] Moreira, N. Uma proposta de modelagem de informações para integração da manufatura e engenharia concorrente. Dissertação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, setembro de 1993.
- [36] Rosa, E. Resumo de apresentação sobre New Modeller com diagramas de estruturas hierárquicas de produto e peça, 1994.
- [37] Silva, J. S. *WINSAPPI*: A evolução de uma Metodologia Computacional para o Projeto Conceitual de Produtos Industriais – Dissertação de Mestrado: Engenharia de Produção e Sistemas. *UFSC*, 1995.
- [38] Fiod, M. Desenvolvimento de Sistema Computacional para Auxiliar a Concepção de Produtos Industriais. Tese em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, setembro 1993.
- [39] Coelho, E.. Sistema de Informações para Auxílio no Desenvolvimento de Novos Produtos. Dissertação de Mestrado. Eng^a. Produção, *UFSC*, 1998.
- [40] Dufour, C. A. Estudo do Processo e das Ferramentas de Reprojetado de Produtos Industriais, como Vantagem Competitiva e Estratégia de Melhoria Constante. Eng^a. Produção, *UFSC*, 1996.
- [41] Furlan, J. D. Modelagem de Objetos através da *UML* – Análise e Desenhos Orientados a Objetos. Makron Books São Paulo, 1998.

- [42] Xu, X. & Hinduja, S. Recognition of rough machining features in 2 ½ D components. *Computer-Aided Design*, vol. 30, N° 7, pp 503-516, 1998.
- [43] Ogliari, A. Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetados. Tese em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, nov. 1999.
- [44] Amorin, F. L. Desenvolvimento de um implemento agrícola para abertura e adubação de sulcos no plantio direto. Dissertação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, fev. 1996.
- [45] Schulte, Weber & Stark - The relationship between function and shape. ICED'93 pp 87-98.
- [46] Hubka, V. & Eder, W. E., *Theory of Technical Systems, A total concept theory for engineering design*. Springer-Verlag – Berlin Heidelberg. 1988.
- [47] Johnson, R. C.– *Optimum Design of Mechanical Elements*, John Wiley & Sons, Inc – Cap. 7: Introduction to Optimum Design for Mechanical Elements, 1961.
- [48] Han, J. & Requicha, A. A. G. Integration of feature based design and feature recognition. *Computer Aided design*, vol. 29, N° 5, pp. 393-403, 1997.
- [49] Back, N., & Forcellini, F. Apostila sobre Projeto Conceitual e notas de aula. Disciplina. EMC 6605, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, 1998.
- [50] French, M. J. *Conceptual Design for Engineers*, 2ª Ed.– Springer Verlag – London – 1985.
- [51] Kern, V. M. at all. The Building of Information Models in Step, II. ICIE – II International Congress of Industrial Engineering, Sta. Bárbara D'Oeste, SP, October 7-10, 1996.
- [52] Dias, A, <http://www.emc.ufsc.br/professores/altamir>
- [53] IGES - Reference Documents – <http://elib.cme.nist.gov/nipde/stds/wh-iges.html>
- [54] Farines, J. M., Pimenta, M. Metodologias de Concepção de Software e de Sistemas — LCMI, Deptº de Engenharia Elétrica – UFSC.
- [55] Nielsen, J. *Usability Engineering* – AP Professional - Orlando – 1994.
- [56] Rosa, E., Codificação de Peças Produtos e Desenhos. Levantamento de dados. Publicação interna – GRANTE - EMC, UFSC. 1992.
- [57] Norma DIN - Acero e hierro - Normas de materiales y perfiles, manual 4 parte A, Editorial Balzola – Bilbao – 4ª Edição – 1970.

- [58] Rothbart, H. A. Mechanical Design and Systems Handbook - McGraw-Hill Company. New Jersey, 1964.
- [59] Farines, J. M.– Notas de aula da disciplina DAS 6602, 1999.
- [60] Ullman D. G. The Mechanical Design Process. McGraw-Hill, Inc., New York, 1992.
<http://www.engr.orst.edu/~ullman/evolut1.htm>
- [61] Whitney, D. E. Designing the design process. Research in Engineering Design, 1990. McGraw-Hill, 1992.
- [62] Ziemke, M. C. & Spann, M. S. Concurrent engineering's roots in the world war II era. In W. G. Sullivan and H. R. Parsaei, editors, Concurrent Engineering, Contemporary Issues and Modern Design Tools, pages 24-41. Chapman and Hall, 1993.
- [63] O'Grady, P, Young, R. E., Greef, A. & Smith, L. An advice system for concurrent engineering. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol. 4, N° 2, pp. 63-70, 1991.
- [64] Bolz, R. W. Production Processes: Their Influence on Design. The Penton Publishing Company, Cleveland, 1949.
- [65] Gorti, S. R., Gupta, A., Kim, G. J., Sriram, R. D. & Wong, A. An object-oriented representation for product and design processes. Computer-Aided Design, vol. 30, N° 7, pp 489-501, 1998.
- [66] Bralla, J. G., editor. Handbook of Product Design for Manufacturing. McGraw Hill Book Company, New York, 1986.
- [67] Pahl, G. & Beitz, W. Engineering Design. Springer Verlag, London, 1984.
- [68] Tseng, Y-J. & Joshi, S. B., Recognizing multiple interpretations of interacting machining features. Computer-Aided Design, vol. 26, N° 9, setembro 1994.
- [69] Ishii, K. Modeling of concurrent engineering design. In Andrew Kusiak, editor, Concurrent Engineering: Automation, Tools and Techniques, pages 19--39. John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- [70] Rosen, D. W., Dixon, J. R., Poli, C. & Dong, X. Features and algorithms for tooling cost evaluation in injection molding and die casting. In Proceedings of the ASME International Computers in Engineering Conference, pp. 1-8, 1992.
- [71] Nnaji, B. O., Liu, H-C. & Rembold, U. A product modeller for discrete components. International Journal of Production Research, vol. 31, N° 9, pp. 2017--2044, 1993.

- [72] Qamhiyah, A. Z., Venter, R. D. & Benhabib, B., Geometric reasoning for the extraction of form features. *Computer-Aided Design*, vol. 28, N° 11, pp 887-903, 1996
- [73] Warnecke, H. J. & Bassler, R.. Design for assembly - part of the design process. *Annals of the CIRP*, vol. 37, N°1, 1988.
- [74] Boothroyd, G. Product design for manufacture and assembly. *Computer Aided Design*, vol. 26, N° 9, pp. 505-520, 1994.
- [75] Grosse, I. R. & Sahu, K.. Preliminary design of injection molded parts based on manufacturing and functional simulation. In Jami J. Shah, Martti Mäntylä, and Dana S. Nau, editors, *Advances in Feature Based Manufacturing*, chap. 13, pp. 289-313. Elsevier Science Publishers, 1994.
- [76] Prinz, F. B. & Choi, Y.. Feature extraction from solid model for manufacturability assessment. Technical Report EDRC 24-13-89, Engineering Design Research Center, Carnegie Mellon University, 1989.
- [77] Shah, J. J. & Rogers, M. T. A testbed for rapid prototyping of feature based applications. In Jami J. Shah, Martti Mäntylä, and Dana S. Nau, editors, *Advances in Feature Based Manufacturing*, chap. 18. Elsevier Science Publishers, 1994.
- [78] Shah, J., Hsiao, D. & Robinson, R.. A framework for manufacturability evaluation in a feature based CAD system. In *Proceedings of the 1990 NSF Design & Manufacturing Conference*, January 1990.
- [79] Thompson, J. B. & Lu, S. C. Representing and using design rationale in concurrent product and process design. In N. H. Chao and S. C. Y. Lu, editors, *Concurrent Product and Process Design*, *ASME Winter Annual Meeting*, pp. 109-115, 1989.
- [80] ElMaraghy, H. A., Zhang, K. F. & Chu, H. A function-oriented modeler prototype. In P. J. Guichelaar, *Design for Manufacturability*, *ASME Winter Annual Meeting*, pp. 57-62, 1993.
- [81] Schulte, M., Weber, C. & Stark, R. Functional features for design in mechanical engineering. *Computers in Industry*, vol. 23, N° 1, pp. 15-24, 1993.
- [82] Nau, D. S., Zhang, G., Gupta S. K. & Karinithi, R. R.. Evaluating product machinability for concurrent engineering. In W. G. Sullivan and H. R. Parsaei, editors, *Concurrent Engineering: Contemporary Issues and Modern Design Tools*, pp. 264-279. Chapman and Hall, 1993.

- [83] Hubka, V., Andreasen, M. M. & Eder, W. E., 1988 Practical studies in systematic design. London: Butterworths.
- [84] Hubka, V. & Eder, W. E. Scientific approach to engineering design. Design Studies, vol. 8, N° 3, pp. 123-137, 1987.
- [85] Hubka, V. & Eder, W.E., Engineering Design, Zürich: Heurista, 1992,
- [86] Eder, W.E. (editor) WDK 24 -- EDC -- Engineering Design and Creativity Proceedings of the Workshop EDC, Zürich: Heurista, 1996.
- [87] Hubka, V. & Eder, W.E, Design Science: Introduction to the Needs, Scope and Organization of Engineering Design Knowledge, London: Springer-Verlag, 1996.
- [88] Ullmann, D. G., The Importance of Drawing in the Mechanical design Process, Computer & Graphics, vol. 14, N° 2, pp. 263-274, 1990.
- [89] Ullmann, D. G., The Evolution of Commitments in the Design of a Component, Journal of Mechanical Design; vol. 114, pp.1-7, march 1992.
- [90] Back, N. Metodologia de Projeto de Produtos Industriais. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983.
- [91] Asimov, M., Introduction to Design: Fundamentals of Engineering Design. Prentice Hall, 1962
- [92] Alting, L., Zhang, H., Computer Aided Process Planing: the State of Art Survey. International Journal of Production Research, vol. 27, N° 4, pp. 1989.
- [93] Moreira, N. P, Ferreira, A. C. – Tecnologia de “Features” em CIM: Aplicações e Ferramentas, Simpósio sobre CAE/CAD/CAM. Sobracom, São Paulo, junho, 1992.
- [94] Rosa, E, Faria, P, Moreira, N., Vieira, R. – New-Modeller. Uma base para a implementação dos conceitos de Engenharia Simultânea em um ambiente computacional. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. Brasil, 1993.
- [95] Ahmadi, J., Nayak, N. J., Technologies for CIM in the USA. Computer Applications in Production and Engineering Integration Aspects. Elsevier Science Publish. North Holland. 1991.
- [96] Shigley, J. L. D., Mechanical Engineering Design, New York, McGraw Hill, 1983.
- [97] Eastman, C. M., & Fereshetian, N., Information models for use in product design: a comparison – Paper Surveys, University of California, Los Angeles, USA, Nov. 1992.
- [98] Asimov, M. Introdução ao Projeto de Engenharia. Editora Mestre Jou, 1968.

- [99] Ashby, M. F. Materials selection in Mechanical Design. New York, Pergamon Press, 1992.
- [100] Niemann, G. Elementos de Máquinas. Vol I. Edgard Blücher, USP, 1971.
- [101] IDEF – Data Modeling Method – <http://www.ideal.com/overviews/ideflx.htm> – 04.01.2000.
- [102] STEP – The STEP project - <http://www.nist.gov/sc4/www/stepdocs.htm> – 05.11.1999
- [103] Steger, W., Riemer, S., Klose, J. & Hacker, W. – Relations between calculation and embodiment design – ICED 1999 – Vol. 2, pp 1231-1234, Munich, August 1999.
- [104] Linhares, J.C. – Gramática para análise funcional de peças – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC – Publicação interna, out.1999.
- [105] Diplaris, S.C. & Sfantsikopoulos, M.M. – A design-supporting tool for the early assessment of the cost of machined parts – ICED 1999 – Vol. 2, pp 1199-1202, Munich, August 1999.
- [106] Kern, V.M., Bohn, J.H. & Barcia, R. M. – STEP databases for product data exchange - I. ICIE – I International Congress of Industrial Engineering, São Carlos, SP, September 4-7, 1995.
- [107] Cunha, R. R. M., Um algoritmo de minimização de sobras em corte unidimensional. Dissertação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.
- [108] Bentley <http://www.bentley.com>

ANEXO A

Estudo de função versus forma

A.1 - Introdução

A realização da função de uma peça depende completamente de sua forma, ou da configuração geométrica do volume de seu material. A determinação da forma da peça deve ser guiada por sua estrutura funcional, onde estão expressas as necessidades do seu conjunto.

SCHULTE, WEBER & STARK [45], tratam as funcionalidades de peças classificando-as em termos das superfícies do volume de seu material. Do ponto de vista de projeto, informações funcionais devem ser processadas com a incidência de seus correspondentes dados geométricos relacionados. Em futuros sistemas de *CAD*, o entendimento das relações entre função e forma será bastante necessário.

Se o “*lay-out*” de um conjunto a ser projetado é completamente desconhecido no início do projeto (projeto novo), a tarefa do projetista é caracterizada por converter necessidades funcionais em peças, com formas concretas, partindo do projeto conceitual do produto.

A.2 - Análise do relacionamento entre função e forma

SCHULTE, WEBER & STARK [45] destacam que a análise do relacionamento entre função e forma pode ser feita sob duas abordagens distintas, sintética e analítica. Na *abordagem sintética*, inicia-se com as funções e determina-se os elementos de forma. Neste contexto, estão as funções ditas *metódicas*. Na *abordagem analítica*, inicia-se com elementos de forma conhecidos e descobrem-se as funções básicas. Aqui tem-se as funções *técnicas*. O caminho para se descrever as formas de uma peça pode ser definido, segundo os autores, como segue:

- (1) Inicialmente, um *efeito físico adequado* ao campo do projeto de sistemas mecânicos, deve ser escolhido para realizar cada função da sua estrutura funcional. Efeitos físicos tem as seguintes características:
 - (a) Derivam de fenômenos físicos, determinados empiricamente, ou são determinados pelas leis da natureza;
 - (b) Cada efeito físico é combinado com um propósito especial e mostra como transformar a entrada da função básica em sua saída, em termos de um processo físico;
 - (c) Cada efeito físico tem características específicas para as configurações das superfícies dos volumes daquela região do material da peça.

A análise das características listadas anteriormente é muito importante na determinação das formas das peças porque as *superfícies ativas* são prioritárias na determinação do “*lay-out*” definitivo da peça, no projeto preliminar e detalhado. Um exemplo de superfície funcionalmente ativa, são as superfícies de aplicação de força, como apoios de eixos de transmissão mecânica. *Superfícies ativas* podem também ser chamadas de “*superfícies funcionais primárias*”, que executam funções primárias, o que dá uma idéia melhor de seu significado.

(2) Além das *superfícies funcionais primárias*, uma peça contém outras superfícies que existem em decorrência das primárias e se inserem nas interfaces das superfícies primárias. Estas superfícies, denominadas “*superfícies funcionais secundárias*”, são necessárias devido a aspectos relacionados a manufatura, montagem, padronização. As *superfícies funcionais secundárias*, realizam as *funções secundárias*, que apoiam a realização das *funções primárias*.

(3) O terceiro tipo de superfície que uma peça pode apresentar são aquelas que não derivam de efeitos físicos e também não dizem respeito a aspectos de fabricação, montagem ou padronização. Estas superfícies são chamadas “*superfícies de conexão*”. Este tipo de superfície tem um significado funcional marginal e podem ser normalmente modificadas sem mudar o comportamento do produto. São aquelas, que no âmbito da estrutura conceitual de uma peça, estabelecem as interfaces entre dois *grupos funcionais de uma peça*.

A abordagem de *superfícies funcionais* defendida por alguns autores, estabelece um número bem maior de entidades individuais a serem consideradas, já que um grupo funcional de peça pode ser concebido como um conjunto contendo várias *superfícies funcionais*. Desta forma, é própria para uma análise um pouco mais refinada, executada durante o projeto preliminar da peça, em que, a partir de possíveis configurações, dadas pelas “*features*” *conceituais*, tem-se elementos para definir-se a forma das superfícies geométricas que podem formar um determinado *grupo funcional da peça*.

As *superfícies funcionais primárias* realizam as *funções parciais primárias* e por isso assemelham-se às “*features*” *conceituais da peça (feCO)* que formam os *grupos funcionais da peça* que realizam estas funções. As *superfícies funcionais secundárias*, relacionam-se com as *funções parciais secundárias* e as *superfícies de conexão* são os *grupos funcionais de junção*, defendidos por alguns autores. Observa-se que ambas as abordagens podem ser representadas posteriormente utilizando-se modelagem por “*features*”.

A.3 - Considerações sobre a definição da forma

Para o estabelecimento da forma mais adequada para a peça, ou de seus grupos funcionais, em detrimento do cumprimento de uma determinada função, alguns critérios devem ser adotados. Estes critérios são identificados em função do contexto de aplicação da peça, ou seja, do tipo de peça (rotacional, prismática, laminar ou mista) e também de sua localização no produto, ou em que conjunto ou mecanismo está inserida.

Entretanto, antes de se partir para a escolha de *princípios de solução de peça* para os *grupos funcionais da peça*, tem-se que determinar qual a topologia da região onde se deseja realizar uma ou mais funções elementares, parciais e global da peça.

O espaço disponível em relação a uma certa região onde se quer a realização de uma ou mais funções, é um espaço que não deve ser determinado arbitrariamente, uma vez que, com base no volume disponível, é que o projetista irá alocar os grupos funcionais de uma determinada peça.

O espaço de uma *região funcional de peça*, susceptível de ser ocupado por um *grupo funcional da peça*, é o volume destinado às funções que naquela região serão realizadas. Sendo geometricamente ocupado por um grupo funcional cuja configuração volumétrica é capaz de realizar uma ou mais funções requeridas naquele local para o cumprimento da função global. Esse espaço constitui-se, em última análise, no local de realização de funções desejadas.

Desta forma, pode-se assumir que uma *função* é resultado de uma *forma* aplicada a uma *topologia* dentro de um *contexto* específico, enquanto que a *geometria* engloba tais *topologia* e *forma*, porém com *dimensões* definidas, segundo critérios de dimensionamento eliminando-se os efeitos indesejáveis à peça, Figura A.1.

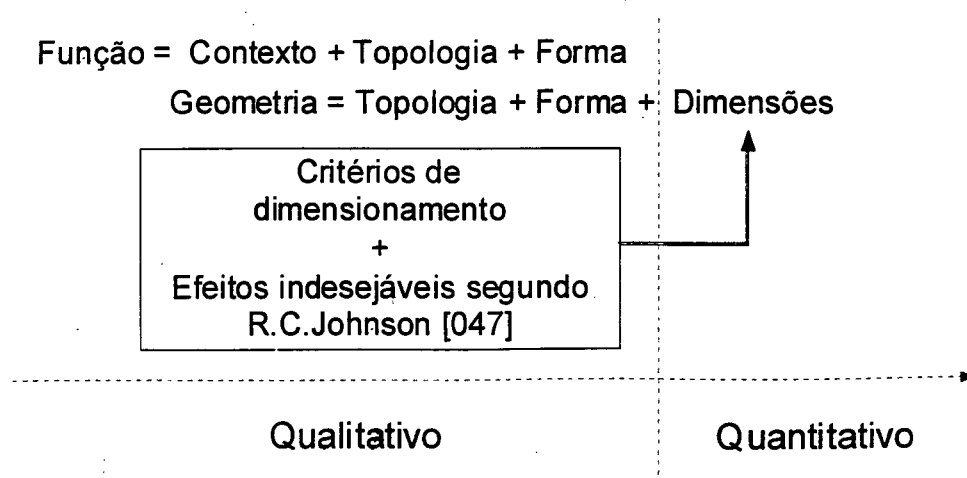


Figura A.1 – Representação da transição entre efeitos qualitativos e quantitativos no projeto de peças.

A transição de função para forma deve obrigatoriamente passar pela pré-determinação de um espaço que esteja disponível, antes de considera-se os critérios de dimensionamento e efeitos indesejáveis para chegar-se às dimensões da peça.

A síntese de *grupos funcionais da peça* é tarefa primordial para a concepção de peças em que a escolha de *princípios de solução de peça* possíveis, deve ser realizada. Para tal, devem ser adotados critérios que se reportem aos *requisitos de projeto da peça*, quando bem elaborados, ou às restrições de projeto da aplicação como restrições de manufatura, montagem, testes, uso/operação, manutenção e descarte.

A Figura A.2 é uma representação genérica da estrutura conceitual de peça, onde busca-se a determinação dos *grupos funcionais da peça*. Na passagem de *regiões funcionais de peça* para *grupos funcionais de peça* busca-se definir uma localização daquela região e somente depois busca-se a forma tentativa que deve ser alocada neste espaço disponível, através dos *princípios de solução de peça*.

A expressão “criação de formas” em projeto mecânico, deve ser avaliada antes de mencionada, pois a forma de uma peça é determinada com base em diversas necessidades, tanto as relacionadas com o sistema, quanto as relacionadas com aspectos funcionais de outras peças interligadas e ainda aspectos de custos, tecnológicos, de manutenção, uso e descarte.

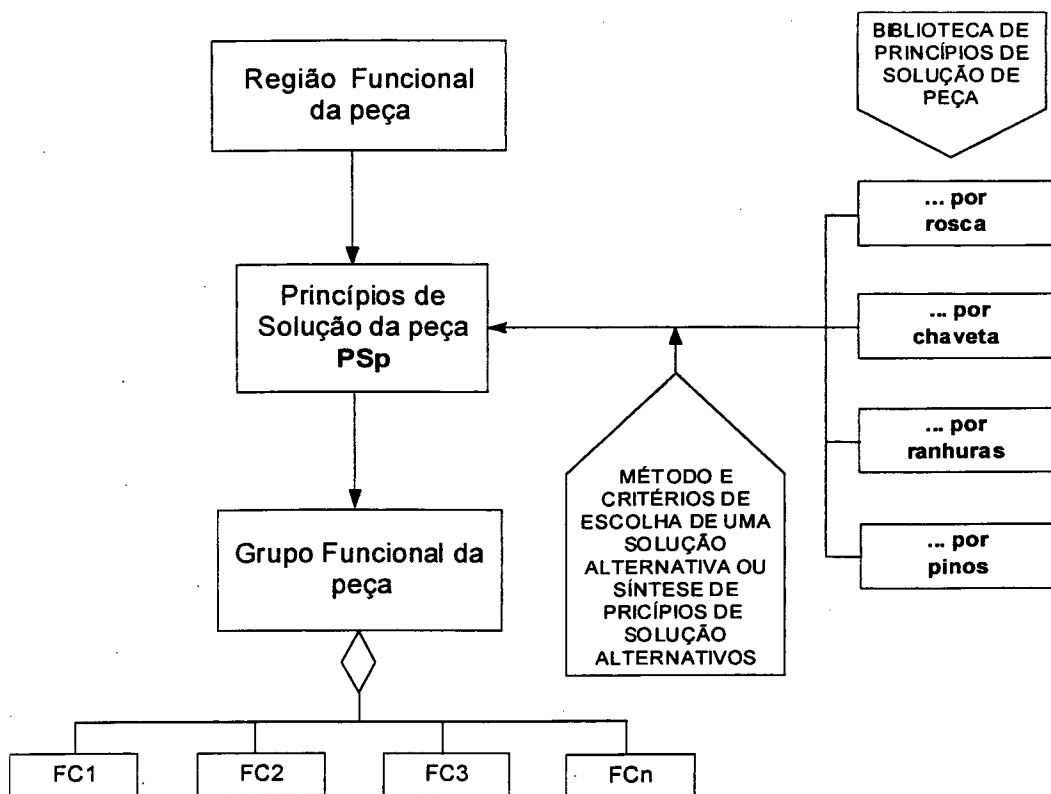


Figura A.2 – Representação esquemática da estrutura conceitual de peça: a busca de elementos conceituais para a composição dos grupos funcionais da peça.

A necessidade do cumprimento de funções pela peça guia a escolha de uma espaço adequado e para este espaço adequado devem ser escolhidas formas adequadas. Dentre as possíveis formas estarão constituídas possíveis soluções ou configurações, ainda conceituais, para a realização das funções envolvidas. Para isso, é necessária a aplicação de métodos de avaliação das soluções alternativas baseados em critérios que se reportam aos requisitos de projeto da peça e também em restrições de custos, manufatura, montagem, manutenção, uso, descarte e outros, como já enfatizado anteriormente.

Estes critérios devem dar a direção na qual o projeto desta peça deve seguir. As soluções alternativas serão avaliadas comparativamente, ou seja, qual a solução que melhor atende aos *requisitos de projeto da peça* e às restrições citadas.

ANEXO B

Classes e diagramas da base de dados *MDPP_Geral*

B.1 - Descrição de Classes e Atributos.

Nas páginas seguintes, mostra-se o detalhamento das estruturas de objetos geradas no trabalho. Inicialmente, com a descrição dos atributos de cada classe e, posteriormente, mostrando-se todos os modelos de objetos utilizados no mapeamento das estruturas funcionais e conceituais de produto e peça no banco de dados relacional.

Classe_Produto

CódigoDoProduto (Autonumer.)
CódigoDoDesenho (Número)
CódigoDoCroquí (Número)
NomeDoProduto (Texto)
ResponsávelProduto (Texto)
PesoDoProduto (Texto)
CustoDoProduto (Moeda)
ComentáriosProduto (Memorando)
EstrutFuncProduto (Objeto OLE)

Classe_Conjunto

CódigoDoConjunto (AutoNumer.)
NúmeroDoConjunto (Texto)
NívelEstrutHierarq (Texto)
CódigoDoDesenho (Número)
CódigoDoCroquí (Número)
CódigoDoCatálogo (Número)
CódigoDoProduto (Número)
NomeDoConjunto (Texto)
ResponsávelConjunto (Texto)
PesoDoConjunto (Texto)
CustoDoConjunto (Moeda)
ComentáriosConjunto (Memoran.)
EstrutFuncConjunto (Objeto OLE)

Classe_Peça

CódigoDaPeça (Autonumeração)
NúmeroDaPeça (Texto)
CódigoDoDesenho (Número)
CódigoDoCatálogo (Número)
CódigoDoCroquí (Número)
CódigoDoSistema (Número)
NomeDaPeça (Texto)
Quantidade (Texto)
PesoDaPeça (Texto)
CustoPeça (Moeda)
MaterialDaPeça (Texto)
TipoDePeça (Texto)
FunçãoGlobalDaPeça (Texto)
EstrutFuncPeça (Objeto OLE)
ComentáriosPeça (Memorando)

Classe_FG

CódigoDaFG (AutoNumeração)
NomeDaFG (Texto)
QualificadorDaFG (Texto)
ComentáriosFG (Memorando)

Classe_FP

CódigoDaFP (AutoNumeração)
CódigoDaFG (Número)
NomeDaFP (Texto)
SiglaDaFP (Texto)
QualificadorDaFP (Texto)
ComentáriosFP (Memorando)
NívelDaFP (Texto)

Classe_FE

CódigoDaFE (AutoNumeração)
CódigoDaFP (Número)
SiglaDaFE (Texto)
NomeDaFE (Texto)
QualificadorDaFE (Texto)
ComentáriosFE (Memorando)

Classe_EF

CódigoDaFE (Número)
SiglaDoEF (Texto)
NomeDoEF (Texto)
ComentáriosEF (Memorando)

Classe_PE

CódigoDoPE (AutoNumeração)
CódigoDoEF (Número)
SiglaDoPE (Texto)
NomeDoPE (Texto)
ComentáriosPE (Memorando)

Classe_PS

CódigoDoPS (AutoNumeração)
SiglaDoPS (Texto)
NomeDoPS (Texto)
ComentáriosPS (Memorando)

Classe_FGp

CódigoDaFGp (AutoNumeração)
CódigoDoPS (Número)
SiglaDaFGp (Texto)
NomeDaFGp (Texto)
CódigoDaPeça (Número)
QualificadorDaFGp (Texto)
ComentáriosFGp (Memorando)

Classe_FPp

CódigoDaFPp (AutoNumeração)
SiglaDaFPp (Texto)
CódigoDaFGp (Número)
NomeDaFPp (Texto)
QualificadorDaFPp (Texto)
ComentáriosFPp (Memorando)

Classe_FEp

CódigoDaFEp (AutoNumeração)
SiglaDoFEp (Texto)
CódigoDaFPp (Número)
CódigoDoGFp (Número)
NomeDaFEp (Texto)
QualificadorDaFEp (Texto)
ComentáriosFEp (Memorando)

Classe_RFp

CódigoDaRFp (AutoNumeração)
SiglaDaRFp (Texto)
CódigoDaPeça (Número)
NomeDaRFp (Texto)
QualificadorDaRFp (Texto)
TopologiaDaRFp (Objeto OLE)
ComentáriosRFp (Memorando)

Classe_PSp

CódigoDoPSp (AutoNumeração)
SiglaDaPSp (Texto)
NomeDoPSp (Texto)
ComentáriosPSp (Memorando)

Classe_GFp

CódigoDoGFp (Autonumeração)
 SiglaDaGFp (Texto)
 CódigoDaPeça (Número)
 CódigoDoDesenho (Número)
 CódigoDoCroquí (Número)
 CódigoDaFPp (Número)
 NomeDoGFp (Texto)
 ComentáriosGFp (Memorando)

Classe_Feature

CódigoDaFeature (AutoNumer.)
 CódigoDoGFp (Número)
 CódigoDoDesenho (Número)
 CódigoDoCroquí (Número)
 NomeDaFeature (Texto)
 ComentáriosFeature (Memorando)

Classe_Desenho

CódigoDoDesenho (AutoNumer.)
 TipoDeObjeto (Texto)
 NomeDoObjeto (Texto)
 Desenho (Objeto OLE)
 NúmeroDodesenho (Texto)
 ComentáriosDesenho (Memorando)

Classe_Req_Proj_Peça

CódigoDoReqProjPeça (AutNum.)
 ReqProjPeça (Memorando)

Classe_Gram_Func

CódigoDaOraçãoFunc (AutNum.)
 SujeitoFuncional (Texto)
 PredicadoFuncional (Texto)
 VerboFuncional (Texto)
 QualificadorVerbal (Texto)

Agregação_C_Bibliot_PSp_PSp

CódigoDaBibliotecaPSp (AutNum.)
 CódigoDoPSp (Memorando)

Agregação_C_Bibliot_PS_PS

CódigoDaBibliotecaPS (AutoNum.)
 CódigoDoPS (Memorando)

Agregação_C_Req_Proj_Peça_PSp

CódigoDoReqProjPeça (AutoNum.)
 CódigoDoPSp (Número)

Agregação_C_Req_Proj_Produto_PS

CódigoDoReqProjProd (AutoNum.)
 CódigoDoPSp (Número)

Agregação_C_Critério_PSp_PSp

CódigoDoCritérioPSp (AutoNum.)
 CódigoDoPSp (Número)

Agregação_C_Critério_PS_PS

CódigoDoCritérioPS (AutoNum.)
 CódigoDoPS (Número)

Agregação_C_Restrição_PSp_PSp

CódigoDaRestriçãoPSp (Aut.Num.)
 CódigoDoPSp (Número)

Agregação_C_Restrição_PS_PS

CódigoDaRestriçãoPS (AutoNum.)
 CódigoDoPS (Número)

Atributos das classes de agregação da estrutura hierárquica de produto e peça.

Agregação_H_Prod_Conj

CódigoDoProduto (Número)
 CódigoDoConjunto (Número)

Agregação_H_Conj_Conj

CódigoConjPai (Número)
CódigoConjFilho (Número)

Agregação_H_Conj_Peça

CódigoDoConjunto (Número)
CódigoDaPeça (Número)

Agregação_H_Peça_GFp

CódigoDaPeça (Número)
CódigoDoGFp (Número)

Agregação_H_GFp_Feature

CódigoDoGFp (Número)
CódigoDaFeature (Número)

Agregação_F_Prod_FG

CódigoDoProduto (Número)
CódigoDaFG (Número)

Agregação_F_FG_FP

CódigoDaFG (Número)
CódigoDaFP (Número)

Agregação_F_FP_FE

CódigoDaFP (Número)
CódigoDaFE (Número)

Agregação_F_FE_EF

CódigoDaFE (Número)
CódigoDoEF (Número)

Agregação_C_PE_PS

CódigoDoPE (Número)
CódigoDoPS (Número)

Agregação_F_PE_Peça

CódigoDoPE (Número)
CódigoDaPeça (Número)

Agregação_F_FGp_FPp

CódigoDaFGp (Número)
CódigoDaFPp (Número)

Agregação_F_FPp_FEp

CódigoDaFPp (Número)
CódigoDaFEp (Número)

Agregação_F_FEp_Feature

CódigoDaFEp (Número)
CódigoDaFeature (Número)

Agregação_F_FP_FP

CódigoDaFPpai (Número)
CódigoDaFPfilho (Número)

**Atributos das subclasses da superclasse
*Classe_Feature******Subclasse_feFU***

Código_feFU (Autonumeração)
SiglaDa_feFU (Número)
CódigoDaFeature (Número)
Nome_feFU (Texto)
Comentários_feFU (Memorando)
ParâmetrosFunc. (Texto)

Subclasse_feCO

Código_feCO (Autonumeração)
SiglaDa_feCO (Número)
CódigoDaFeature (Número)
Nome_feCO (Texto)
Comentários_feCO (Memorando)
ParâmetrosConceituais (Texto)

Subclasse fePR

Código_fePR (Autonumeração)
 SiglaDafePR (Número)
 CódigoDaFeature (Número)
 Nome_fePR (Texto)
 Comentários_fePR (Memorando)
 ParâmetrosPreliminares (Texto)

Subclasse feDE

Código_feDE (Autonumeração)
 SiglaDa_feDE (Número)
 CódigoDaFeature (Número)
 Nome_feDE (Texto)
 Comentários_feDE (Memorando)

Atributos das classes de correlação***Correlação_C_EF_PE***

CódigoDoEF (Número)
 CódigoDoPE (Número)

Correlação_C_FPp_RFp

CódigoDaFPp (Número)
 CódigoDaRFp (Número)

Correlação_C_PSp_GFp

CódigoDoPSp (Número)
 CódigoDoGFp (Número)

Correlação_C_RFp_PSp

CódigoDaRFp (Número)
 CódigoDoPSp (Número)

Correlação_Desenho_Feature

CódigoDoDesenho (Número)
 CódigoDaFeature (Número)

Correlação_F_FGp_Peça

CódigoDaPeça (Número)
 CódigoDaFGp (Número)

Correlação_GFp_FPp

CódigoDoGFp (Número)
 CódigoDaFPp (Número)

Correlação_GFp_FEp

CódigoDoGFp (Número)
 CódigoDaFEp (Número)

Correlação_Desenho_GFp

CódigoDoDesenho (Número)
 CódigoDoGFp (Número)

Correlação_Desenho_Feature

CódigoDoDesenho (Número)
 CódigoDaFeature (Número)

B.2 - Modelos de objetos das estruturas de produto e peça

Os diagramas dos modelos orientados a objetos das estruturas estudadas são mostrados nas Figuras B.1 a B.7, enquanto que os diagramas dos modelos orientados a objetos das bases de dados dos três estudos de casos, estão representados nas Figuras B.9, B.10 e B.11. O modelo de objetos básico, sobre o qual desenvolveu-se todas as estruturas, é mostrado na Figura B.8.

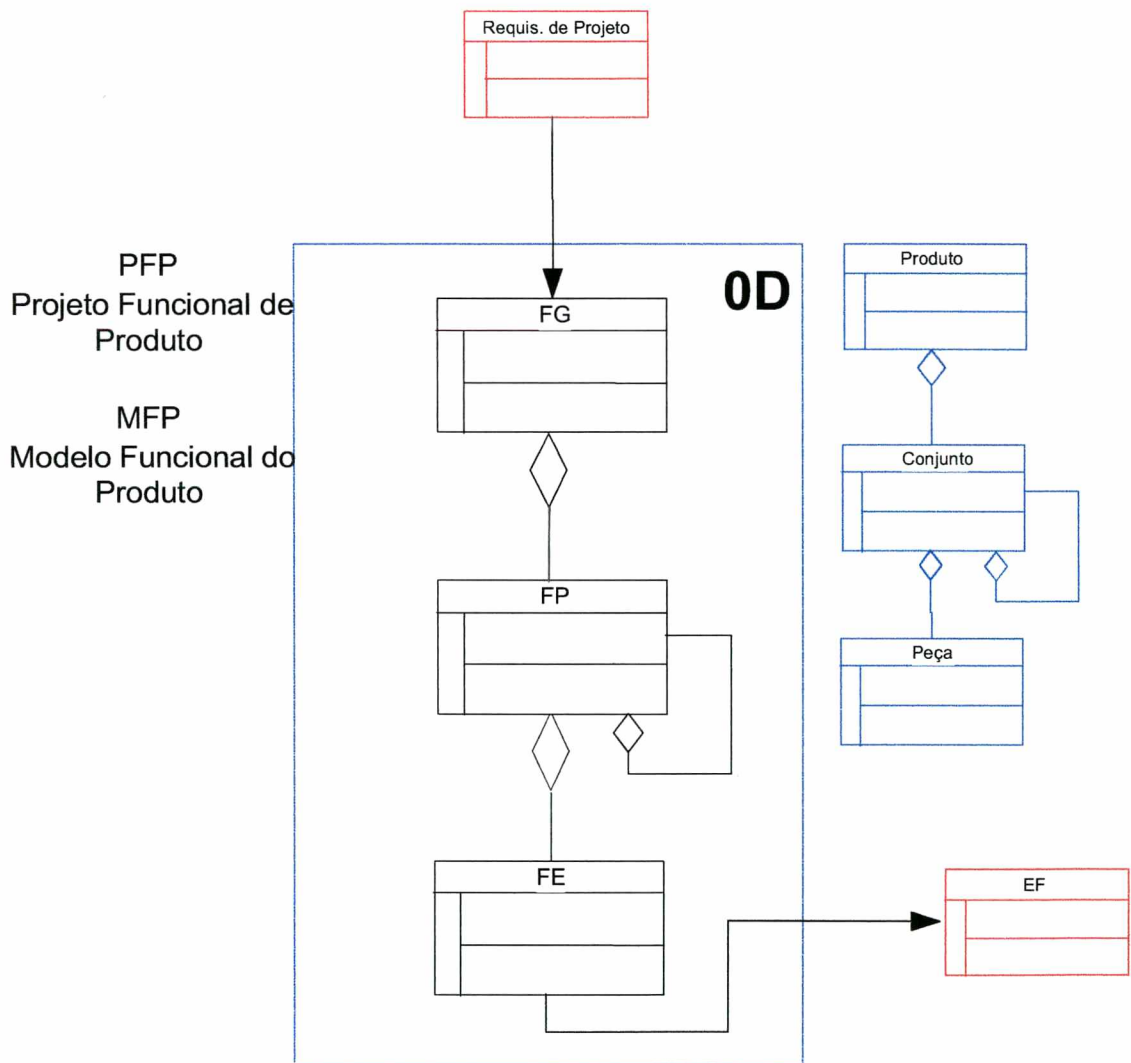


Figura B.1 – Modelo de objetos da estrutura funcional de produto.

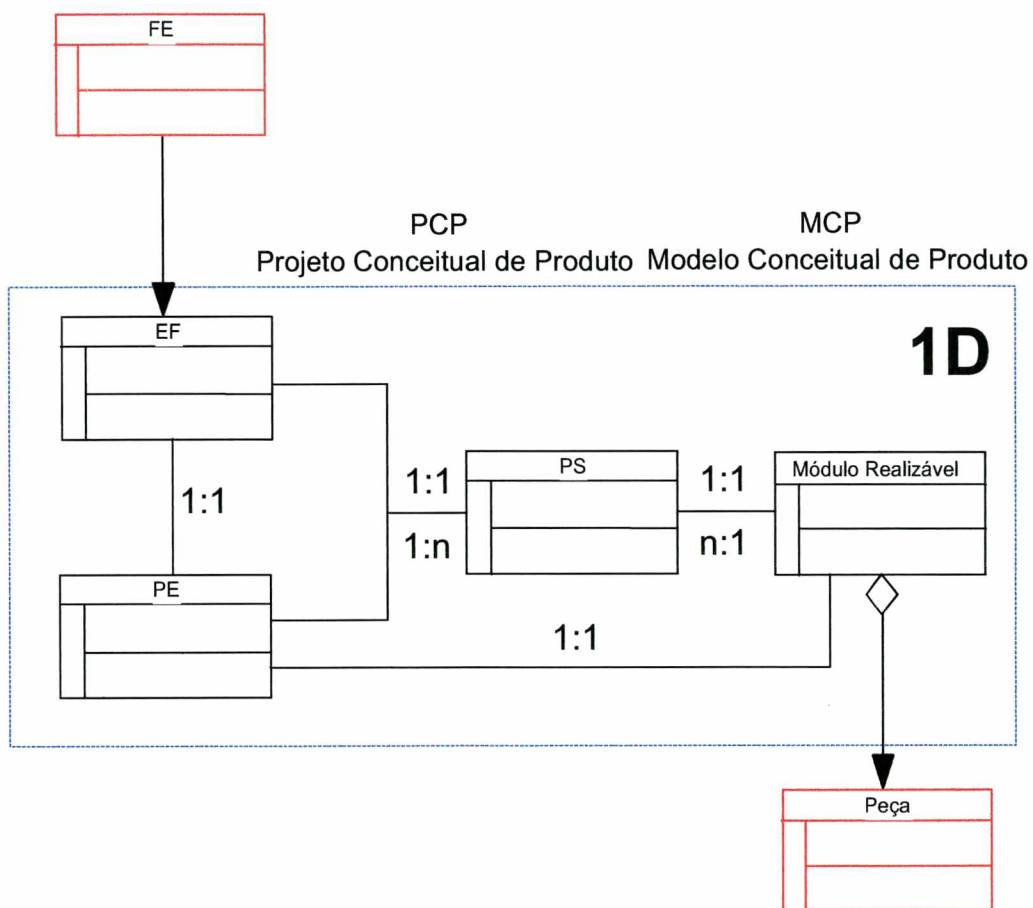


Figura B.2 – Modelo de objetos da estrutura conceitual de produto.

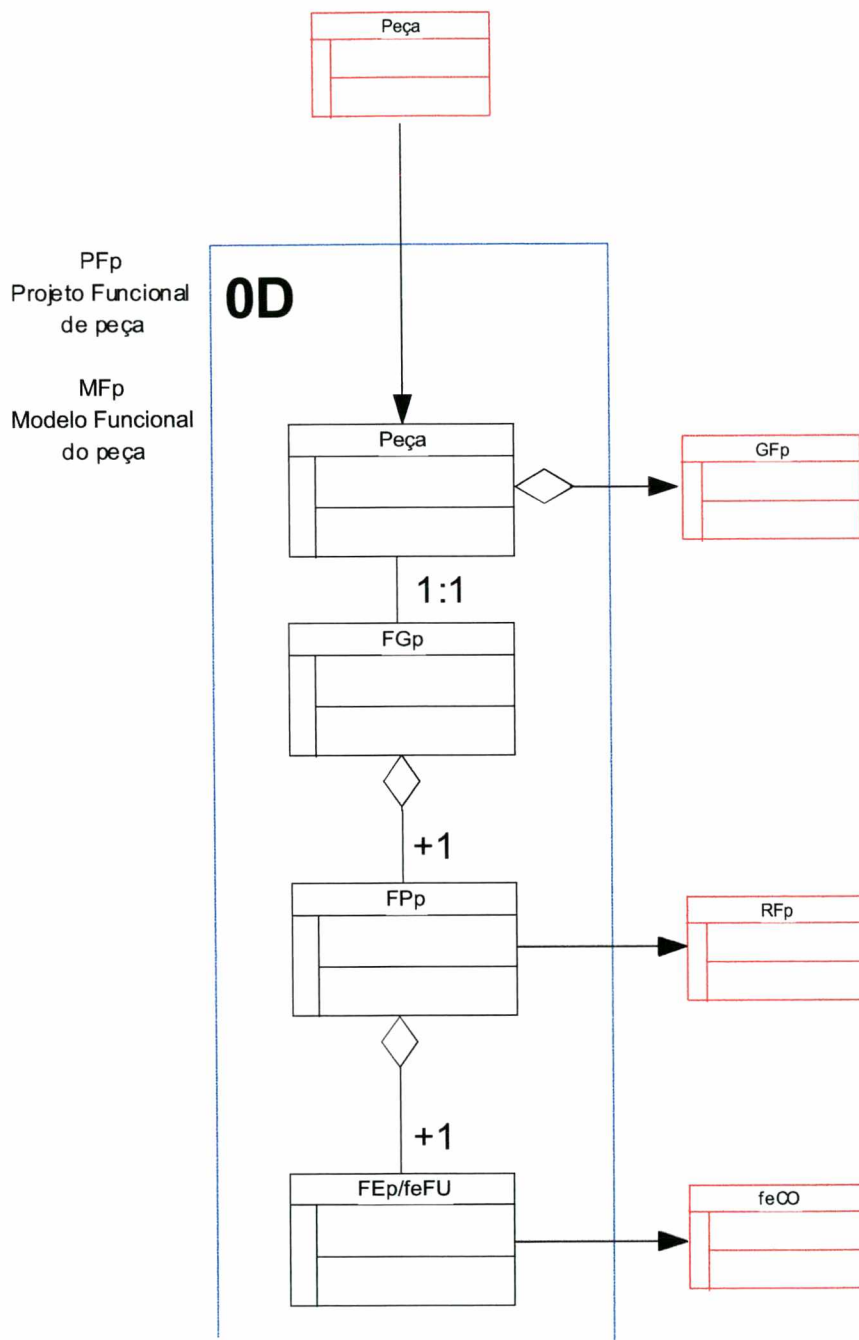


Figura B.3 – Modelo de objetos da estrutura funcional de peça.

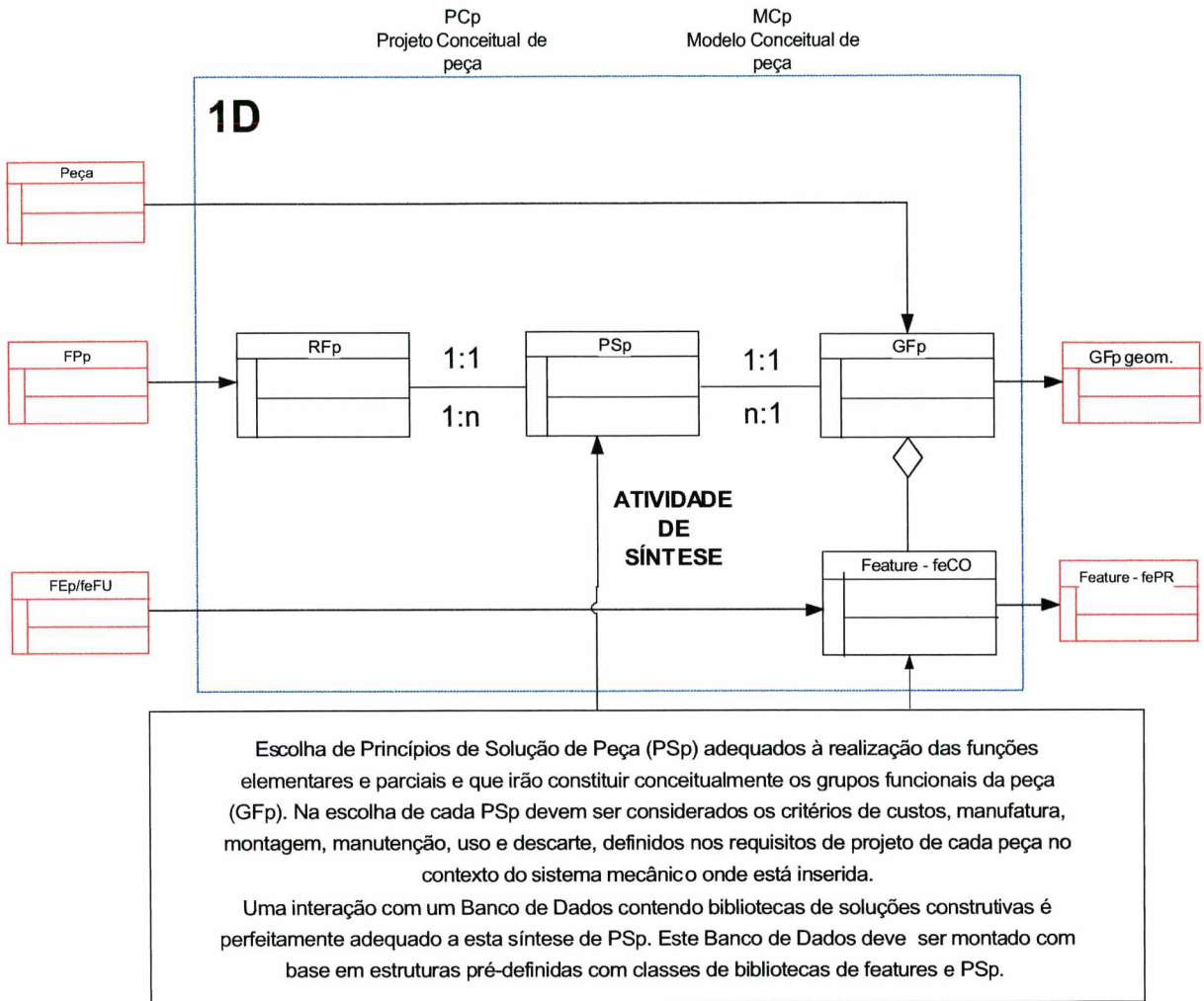


Figura B.4 – Modelo de objetos da estrutura conceitual de peça.

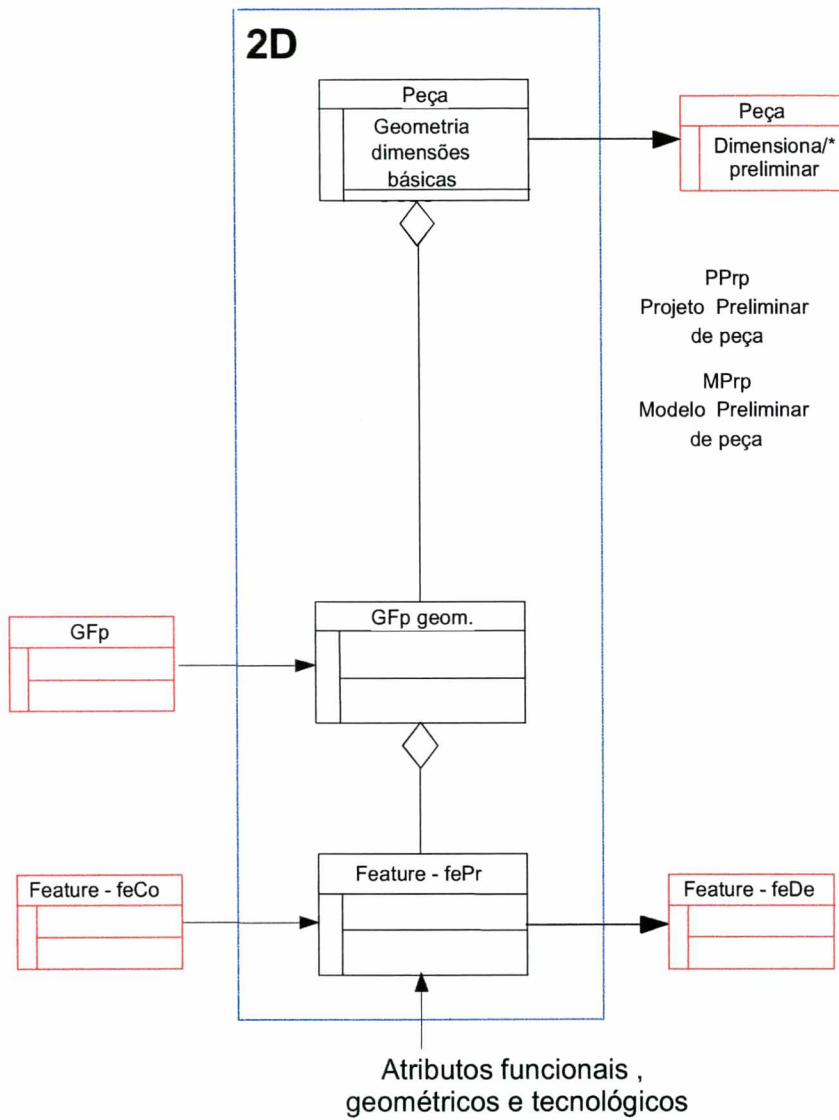


Figura B.5 – Modelo de objetos da estrutura preliminar de peça.

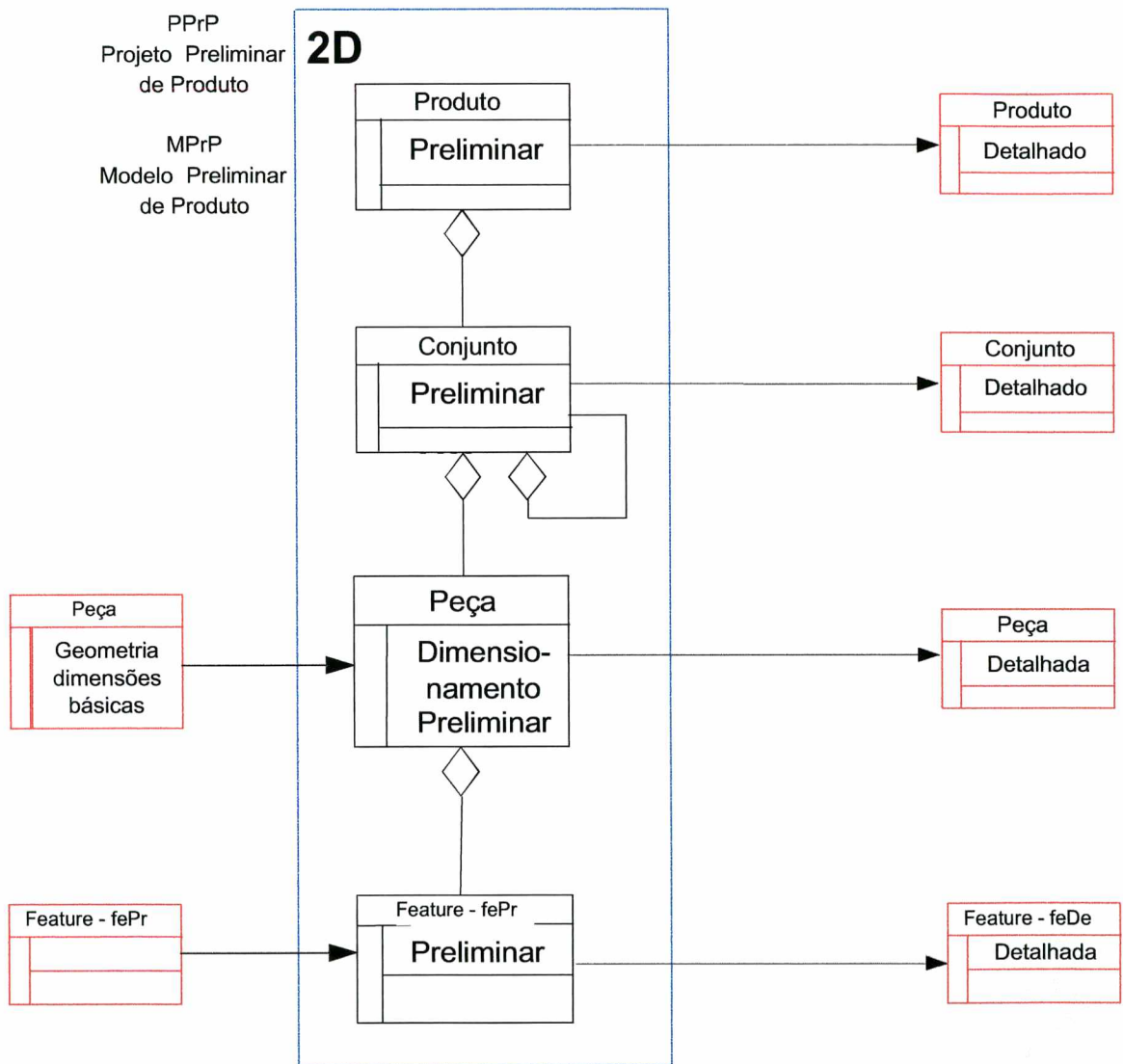


Figura B.6 – Modelo de objetos da estrutura preliminar de produto.

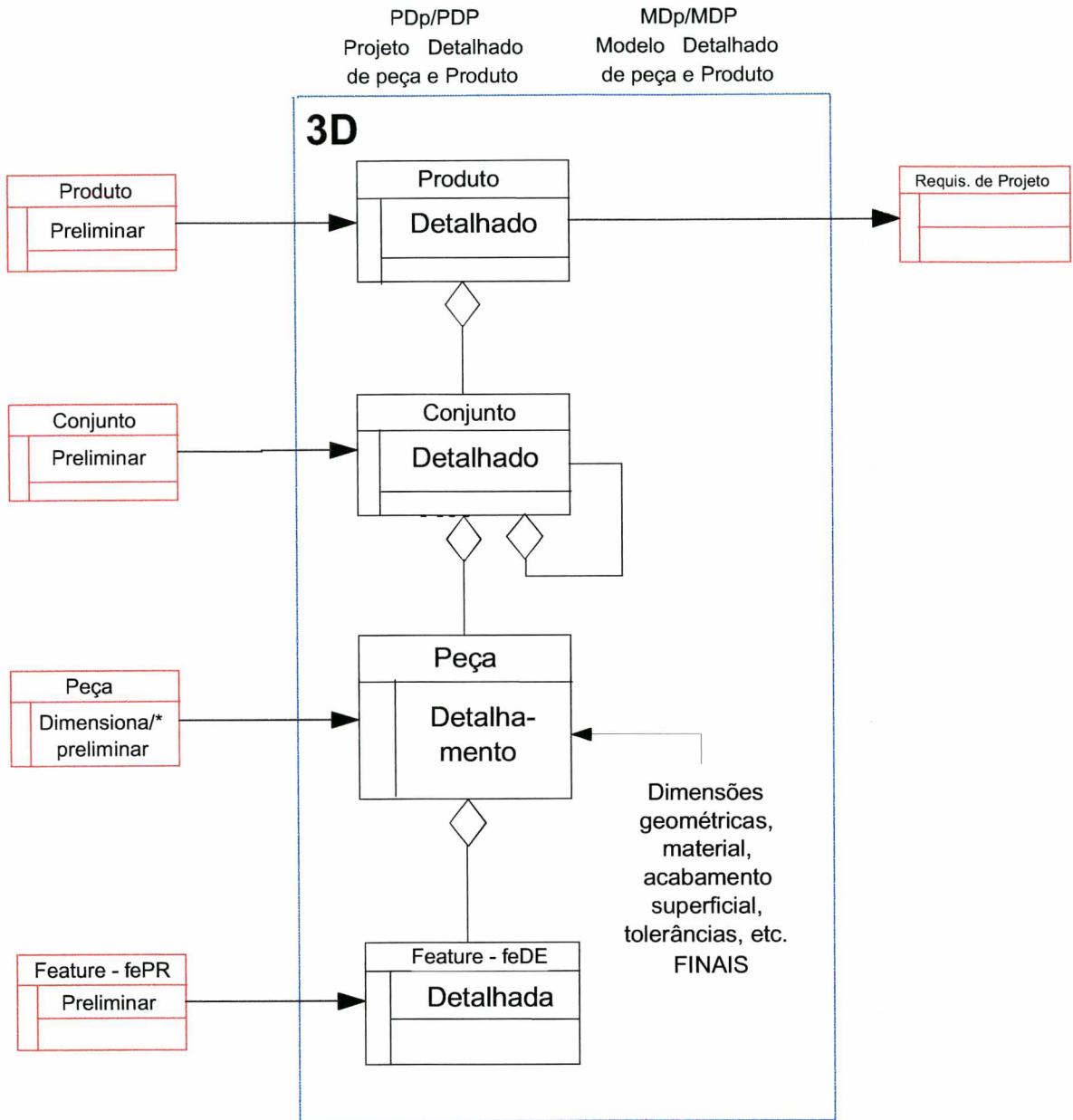


Figura B.7 – Modelo de objetos das estruturas detalhadas de peça e produto.

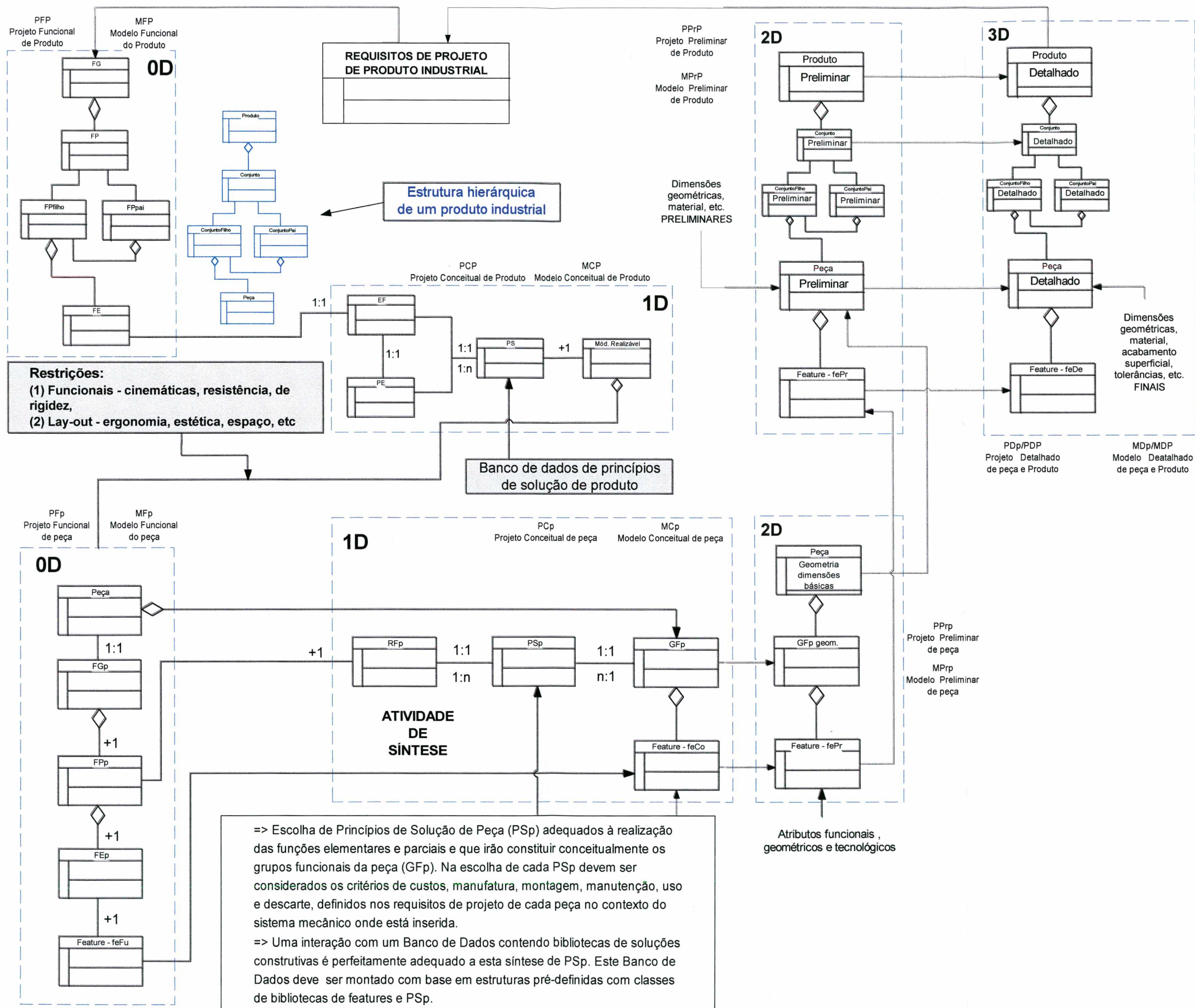


Figura B.8 - Modelo orientado a objetos das estruturas funcionais e conceituais de produto e peças com extensão para as suas respectivas estruturas preliminares e detalhadas.

Versão 6

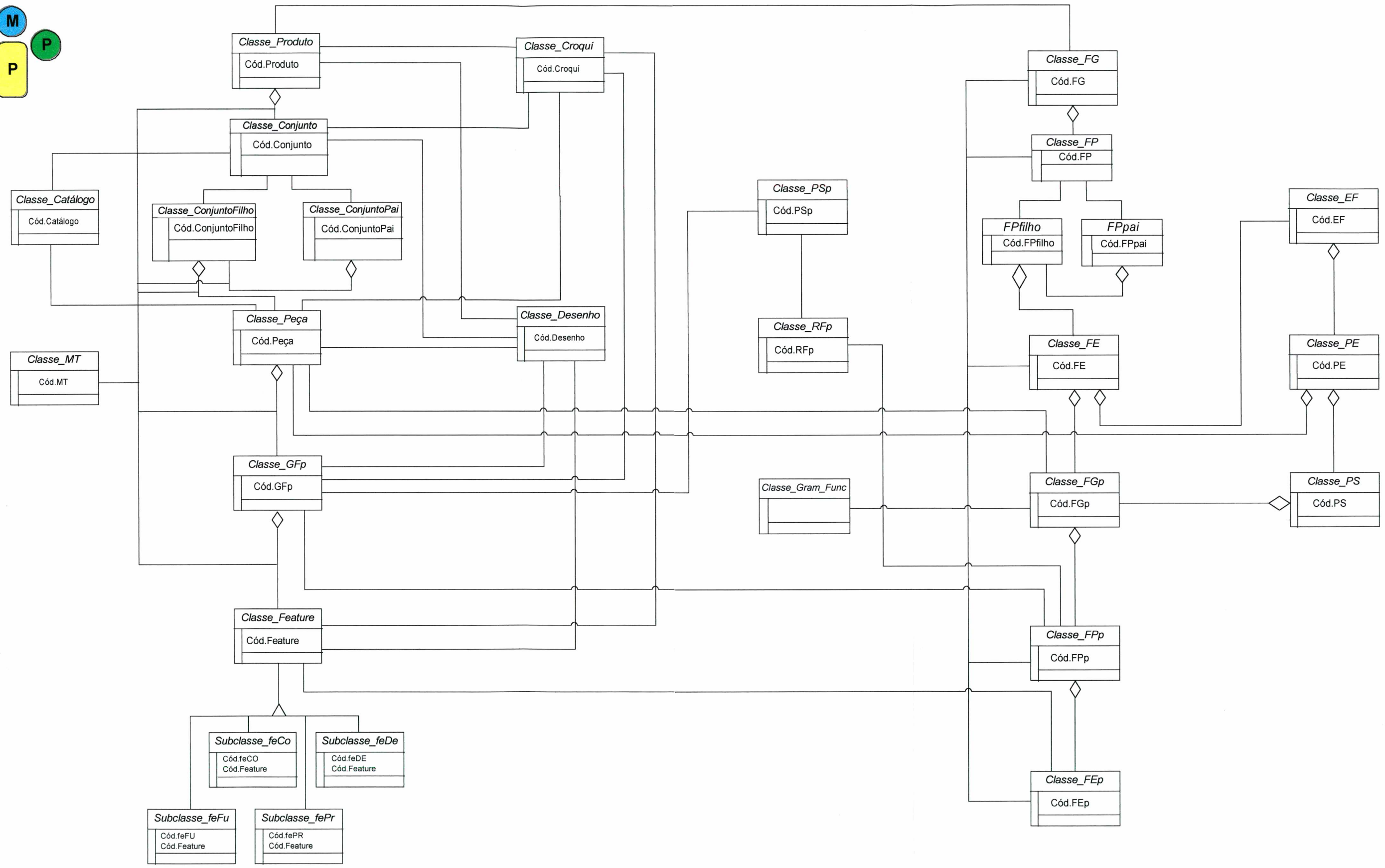
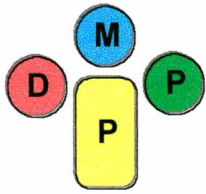


Figura B.9 - Modelo orientado a objetos da estrutura da base de dados MDPP_AcionadorRaiz

Versão 6

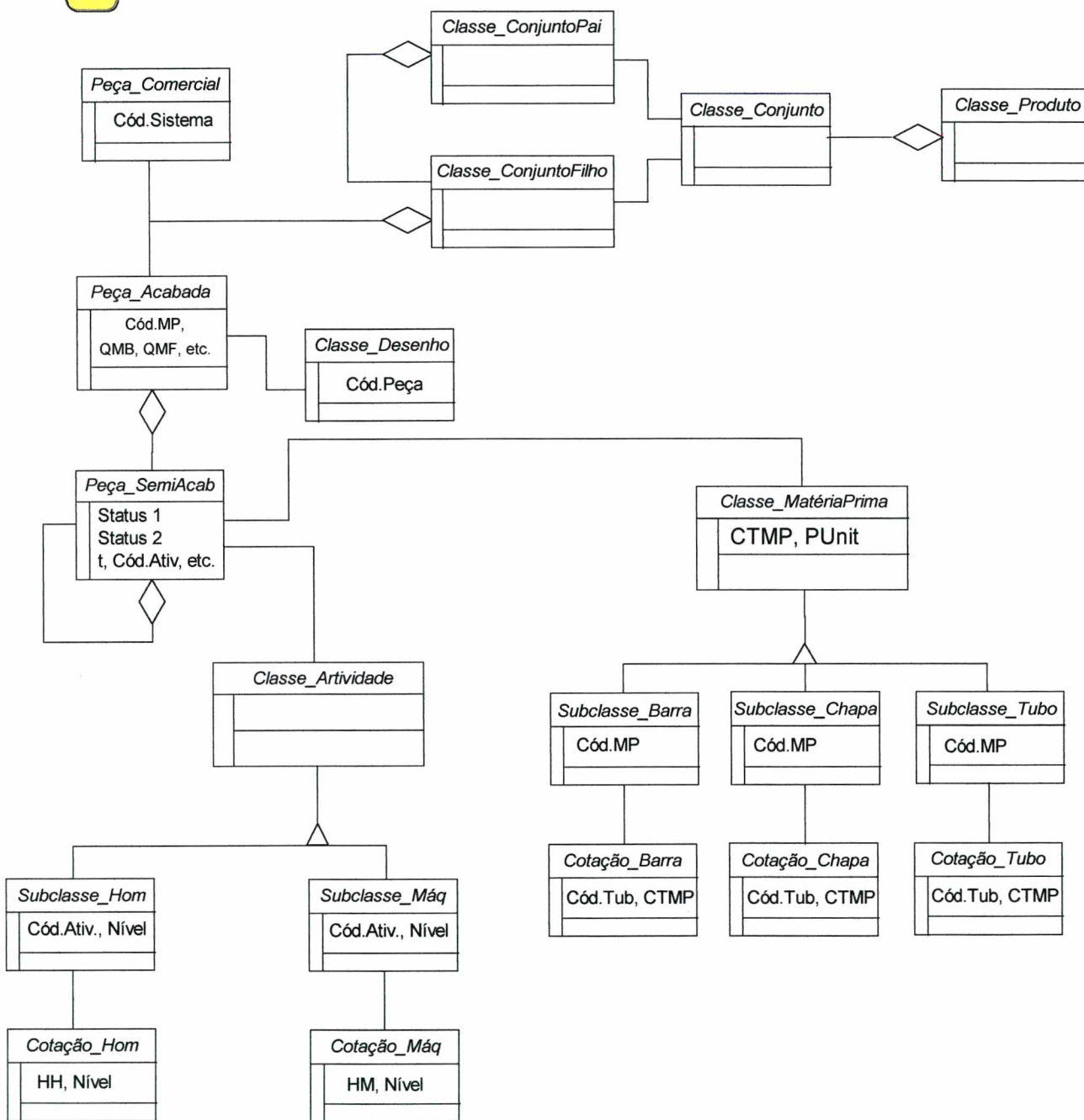
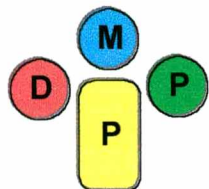


Figura B.10 - Modelo orientado a objetos da estrutura da base de dados MDPP_CustosRaiz.

Anexo C

Estudo de caso 1: Acionador do seccionador

C.1 - Tabelas da estrutura funcional e conceitual do produto

Tabela C.1 – Funções parciais do equipamento que engloba o conjunto considerado.

Cód.FP	Sigla	Nome FP
1	FP1	Transmitir torque e rotação do flange de transmissão ao eixo do pinhão, sem folgas
2	FP2	Transmitir torque e rotação do motor para o eixo de transmissão.
3	FP3	Transmitir movimento para a articulação do contator.

Tabela C.2 – Funções elementares do equipamento referentes ao conjunto considerado.

Cód.FP	Sigla	Cód.FE	Sigla	Nome FE
1	FP1	2	FE1	Receber torque e rotação da transmissão principal.
1	FP1	3	FE2	Transmitir torque e rotação da entrada para a saída do conjunto.
1	FP1	4	FE3	Transmitir torque e rotação para a saída do conjunto.

Tabela C.3 – Fenômenos físicos relacionados aos efeitos dos princípios de solução para as funções elementares do conjunto considerado.

Cód.FE	Sigla	Cód.EF	Sigla	Nome EF
2	FE1	1	EF1	Torque via flange de acoplamento sem folgas.
3	FE2	2	EF2	Torque via eixo ranhurado apoiado em mancal de rolamento.
4	FE3	3	EF3	Torque via transmissão angular.

Tabela C.4 – Portadores de efeitos relacionados aos fenômenos físicos para o conjunto considerado.

Cód.EF	Sigla	Cód.PE	Sigla	Nome PE
1	EF1	1	PE1	Flange cilíndrico com ligação por parafusos e camisa ranhurada internamente.
2	EF2	2	PE2	Eixo com ranhuras longitudinais para transmissão de torque e rotação sem folgas com apoio para rolamento de esferas.
3	EF3	3	PE3	Engrenagem cônica de dentes retos com acoplamento ranhurado para o eixo.

Tabela C.5 – Princípios de solução relacionados aos portadores de efeito do conjunto considerado.

Cód.PE	Sigla	Cód.PS	Sigla	Nome PS
1	PE1	1	PS1	Acoplamento com flange cilíndrico ranhurado internamente e fixação com porca e arruela.
2	PE2	2	PS2	Eixo ranhurado com perfil evolvente apoiado em rolamento duplo de esferas de contato angular.
2	PE2	3	PS3	Apoio radial externo para o rolamento e fixação da estrutura.
3	PE3	4	PS4	Coroa com engrenamento cônico de dentes retos, acoplamento ranhurado e fixação com porca e arruela.

C.2 - Tabelas da estrutura funcional das peças

Tabela C.6 – Relação entre portadores de efeito e peças do conjunto considerado.

Cód.PE	Sigla	Cód.Peça	Nome Peça	Cód.Des.
3	PE3	2	Coroa	6
2	PE2	3	Eixo da coroa	2
2	PE2	8	Porca de fixação	0
2	PE2	9	Arruela de segurança	0
1	PE1	10	Parafuso	0
2	PE2	11	Bucha de apoio do rolamento	4
2	PE2	12	Rolamento	0
2	PE2	13	Anel de apoio do rolamento	207
1	PE1	14	Anel do flange	208
1	PE1	15	Cilindro do flange	9

Tabela C.7 – Funções globais e respectivas funções parciais das peças do conjunto considerado.

Cód.Peça	Nome Peça	Cód.FGp	Sigla FGp	Cód.FPp	Sigla FPp
14	Anel do flange	1	FGp1	1	FPp1
14	Anel do flange	1	FGp1	2	FPp2
15	Cilindro do flange	2	FGp2	4	FPp4
15	Cilindro do flange	2	FGp2	5	FPp5
15	Cilindro do flange	2	FGp2	6	FPp6
2	Coroa	3	FGp3	8	FPp8
2	Coroa	3	FGp3	9	FPp9
3	Eixo da coroa	4	FGp4	11	FPp11
3	Eixo da coroa	4	FGp4	12	FPp12
3	Eixo da coroa	4	FGp4	15	FPp13
3	Eixo da coroa	4	FGp4	17	FPp15
3	Eixo da coroa	4	FGp4	19	FPp16
6	Bucha do eixo do pinhão	5	FGp5	20	FPp18
6	Bucha do eixo do pinhão	5	FGp5	21	FPp19
11	Bucha de apoio do rolamento	6	FGp6	24	FPp24
11	Bucha de apoio do rolamento	6	FGp6	25	FPp25
11	Bucha de apoio do rolamento	6	FGp6	35	FPp23
13	Anel de apoio do rolamento	7	FGp7	26	FPp26
13	Anel de apoio do rolamento	7	FGp7	27	FPp27

Tabela C.8 – Funções parciais e respectivas funções elementares das peças do conjunto considerado.

Cód.FPp	Sigla FPp	Cód.FEp	Sigla FEp	Nome FEp
1	FPp1	1	FEp1	Apoiar superfície plana do elemento de acoplamento.
1	FPp1	2	FEp2	Fixar elemento de acoplamento (e manusear peça).
1	FPp1	3	FEp3	Alojar elemento de fixação.
1	FPp1	4	FEp4	Facilitar a montagem do elemento de fixação.
2	FPp2	5	FEp5	Permitir soldagem em ângulo.
2	FPp2	6	FEp6	Apoiar elemento de acoplamento.
4	FPp4	7	FEp7	Ajustar elemento de acoplamento.

Tabela C.8 - Continuação

4	FPp4	8	FEp8	Alojar elementos de fixação superior do eixo de entrada.
4	FPp4	9	FEp9	Apoiar fixação do eixo de entrada e do elemento de transmissão de torque e rotação.
5	FPp5	10	FEp10	Fixar radialmente eixo de entrada.
5	FPp5	11	FEp11	Transmitir torque e rotação.
6	FPp6	12	FEp12	Apoiar axialmente elemento de apoio do eixo de entrada.
8	FPp8	14	FEp14	Acoplar radialmente eixo de entrada.
8	FPp8	15	FEp15	Transmitir torque e rotação.
9	FPp9	16	FEp16	Fixar axialmente eixo de entrada.
9	FPp9	17	FEp17	Manusear elementos de transmissão de torque e rotação.
11	FPp11	21	FEp21	Fixar elemento de transmissão de torque e rotação ao eixo da coroa.
11	FPp11	22	FEp22	Manusear eixo de entrada.
11	FPp11	23	FEp23	Prender elementos de fixação do eixo.
12	FPp12	24	FEp24	Fixar elemento de transmissão de torque e rotação radialmente.
12	FPp12	25	FEp25	Transmitir torque e rotação.
15	FPp13	28	FEp28	Apoiar axialmente elemento de apoio do eixo de entrada e do acoplamento de entrada.
15	FPp13	29	FEp29	Manusear eixo de entrada.
17	FPp15	32	FEp32	Fixar elemento de acoplamento de entrada radialmente.
17	FPp15	33	FEp33	Transmitir torque e rotação.
19	FPp16	34	FEp34	Fixar elemento de acoplamento do eixo de entrada.
19	FPp16	35	FEp35	Manusear eixo de entrada.
19	FPp16	36	FEp36	Reter elemento de apoio e fixação superior do eixo de entrada.
20	FPp18	37	FEp37	Apoiar eixo de saída radialmente.
20	FPp18	38	FEp38	Facilitar montagem do eixo de saída.
20	FPp18	39	FEp39	Alojar lubrificante.
21	FPp19	40	FEp40	Apoiar radialmente caixa estrutural.
21	FPp19	41	FEp41	Apoiar caixa axialmente.
24	FPp24	44	FEp44	Apoiar elemento de apoio do eixo de entrada radialmente.
24	FPp24	45	FEp45	Manusear elemento de apoio do eixo de saída.
25	FPp25	46	FEp46	Apoiar elemento de apoio do acoplamento de entrada.
25	FPp25	47	FEp47	Manusear elemento de acoplamento do eixo de entrada.
24	FPp24	48	FEp48	Apoiar elemento de apoio do eixo de entrada axialmente.
24	FPp24	49	FEp49	Manusear elemento de acoplamento do eixo de entrada.
24	FPp24	50	FEp50	Alojar eixo de entrada.
26	FPp26	51	FEp51	Fixar axialmente elemento de apoio do eixo de entrada e seu acoplamento.
26	FPp26	52	FEp52	Manusear elemento de apoio do acoplamento do eixo de entrada.
26	FPp26	53	FEp53	Permitir fixação com elementos rotativos e rosca externa.
27	FPp27	54	FEp54	Alojar elemento de acoplamento do eixo de entrada.
27	FPp27	55	FEp55	Manusear elemento de apoio do acoplamento do eixo de entrada.
35	FPp23	70	FEp56	Alojar eixo de entrada.
35	FPp23	71	FEp57	Manusear elemento de acoplamento do eixo de entrada.

C.3 - Tabelas da estrutura conceitual das peças

Tabela C.9 – Funções parciais e respectivas regiões funcionais das peças do conjunto considerado.

Cód.FPp	Sigla	Cód.RFp	Sigla	Nome RFp
1	FPp1	2	RFp1	Região de apoio do contra-flange
1	FPp1	3	RFp2	Região de fixação do contra-flange
2	FPp2	4	RFp3	Região de assento do cilindro do flange para soldagem em ângulo.
4	FPp4	5	RFp4	Região de apoio para fixação do eixo da coroa com porca e arruela.
5	FPp5	6	RFp5	Região de fixação radial do eixo da coroa e transmissão do torque.
5	FPp5	8	RFp7	Região de reentrância escalonada para acessar a região interna do anel de apoio.
6	FPp6	7	RFp6	Região de apoio axial do rolamento de esferas.
8	FPp8	9	RFp8	Região de fixação radial do eixo da coroa e transmissão de torque e rotação.
9	FPp9	10	RFp9	Região de apoio axial do eixo da coroa.
9	FPp9	11	RFp10	Região de engrenamento cônico para transmissão de torque e rotação para pinhão.
11	FPp11	12	RFp11	Região na extremidade do eixo com rosca para fixação axial da coroa.
12	FPp12	13	RFp12	Região de ranhuramento para transmissão de torque e rotação para a coroa.
15	FPp13	14	RFp14	Região de batente para apoio axial da coroa e apoio axial do rolamento e do flange.
17	FPp15	16	RFp16	Região de apoio do rolamento duplo de esferas.
17	FPp15	17	RFp17	Região de ranhuramento para transmissão de torque e rotação do flange.
19	FPp16	18	RFp19	Região na extremidade do eixo com rosca para fixação axial do flange e rolamento.
20	FPp18	19	RFp20	Região de parte interna de uma bucha com furo cilíndrico interno.
20	FPp18	21	RFp22	Região de apoio plano para o pinhão.
21	FPp19	20	RFp21	Região externa de uma bucha cilíndrica.
24	FPp24	22	RFp24	Região cilíndrica para encaixe do rolamento.
25	FPp25	23	RFp25	Região de assentamento do anel de fixação.
25	FPp25	26	RFp28	Região destinada aos furos cilíndricos de fixação do anel e da bucha na caixa do sistema.
26	FPp26	24	RFp26	Região plana para fixar o rolamento contra a bucha de apoio.
26	FPp26	27	RFp29	Região de furos cilíndricos para fixação do anel e da bucha na caixa do sistema.
27	FPp27	25	RFp27	Região de abertura para passagem livre do cilindro do flange.
35	FPp23	22	RFp24	Região de encaixe do rolamento.

Tabela C.10 – Regiões funcionais e seus princípios de solução de peça das peças do conjunto considerado.

Cód.RFp	Sigla	Cód.PSp	Sigla	Nome PSp
2	RFp1	1	PSp1	Superfície anelar plana circular com diâmetros interno e externo a serem definidos posteriormente com furos cilíndricos e com chanfros externos.
3	RFp2	28	PSp28	Furo vazado com chanfros a 45 graus.
4	RFp3	2	PSp2	Superfícies cônicas internas e superfície cilíndrica interna uniforme.
5	RFp4	4	PSp4	Rebaixo cilíndrico.
6	RFp5	5	PSp5	Furo cilíndrico interno com ranhuras evolventes longitudinais.
7	RFp6	20	PSp22	Superfície plana anelar circular.
8	RFp7	6	PSp6	Superfície plana circular anelar com escalonamento externo.
9	RFp8	5	PSp5	Furo cilíndrico interno com ranhuras evolventes longitudinais.
10	RFp9	4	PSp4	Rebaixo cilíndrico.
11	RFp10	10	PSp10	Superfície cônica com dentes retos para engrenamento.
12	RFp11	11	PSp11	Rosca UNC para acoplamento e fixação do flange de transmissão ao eixo da coroa, mais um rasgo de chaveta para a trava da arruela de segurança .
13	RFp12	12	PSp12	Cilindro externo com ranhuras evolventes longitudinais.
14	RFp14	20	PSp22	Superfície plana anelar circular.
16	RFp16	13	PSp14	Cilindro externo uniforme com bloco circular de encosto.
17	RFp17	16	PSp17	Cilindro externo com ranhuras evolventes longitudinais.
18	RFp19	17	PSp19	Rosca UNC para acoplamento e fixação do flange de transmissão ao eixo da coroa, mais um rasgo de chaveta para a trava da arruela de segurança .
19	RFp20	18	PSp20	Cilindro interno com rebaixo para lubrificação interna com superfície plana anelar circular.
20	RFp21	29	PSp30	Superfície cilíndrica externa uniforme.
21	RFp22	20	PSp22	Superfície plana anelar circular.
22	RFp24	21	PSp24	Rebaixo cilíndrico uniforme.
23	RFp25	23	PSp26	Superfícies planas circulares com base de fixação através de furos cilíndricos.
24	RFp26	22	PSp25	Furo vazado de passagem do eixo da coroa.
25	RFp27	22	PSp25	Furo vazado de passagem do eixo da coroa.
26	RFp28	28	PSp28	Furo vazado com chanfros a 45 graus.
27	RFp29	28	PSp28	Furo vazado com chanfros a 45 graus.

Tabela C.11 – Princípios de solução de peça para os grupos funcionais das peças do conjunto considerado.

Cód.PSp	Sigla PSp	Cód.GFp	Sigla GFp	Nome GFp
1	PSp1	1	GFp1	Fixação do acoplamento do contra-flange de transmissão.
2	PSp2	2	GFp2	União com cilindro do flange.
4	PSp4	4	GFp4	Rebaixo para fixação axial do eixo da coroa.
5	PSp5	5	GFp5	Furo ranhurado com perfil evolvente para transmissão de torque e rotação.
6	PSp6	6	GFp6	Apoio para pista interna do rolamento.
8	PSp8	8	GFp8	Acoplamento do eixo da coroa.
10	PSp10	9	GFp9	Engrenamento cônico.
11	PSp11	11	GFp11	Fixação do eixo na coroa.
12	PSp12	12	GFp12	Transmissão de torque e rotação para coroa.
13	PSp14	13	GFp13	Fixação axial do rolamento e coroa.
16	PSp17	15	GFp15	Transmissão de torque e rotação do cilindro do flange.
17	PSp19	16	GFp16	Fixação do eixo e do rolamento no cilindro do flange.
18	PSp20	18	GFp28	Apoio para o pinhão e eixo do pinhão.
20	PSp22	19	GFp19	Apoio da caixa na bucha do rolamento.
21	PSp24	21	GFp21	Apoio do rolamento.
22	PSp25	23	GFp23	Alojamento do eixo da coroa.
23	PSp26	24	GFp24	Apoio e fixação da bucha e anel do rolamento na caixa estrutural.
24	PSp27	29	GFp29	Passagem do cilindro do flange.
27	PSp29	28	GFp28	Fixação do rolamento na bucha de apoio.

Tabela C.12 – Peças e seus correspondentes grupos funcionais de peça, do conjunto considerado.

Cód. Peça	Nome Peça	Cód. GFp	Sigla GFp	Nome GFp
2	Coroa	8	GFp8	Acoplamento do eixo da coroa.
2	Coroa	9	GFp9	Engrenamento cônico.
3	Eixo da coroa	11	GFp11	Fixação do eixo na coroa.
3	Eixo da coroa	12	GFp12	Transmissão de torque e rotação para coroa.
3	Eixo da coroa	13	GFp13	Fixação axial do rolamento e coroa.
3	Eixo da coroa	15	GFp15	Transmissão de torque e rotação do cilindro do flange.
3	Eixo da coroa	16	GFp16	Fixação do eixo e do rolamento no cilindro do flange.
6	Bucha do eixo do pinhão	18	GFp28	Apoio para o pinhão e eixo do pinhão.
6	Bucha do eixo do pinhão	19	GFp19	Apoio da caixa na bucha do rolamento.
11	Bucha de apoio do rolamento	21	GFp21	Apoio do rolamento.
11	Bucha de apoio do rolamento	23	GFp23	Alojamento do eixo da coroa.
11	Bucha de apoio do rolamento	24	GFp24	Apoio e fixação da bucha e anel do rolamento na caixa estrutural.
13	Anel de apoio do rolamento	28	GFp28	Fixação do rolamento na bucha de apoio.
13	Anel de apoio do rolamento	29	GFp29	Passagem do cilindro do flange.
14	Anel do flange	1	GFp1	Fixação do acoplamento do contra-flange de transmissão.
14	Anel do flange	2	GFp2	União com cilindro do flange.
15	Cilindro do flange	4	GFp4	Rebaixo para fixação axial do eixo da coroa.
15	Cilindro do flange	5	GFp5	Furo ranhurado com perfil evolvente para transmissão de torque e rotação.
15	Cilindro do flange	6	GFp6	Apoio para pista interna do rolamento.

Tabela C.13 – Relação entre grupos funcionais e declarações tentativas de formas.

Cód.GFp	Sigla	Cód.Peça	Nome GFp	Declarações tentativas de formas
1	GFp1	14	Fixação do acoplamento do contra-flange de transmissão e união com cilindro do flange.	(1) Um flange cilíndrico com fixação por parafusos. [Porcas, e arruelas de pressão para o flange e porca com arruela de trava para fixação do eixo no cubo do flange].
2	GFp2			
4	GFp4	15	Rebaixo para fixação do eixo da coroa, furo ranhurado com perfil evolvente para transmissão de torque e rotação e apoio para pista interna do rolamento.	(2) Furo ranhurado interno para acoplar o eixo central.
5	GFp5			
6	GFp6			
8	GFp8	2	Fixação do eixo da coroa e engrenamento cônico.	(3) Elemento para transmissão angular da rotação e do torque do eixo. [Porca com arruela de trava para fixação do eixo na coroa].
9	GFp9			
11	GFp11	3	Fixação da coroa, transmissão de torque e rotação para coroa, apoio de rolamento, transmissão de torque e rotação do cilindro do flange e elemento de fixação do cilindro do flange e rolamento.	(4) Eixo para transmissão de torque e rotação da entrada para a saída do sistema. [Um rolamento de apoio para este eixo, apoios para este rolamento]
12	GFp12			
13	GFp13			
15	GFp15			
16	GFp16			
18	GFp28	6	Apoio para eixo do pinhão e pinhão e apoio da caixa.	(5) Elemento de apoio para o eixo de saída.
19	GFp19			
21	GFp21	11	Apoio do rolamento, passagem do eixo da coroa, apoio e fixação da caixa.	(6) Elemento de apoio e fixação do eixo de entrada. [Parafusos, arruelas e arruelas de pressão para fixação destes elementos]
23	GFp23			
24	GFp24			
28	GFp28	13	Fixação do rolamento, bucha de apoio do rolamento e caixa passagem do cilindro do flange.	(7) Elemento de apoio para o mancal de rolamento e seu envoltório para a fixação destes à caixa da estrutura.
29	GFp29			

Tabela C.14 – Grupos funcionais e suas “features” conceituais (feCO).

Sigla	Cód.Feature	Nome da Feature
GFp1	1	Superfície circular plana externa diâmetro maior "D" e menor "d".
GFp1	3	Superfície cilíndrica interna com diâmetro "di" e comprimento "Li".
GFp1	4	Superfície cônica interna com diâmetro maior "Di" e menor "di", extremidade superior.
GFp1	5	Superfície cônica interna com diâmetro maior "Di" e menor "di", extremidade inferior.
GFp1	6	Superfície cilíndrica externa uniforme com diâmetro "De" e comprimento "Le".
GFp1	7	Superfície cônica externa com diâmetro maior "De" e menor "D", extremidade superior.
GFp1	8	Superfície cônica externa com diâmetro maior "De" e menor "D", extremidade inferior.
GFp1	9	Superfície circular plana externa diâmetro menor "D" e menor "d".
GFp1	116	Superfície cônica interna de diâmetro maior "DD" e menor "dd". (8 x)
GFp1	117	Superfície cilíndrica interna uniforme de diâmetro "dd" e comprimento "LL". (8 x)
GFp1	118	Superfície cônica interna de diâmetro maior "DD" e menor "dd". (8 x)
GFp2	11	Superfície cônica interna com diâmetro maior "d" e menor "da", extremidade inferior.
GFp2	12	Superfície cilíndrica interna uniforme de diâmetro "da" e comprimento "La".
GFp2	13	Superfície cônica interna com diâmetro maior "d" e menor "da", extremidade superior.
GFp4	14	Superfície cilíndrica interna uniforme de diâmetro "Du" e comprimento "Lu".
GFp4	15	Superfície curva anelar interna de concordância com raio "r", Dmaior "Du" e menor Dr"

Tabela C.14 - Continuação

GFp4	16	Superfície circular plana de diâmetro maior "Dr" e linha interna com perfil evolvente.
GFp4	17	Superfície circular ranhurada com perfil evolvente, diâmetro menor "Dc" e maior "Dp".
GFp5	18	Superfície cilíndrica interna ranhurada com perfil evolvente de diâmetro menor "Dc", maior "Dp" e comprimento "Lh".
GFp6	19	Superfície curva anelar interna de concordância de raio "r", Dmaior "Dg", menor "Dp".
GFp6	20	Superfície circular plana externa diâmetro maior "Dm" e menor "Dg".
GFp6	22	Superfície cônica externa com diâmetro maior "Dz" e menor "Dm".
GFp6	23	Superfície circular plana externa diâmetro maior "Ds" e menor "Dz".
GFp6	25	Superfície cônica externa com diâmetro maior "Dj" e menor "Dz".
GFp6	26	Superfície cilíndrica externa uniforme de diâmetro "Dj" e comprimento "Lj".
GFp6	27	Superfície cônica externa com diâmetro maior "Dt" e menor "Dj".
GFp6	28	Superfície cilíndrica externa uniforme de diâmetro "Dt" e comprimento "Lt".
GFp6	29	Superfície circular plana externa diâmetro maior "Dt" e menor "D".
GFp8	30	Superfície cilíndrica externa uniforme de diâmetro "D" e comprimento "L".
GFp8	31	Superfície cônica externa com diâmetro maior "D" e menor "Da".
GFp8	32	Superfície circular plana externa diâmetro maior "Da" e menor "Di".
GFp8	33	Superfície cilíndrica interna ranhurada com perfil evolvente, diâmetro menor "Dc", maior "Dp" e comprimento "Lh".
GFp8	34	Superfície circular ranhurada com perfil evolvente, diâmetro menor "Dc" e maior "Dp".
GFp8	35	Superfície circular plana interna diâmetro maior "Db" e linha interna com perfil evolvente.
GFp9	36	Superfície cilíndrica interna uniforme de diâmetro "Db" e comprimento "Lb".
GFp9	37	Superfície cônica interna diâmetro maior "De" e menor "Db".
GFp9	38	Superfície circular plana interna de diâmetro maior "Dd" e menor "De".
GFp9	39	Superfície cônica externa ranhurada com perfil evolvente, diâmetros de base: menor "Dd" e maior "Dn"; diâmetros de cabeça: menor "Dk" e maior "Dy" e comprimento "Lc".
GFp9	40	Superfície cônica externa diâmetro maior "Dn" e menor "Df".
GFp9	41	Superfície circular plana externa de diâmetro maior "Df" e menor "Dq".
GFp9	42	Superfície curva anelar externa de concordância com raio "r", Dmaior "Dq" e menor "D".
GFp11	43	Superfície cônica externa diâmetro maior "D" e menor "d".
GFp11	44	Superfície rosqueada normalizada (M8 UNC) de comprimento "L".
GFp11	45	Superfície plana de comprimento "x" e largura "y".
GFp11	46	Superfície plana de comprimento "z", largura "y" e raio "r".
GFp11	47	Superfície plana de comprimento "x" e largura "y".
GFp11	48	Superfície plana de comprimento "x" e largura "k".
GFp11	49	Superfície semi-circular plana de raio "r".
GFp11	50	Superfície curva anelar externa de concordância com raio "R", diâmetro de pé "Dq" e diâmetro de cabeça "Dq".
GFp12	51	Superfície cilíndrica externa ranhurada com perfil evolvente, diâmetro menor "Db", maior "Dd" e comprimento "Lg".
GFp12	52	Superfície curva anelar interna de concordância com raio "R", diâmetro de pé "Dd" e diâmetro de cabeça "Dd".
GFp12	53	Superfície circular plana externa de diâmetro maior "Dm" e menor "Dd".
GFp12	54	Superfície cônica externa diâmetro maior "De" e menor "Dm".
GFp12	55	Superfície cilíndrica externa uniforme diâmetro "De" e comprimento "Le". [É uma superfície de união entre dois GFp's]
GFp13	56	Superfície cônica externa diâmetro maior "De" e menor "Dm".
GFp13	57	Superfície circular plana externa de diâmetro maior "Dm" e menor "Du".

Tabela C.14 - Continuação

GFp13	58	Superfície curva anelar externa de concordância com raio "R1", Dmaior "Du" e Dmenor "Dr".
GFp13	59	Superfície cilíndrica externa retificada uniforme diâmetro "Dr" e comprimento "Lr".
GFp15	60	Superfície curva anelar interna de concordância com raio "R", diâmetro maior "Dd" e diâmetro menor "Db".
GFp15	61	Superfície cilíndrica externa ranhurada com perfil evolvente, diâmetro menor "Db", maior "Dd" e comprimento "Lr".
GFp16	62	Superfície curva anelar externa de concordância com raio "R", diâmetro de pé "Dq" e diâmetro de cabeça "Dq".
GFp16	63	Superfície semi-circular de raio "r".
GFp16	64	Superfície plana de comprimento "x" e largura "k".
GFp16	65	Superfície plana de comprimento "x" e largura "y".
GFp16	67	Superfície plana de comprimento "x" e largura "y".
GFp16	68	Superfície rosqueada normalizada (M8 UNC) de comprimento "L".
GFp16	69	Superfície cônica externa de diâmetro maior "D" e menor "d".
GFp28	70	Superfície cônica externa de diâmetro maior "D" e menor "d".
GFp28	71	Superfície circular plana externa de diâmetro maior "d" e menor "da".
GFp28	72	Superfície cônica interna de diâmetro maior "da" e menor "di".
GFp28	73	Superfície cilíndrica interna retificada uniforme de diâmetro "di" e comprimento "Li".
GFp28	74	Superfície cônica interna de diâmetro menor "di" e maior "dx".
GFp28	75	Superfície cilíndrica interna uniforme de diâmetro "dx" e comprimento "Lx".
GFp28	76	Superfície cônica interna de diâmetro menor "di" e maior "dx".
GFp28	77	Superfície cilíndrica interna uniforme de diâmetro "di" e comprimento "Lf".
GFp28	78	Superfície cônica interna de diâmetro maior "da" e menor "di".
GFp28	79	Superfície circular plana externa de diâmetro maior "dp" e menor "da".
GFp19	80	Superfície cônica externa de diâmetro maior "dn" e menor "dp".
GFp19	81	Superfície cilíndrica externa uniforme de diâmetro "dn" e comprimento "Ln".
GFp19	82	Superfície cônica externa de diâmetro maior "dr" e menor "dn".
GFp19	83	Superfície circular plana externa de diâmetro maior "ds" e menor "dr".
GFp19	84	Superfície cônica externa de diâmetro maior "db" e menor "ds".
GFp19	85	Superfície cilíndrica externa uniforme de diâmetro "db" e comprimento "Lb".
GFp21	86	Superfície cônica interna de diâmetro maior "db" e menor "ds".
GFp21	87	Superfície cilíndrica interna uniforme de diâmetro "ds" e comprimento "Ls".
GFp21	88	Superfície curva anelar interna de concordância com raio "R1", diâmetro maior "ds" e menor "df".
GFp21	89	Superfície circular plana interna de diâmetro maior "df" e menor "dk".
GFp23	90	Superfície cônica interna de diâmetro maior "dk" e menor "dp".
GFp23	91	Superfície cilíndrica interna uniforme de diâmetro "dp" e comprimento "Lp".
GFp23	92	Superfície cônica interna de diâmetro maior "dk" e menor "dp".
GFp24	93	Superfície circular plana externa de diâmetro maior "de" e menor "dk".
GFp24	94	Superfície cônica externa de diâmetro maior "dj" e menor "de".
GFp24	95	Superfície cilíndrica externa uniforme de diâmetro "dj" e comprimento "Lj".
GFp24	96	Superfície curva anelar externa de concordância com raio "R2", diâmetro maior "du" e menor "dj".
GFp24	97	Superfície circular plana externa de diâmetro maior "dz" e menor "du".
GFp24	98	Superfície cônica externa de diâmetro maior "dc" e menor "dz".
GFp24	99	Superfície cilíndrica externa uniforme de diâmetro "dc" e comprimento "Lc".
GFp24	100	Superfície cônica externa de diâmetro maior "dc" e menor "dz".
GFp24	101	Superfície circular plana externa de diâmetro maior "dz" e menor "db".
GFp24	102	Superfície cônica interna de diâmetro maior "DD" e menor "dd". (8 x)
GFp24	103	Superfície cilíndrica interna uniforme de diâmetro "dd" e comprimento "LL". (8 x)

Tabela C.14 - Continuação

GFp24	104	Superfície cônica interna de diâmetro maior "DD" e menor "dd". (8 x)
GFp28	105	Superfície circular plana externa de diâmetro maior "dz" e menor "db".
GFp28	106	Superfície cônica externa de diâmetro maior "dc" e menor "dz".
GFp28	107	Superfície cilíndrica externa uniforme de diâmetro "dc" e comprimento "Lc".
GFp28	108	Superfície cônica externa de diâmetro maior "dc" e menor "dz".
GFp28	109	Superfície circular plana externa de diâmetro maior "dz" e menor "db".
GFp28	110	Superfície cônica interna de diâmetro maior "DD" e menor "dd".(8 x)
GFp28	111	Superfície cilíndrica interna uniforme de diâmetro "dd" e comprimento "LL". (8 x)
GFp28	112	Superfície cônica interna de diâmetro maior "DD" e menor "dd". (8 x)
GFp29	113	Superfície cônica interna de diâmetro maior "db" e menor "dy".
GFp29	114	Superfície cilíndrica interna uniforme de diâmetro "dy" e comprimento "Ly"
GFp29	115	Superfície cônica interna de diâmetro maior "db" e menor "dy".

C.4 - Desenhos das peças do conjunto de acionamento

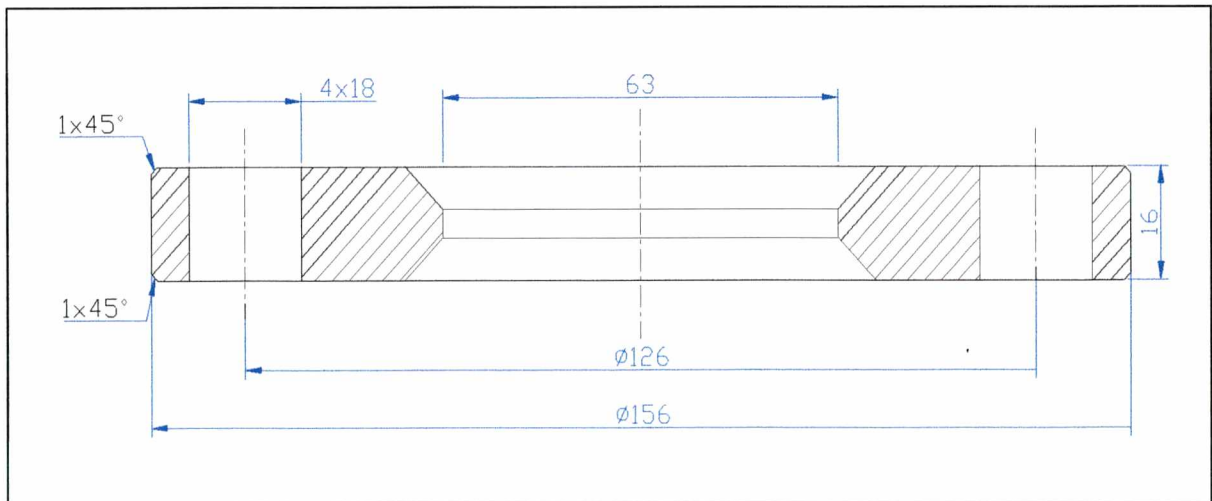


Figura C.1 – Peça 14: Anel do flange.

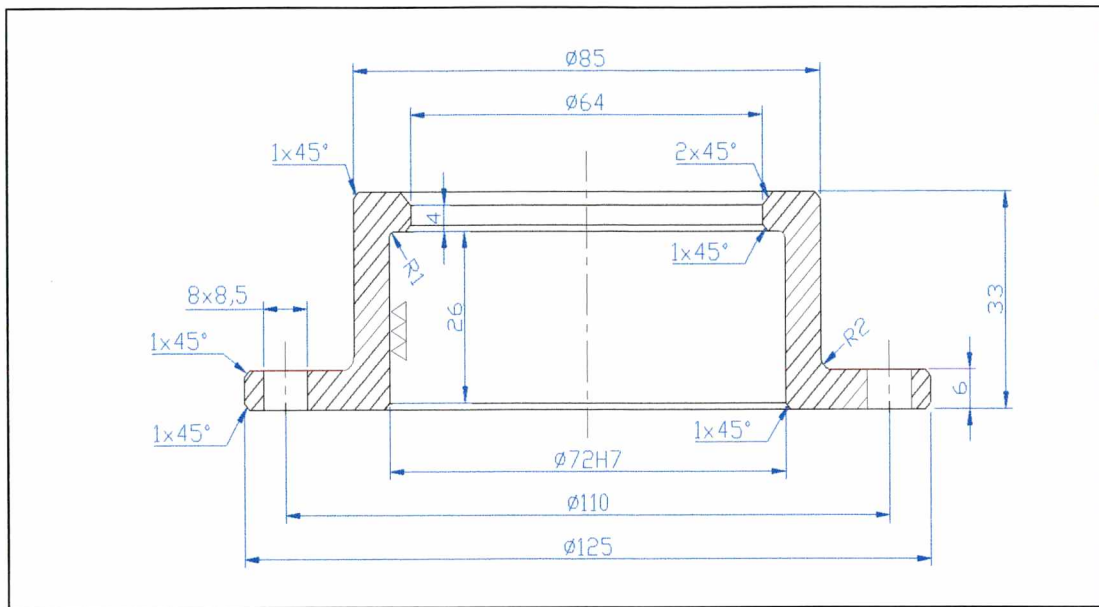


Figura C.4 – Peça 11: Bucha de apoio do rolamento.

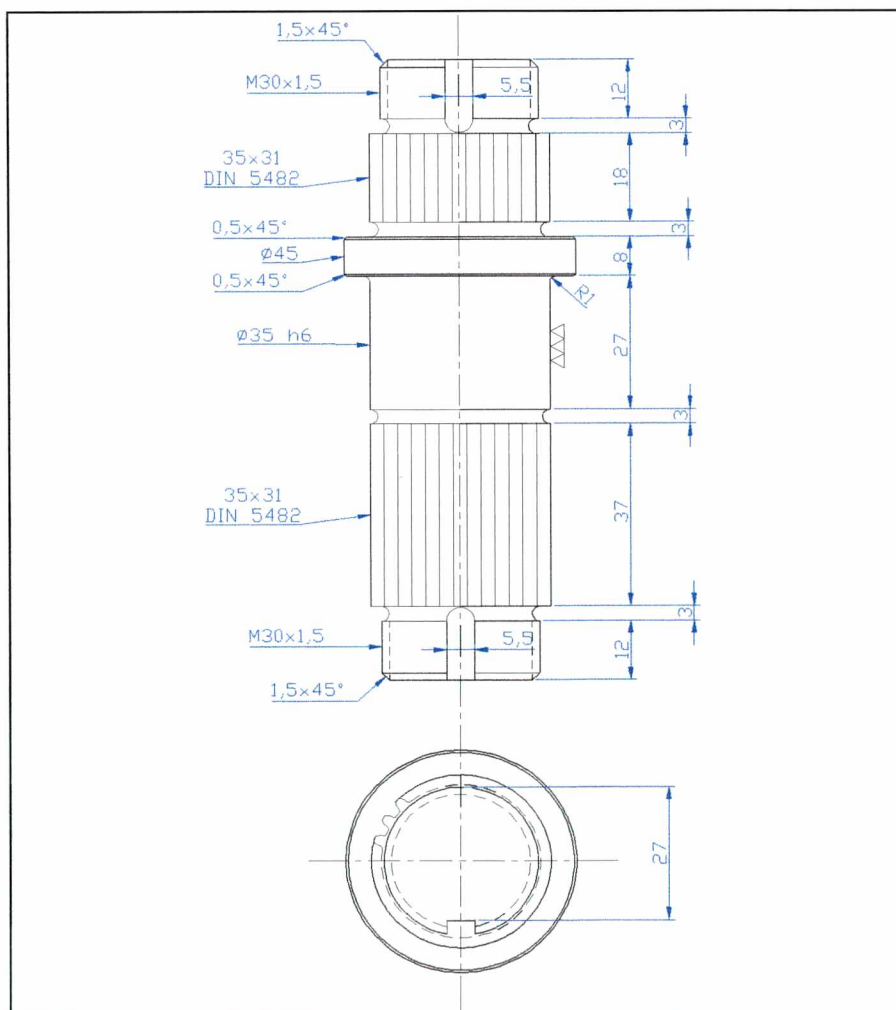


Figura C.5 – Peça 3: Eixo da coroa.

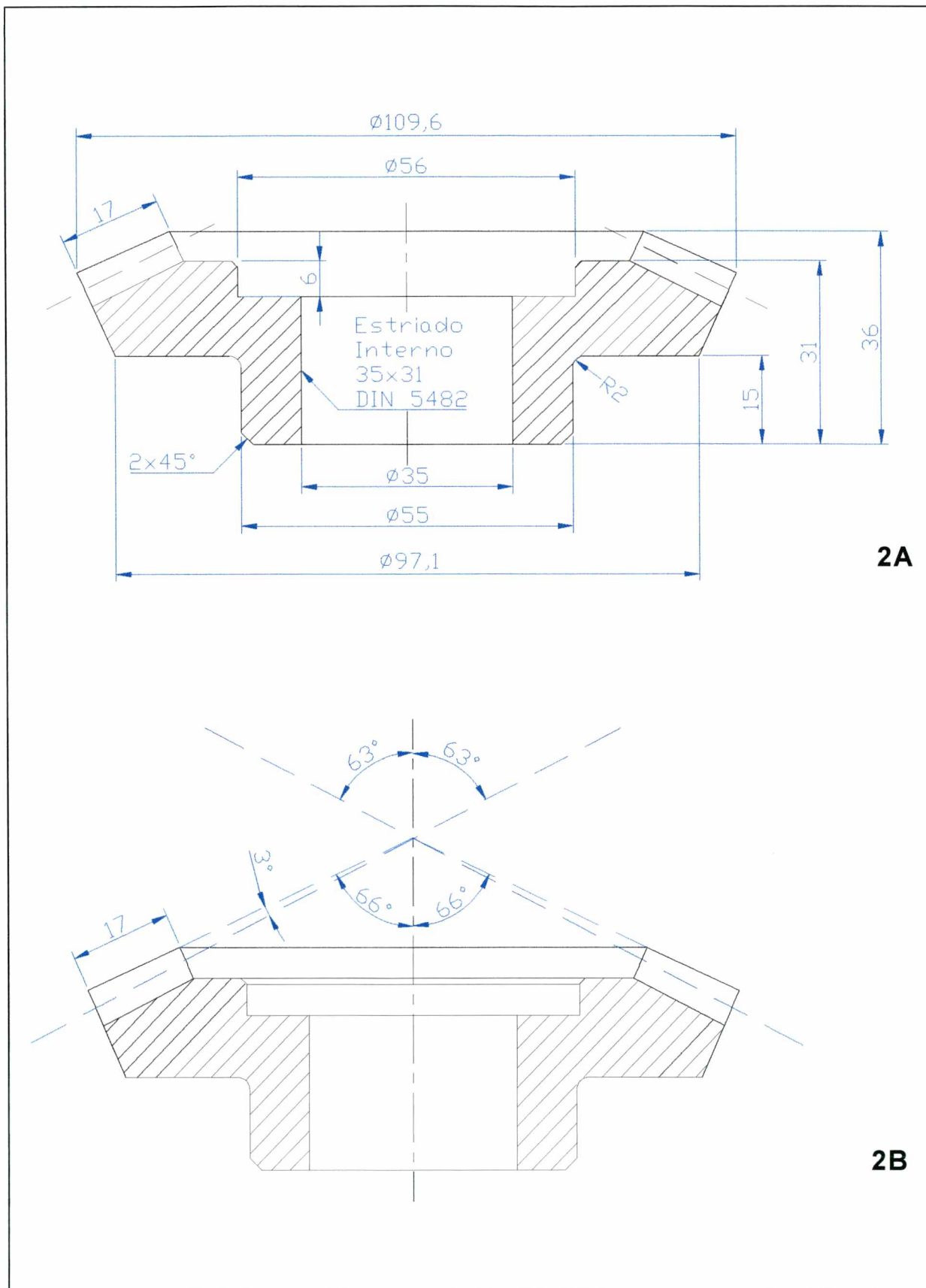


Figura C.6 – Peça 2: Coroa.

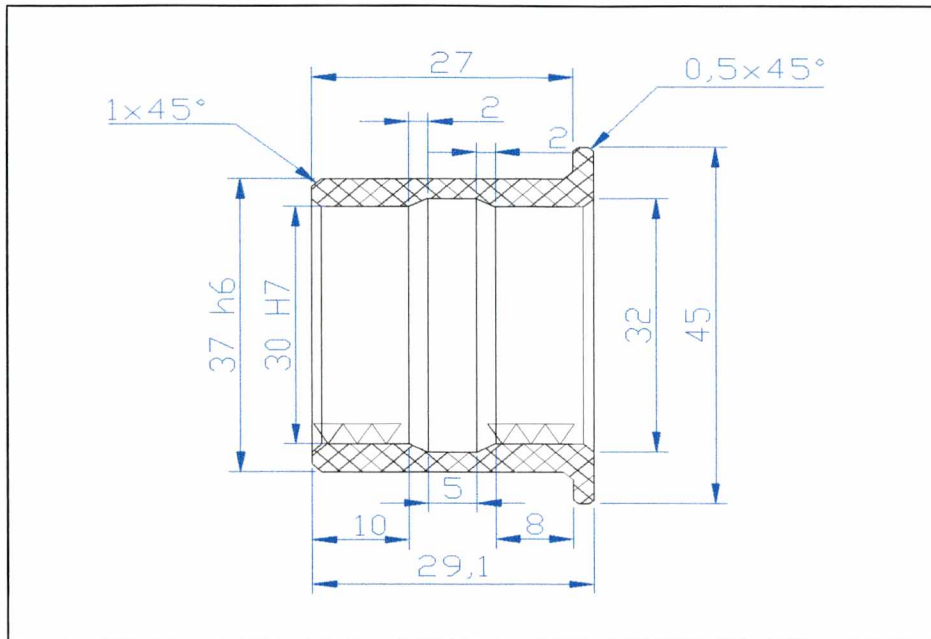


Figura C.7 – Peça 6: Bucha do eixo do pinhão.

C.5 - Tabelas de Agregação

Tabela C.15 – Agregação entre as classes *Classe_Conjunto* e *Classe_Peça*

Cód.Conjunto	Cód.Peça
1	1
1	2
1	3
1	4
1	5
1	6
1	7
1	8
1	9
1	10
1	11
1	12
1	13
1	14
1	15

Tabela C.16 – Agregação entre as classes *Classe_Peça* e *Classe_GFp*

Cód.Peça	Cód.GFp
14	1
14	2
15	4
15	5
15	6
2	8
2	9
3	11
3	12
3	13
3	15
3	16
6	18
6	19
11	21
11	23
11	24
13	28
13	29

C.6 - Exemplos de formulários de consultas

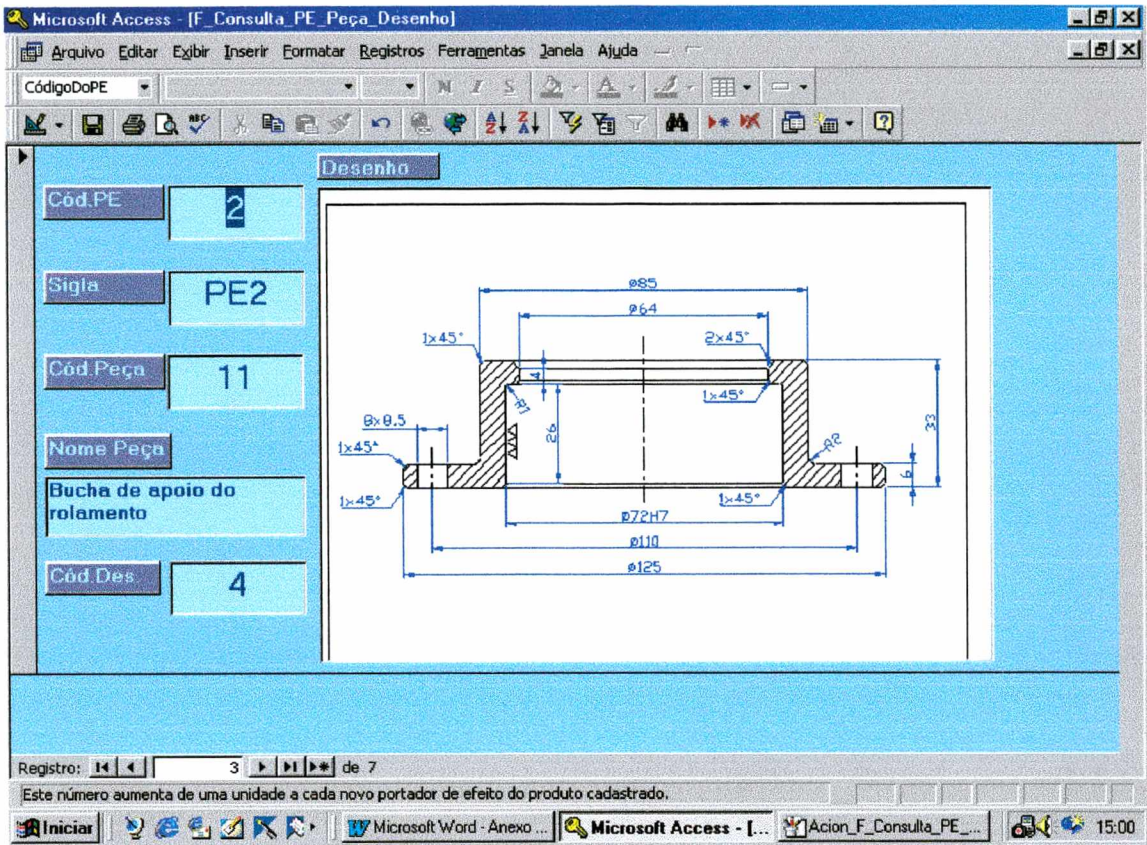


Figura C.8 – Tela do formulário *F_Consulta_PE_Peça_Desenho* da base de dados *MDPP_Acionador*.

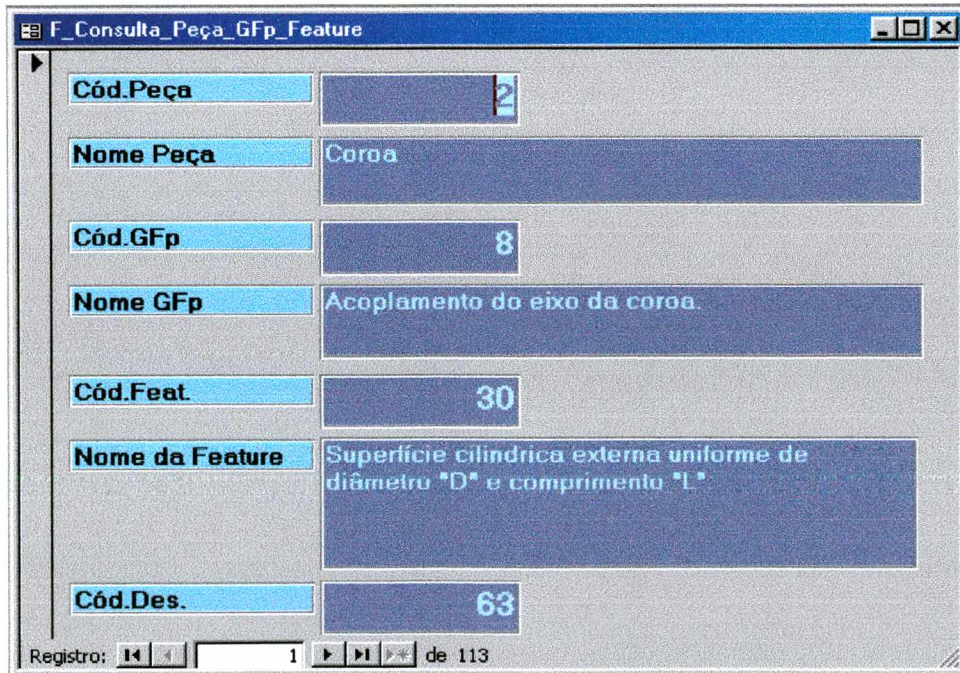
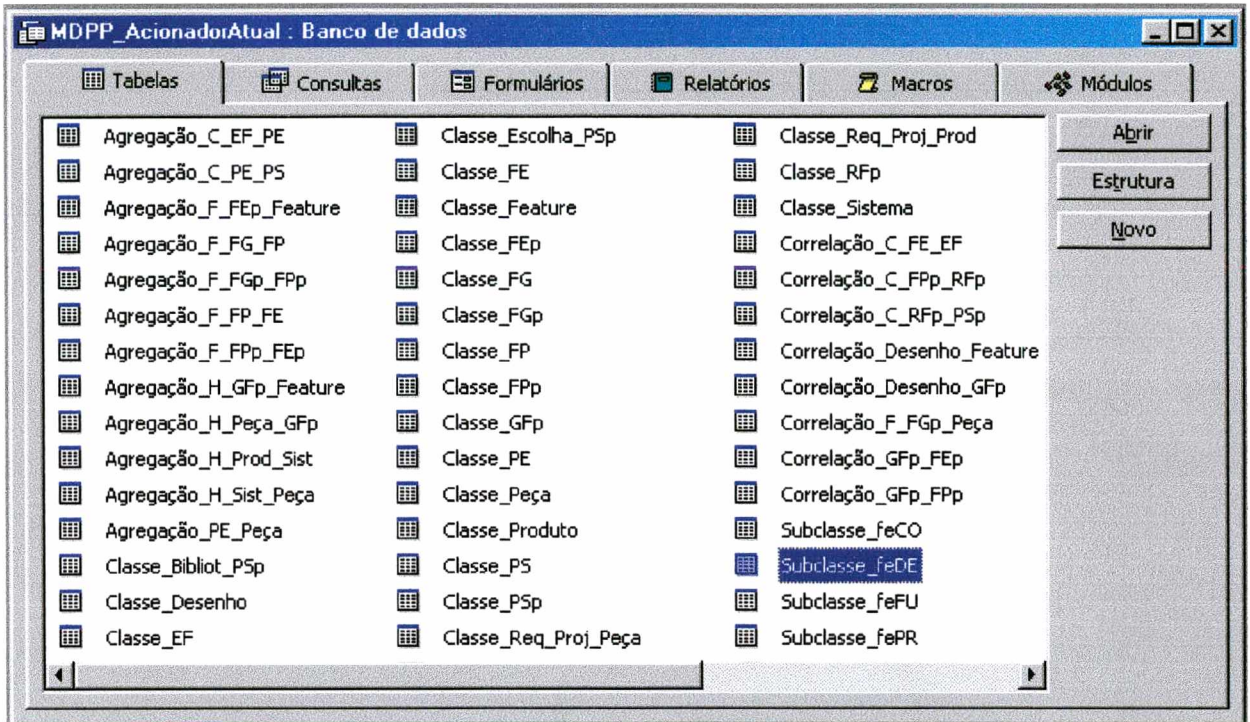


Figura C.9 – Tela do formulário *F_Consulta_GFp_Feature* da base de dados *MDPP_Acionador*.

C.7 - Quadro de tabelas

Figura C.10 – Tela do quadro das tabelas da base de dados *MDPP_Acionador*.

ANEXO D

Estudo de caso 2: Estimativa do custo de fabricação de peças

D.1 - Tabelas da estimativa de custos de fabricação de peças

Tabela D.1 – Relação das peças fabricadas do implemento agrícola.

Sistema	Cód.Sist	Peça	Nº Des.	Nº Pçs
Estrutura	1	Placa suporte do eixo intermediário	1.1	1
		Placa suporte do dosador	1.2	1
		Placa de engate da roda frontal	1.3	2
		Placa suporte da enxada rotativa – A (esq)	1.4 A	1
		Placa suporte da enxada rotativa – B (dir)	1.4 B	1
		Placa de engate do microtrator	1.5	2
		Peça anterior	1.6 A	1
		Peça traseira	1.6 B	1
		Peça central	1.6 C	2
Enxada Rotativa	2	Bucha	2.5 A	2
		Luva de encaixe da bucha	2.5 B	1
		Eixo da enxada rotativa	2.8	1
		Tampa interna do mancal	2.10	2
		Tampa externa vazada do mancal	2.11	1
		Tampa externa cega do mancal	2.17	1
		Chapa superior do pára-lama	2.1	1
		Chapa lateral do pára-lama	2.2	2
Eixo Intermediário	3	Eixo	3.1	1
		Suporte dos rolamentos	3.3	1
		Tampa do suporte	3.9	2
Carcaça	4	Placa superior	4.1	1
		Aba frontal	4.2	2
		Aba lateral	4.4	2
		Placa frontal	4.3	1
		Placa lateral	4.5	2
		Placa inferior	4.6	1
		Placa posterior	4.7	1
Trambulador	5	Mancal cilíndrico	5.4	2
		Chapa de apoio	5.5	2
		Eixo	5.6	1
		Alavanca de marchas	5.8	1
		Bucha guia	5.10	1
		Garfo	5.11	1

Tabela D.1 - Continuação

Reservatório	6	Tampa	6.1 A	1
		Reservatório	6.1 B	1
		Suporte do bocal	6.2 A	1
		Chapa frontal	6.2 B	2
		Chapa lateral	6.2 C	2
		Anel de fixação da mang.	6.2 D	1
Dosador	7	Carcaça do dosador	7.3 A	1
		Rotor	7.3 B	1
		Tampa (1) da carcaça	7.3 C	1
		Tampa (2) da carcaça	7.3 D	1
		Eixo do rotor	7.3 E	1
		Chapa lateral do rotor	7.3 F	2
		Chapa 3G	7.3 G	2
		Chapa 3H	7.3 H	2
		Chapa 3I	7.3 I	2
		Chapa 3J	7.3 J	2
		Chapa 3L	7.3 L	2
		Chapa 3M	7.3 M	2
		Pino de fixação da bucha/roda dentada	7.5	1
		Bucha da roda dentada	7.6	1

Tabela D.2 – Levantamento do processo de fabricação da peça de N° 1 do sistema N° 1.

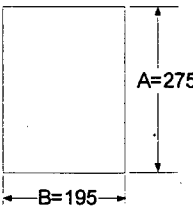
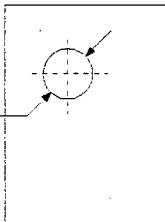
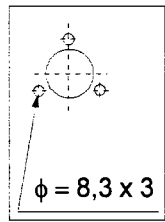
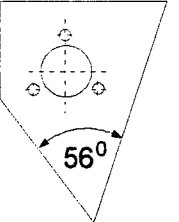
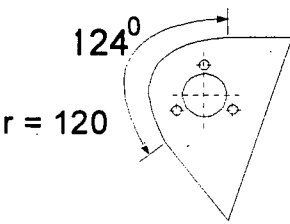
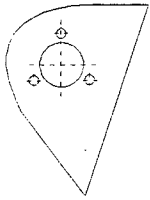
Fabricação da peça	Status 1	Status 2	Operação	Cód. da Operação	Tempo (h)
	0	0	Ajustagem e Acabamento	10	0,5
	1	0	Fresamento	05	1,5
	2	0	Corte Guilhotina	01	0,25
	3	0	Furação	10	0,5
	4	0	Mandrilamento	09	0,5
	5	1	Corte Serra-Fita	02	1

Tabela D.3 – Análise do processo de fabricação das peças do implemento agrícola, por sistema.

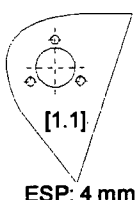
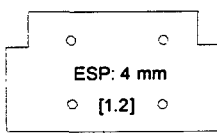
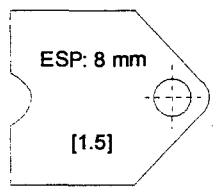
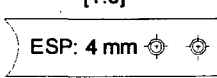
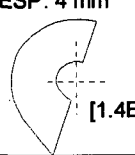
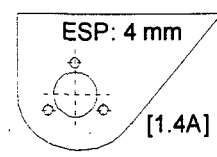
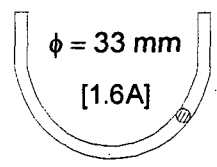
1 – SISTEMA ESTRUTURAL									
Peça	Nome da peça	Status			Tempo (h)	Cód. Peça	Mat _{bruta} (un)	Mat _{peça} (un)	η
		Operação	St1	St2					
	Placa suporte do eixo interm.(1)	Corte S-F	0	0	0,5	1	0,05 (m ²)	0,03 (m ²)	0,60
		Mandrilado	1	0	0,5				
		Furação	2	0	0,5				
		Corte-Guilhot.	3	0	0,25				
		Fresamento	4	0	1,5				
		Ajust/Acaba ^o .	5	1	0,5				
	Placa suporte do dosador (x 1)	Corte S-F	0	0	0,5	2	0,025 (m ²)	0,020 (m ²)	0,80
		Fresamento	1	0	1,5				
		Furação	2	0	0,75				
		Ajust/Acaba ^m	3	1	0,5				
	Placa de engate do microtrator (x 2)	Oxi-corte	0	0	1,5	3	0,0046 (m ²)	0,0030 (m ²)	0,65
		Fresamento	1	0	2,0				
		Mandrilado	2	0	1,0				
		Furação	3	0	0,5				
		Ajust/Acaba ^o	4	1	0,5				
	Placa de engate da roda frontal (x 2)	Corte S-F	0	0	0,5	4	0,0033 (m ²)	0,0032 (m ²)	0,97
		Fresamento	1	0	1,0				
		Furação	2	0	0,5				
		Mandrilado	3	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	4	1	1,0				
	Placa suporte da enxada (dir) (x 1)	Oxi-corte	0	0	1,0	5	0,0312 (m ²)	0,0211 (m ²)	0,68
		Fresamento	1	0	1,5				
		Furação	2	0	0,5				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				
	Placa suporte da enxada (esq) (x 1)	Oxi-corte	0	0	1,0	6	0,0494 (m ²)	0,0374 (m ²)	0,76
		Mandrilado	1	0	1,0				
		Fresamento	2	0	1,5				
		Furação	3	0	0,5				
		Ajust/Acaba ^o .	4	1	0,5				
	Peça anterior (x 1)	Corte S-F	0	0	0,5	7	0,64 (m)	0,588 (m)	0,93
		Calandragem	1	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	2	1	1,0				

Tabela D.3 - Continuação

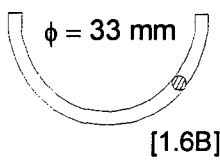
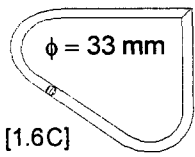
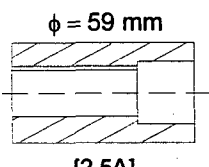
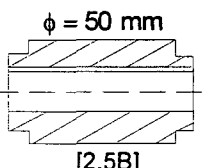
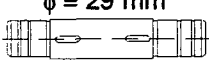
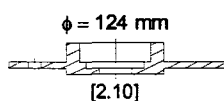
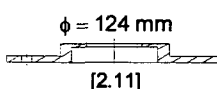
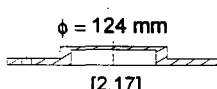
	Peça Traseira (x 1)	Corte S-F	0	0	0,5	8	0,475 (m)	0,468 (m)	0,987
		Calandragem	1	0	0,75				
		Ajust/Acaba ^o .	2	1	0,5				
	Placa Central (x 2)	Corte S-F	0	0	0,5	9	1,6958 (m)	1,68 (m)	0,991
		Fresamento	1	0	1,0				
		Calandragem	2	0	1,0				
		Soldagem	3	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	4	1	1,0				
2 - ENXADA ROTATIVA									
	Bucha (x 2)	Corte S-F	0	0	1,0	10	1,583 .10 ⁻³ (m ³)	1,146 .10 ⁻³ (m ³)	0,725
		Torneamento	1	0	2,0				
		Fresamento	2	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	1,0				
	Luva de encaixe da bucha (x 2)	Corte S-F	0	0	1,0	11	2,159 .10 ⁻³ (m ³)	1,30 .10 ⁻³ (m ³)	0,60
		Torneamento	1	0	1,5				
		Fresamento	2	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				
	Eixo da enxada rotativa (x 1)	Corte S-F	0	0	0,5	12	0,322 (m)	0,316 (m)	0,98
		Torneamento	1	0	4,0				
		Fresamento	2	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				
	Tampa interna do mancal (x 2)	Corte S-F	0	0	2,0	13	2,415 .10 ⁻³ (m ³)	0,978 .10 ⁻³ (m ³)	0,40
		Torneamento	1	0	4,0				
		Furação	2	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	1,0				
	Tampa externa vazada do mancal (x 1)	Oxi-corte	0	0	0,5	14	0,0132 7 m ²	0,0116 m ²	0,87
		Torneamento	1	0	1,5				
		Furação	2	0	0,5				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				
	Tampa externa cega do mancal (x 1)	Oxi-corte	0	0	0,5	15	0,0132 7 m ²	0,0121 m ²	0,91
		Torneamento	1	0	1,5				
		Furação	2	0	0,5				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				

Tabela D.3 - Continuação

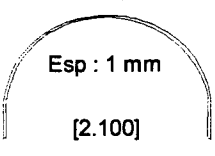
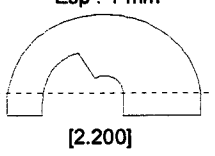
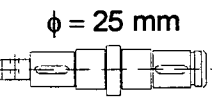
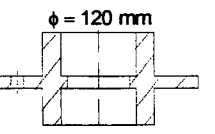
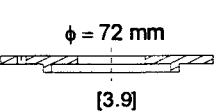
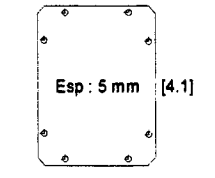
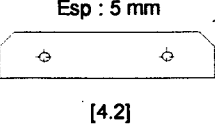
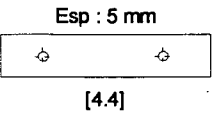
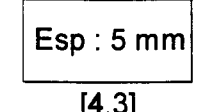
 <p>Esp : 1 mm [2.100]</p>	Chapa superior do pára-lama (x 1)	Corte Guilhot.	0	0	0,5	16	0,1508 (m ²)	0,1466 (m ²)	0,97
		Calandragem	1	0	0,5				
		Ajust/Acaba ^o .	2	1	0,25				
 <p>Esp : 1 mm [2.200]</p>	Chapa lateral do pára-lama (x 2)	Corte Guilhotina	0	0	0,5	17	0,1696 (m ²)	0,0893 (m ²)	0,53
		Corte S-F	1	0	1,5				
		Funilaria	2	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,25				
3 – TRANSMISSÃO INTERMEDIÁRIA									
 <p>φ = 25 mm [3.1]</p>	Eixo intermediário (x 1)	Corte S-F	0	0	0,5	18	.150 (m)	.1438 (m)	0,96
		Torneamento	1	0	3,0				
		Fresamento	2	0	1,0				
		Furação	3	0	0,5				
		Ajust/Acaba ^o .	4	1	0,5				
 <p>φ = 120 mm [3.3]</p>	Suporte do rolamento (x 1)	Corte S-F	0	0	1,5	19	6,08 .10 ⁻⁴ m ³	2,248 .10 ⁻⁴ m ³	0,37
		Torneamento	1	0	2,5				
		Furação	2	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	1,0				
 <p>φ = 72 mm [3.9]</p>	Tampa do suporte (x 2)	Oxi-corte	0	0	1,0	20	0,0046 5 m ²	0,0036 m ²	0,77
		Torneamento	1	0	2,5				
		Furação	2	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	1,0				
4 – CARCAÇA									
 <p>Esp : 5 mm [4.1]</p>	Placa superior (x 1)	Oxi-corte	0	0	0,5	21	0,052 (m ²)	0,0483 (m ²)	0,93
		Fresamento	1	0	2,0				
		Furação	2	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				
 <p>Esp : 5 mm [4.2]</p>	Aba frontal (x 2)	Corte S-F	0	0	0,5	22	0,200 (m)	0,190 (m)	0,95
		Fresamento	1	0	2,0				
		Furação	2	0	0,5				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				
 <p>Esp : 5 mm [4.4]</p>	Aba lateral (x 2)	Corte S-F	0	0	0,5	23	0,200 (m)	0,194 (m)	0,97
		Fresamento	1	0	1,5				
		Furação	2	0	0,5				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				
 <p>Esp : 5 mm [4.3]</p>	Placa frontal (x 1)	Oxi-corte	0	0	0,5	24	0,044 (m ²)	0,0416 (m ²)	0,95
		Fresamento	1	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				

Tabela D.3 - Continuação

 <p>Esp : 5 mm [4.5]</p>	Placa lateral (x 2)	Oxi-corte	0	0	1,0	25	0,0564 (m ²)	0,0479 (m ²)	0,85
		Fresamento	1	0	2,5				
		Mandrilado ^o	2	0	2,5				
		Furação	3	0	1,5				
		Ajust/Acaba ^o .	4	1	1,0				
 <p>Esp : 5 mm [4.6]</p>	Placa inferior (x 1)	Oxi-corte	0	0	0,5	26	0,0476 (m ²)	0,0390 (m ²)	0,82
		Fresamento	1	0	2,0				
		Furação	2	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				
 <p>Esp : 5 mm [4.7]</p>	Placa posterior (x 1)	Oxi-corte	0	0	0,5	27	0,0566 (m ²)	0,0505 (m ²)	0,89
		Fresamento	1	0	2,0				
		Furação	2	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	1,0				
5 – TRAMBULADOR									
 <p>$\phi = 25 \text{ mm}$ [5.4]</p>	Mancal cilíndrico (x 2)	Oxi-corte	0	0	0,5	28	0,355 .10 ⁻⁵ (m ³)	0,239 .10 ⁻⁵ (m ³)	0,68
		Fresamento	1	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				
 <p>Esp : 6 mm [5.5]</p>	Chapa de apoio (x 2)	Corte S-F	0	0	0,5	29	2,81 .10 ⁻³ (m ²)	2,35 .10 ⁻³ (m ²)	0,84
		Fresamento	1	0	1,5				
		Furação	2	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				
 <p>$\phi = 1/2''$ [5.6]</p>	Eixo (x 1)	Corte S-F	0	0	0,25	30	0,185 (m)	0,180 (m)	0,93
		Torneamento	1	0	1,5				
		Fresamento	2	0	0,5				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				
 <p>$\phi = 4 \text{ mm}$ [5.8]</p>	Alavanca de marchas (x 1)	Corte S-F	0	0	0,5	31	0,205 (m)	0,193 (m)	0,94
		Torneamento	1	0	0,5				
		Soldagem	2	0	1,0				
 <p>[5.10] e [5.11]</p>	Garfo e Bucha guia (x 1)	Corte S-F	0	0	1,0	32	0,200 m ²	0,190 m ²	0,95
		Torneamento	1	0	1,0				
		Fresamento	2	0	1,5				
		Soldagem	3	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	4	1	0,5				

Tabela D.3 - Continuação

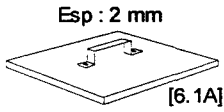
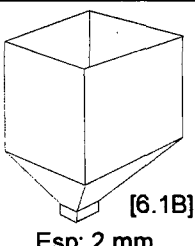
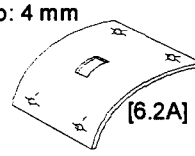
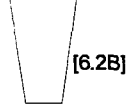
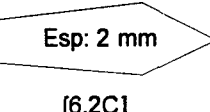
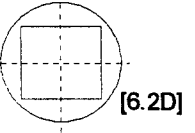
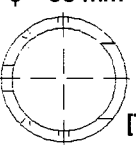
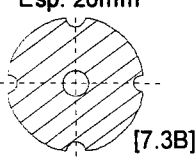
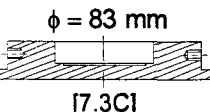
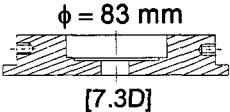
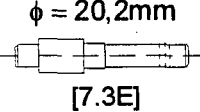
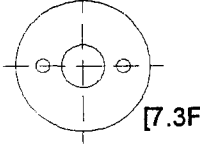
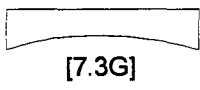
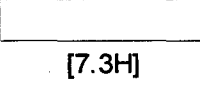
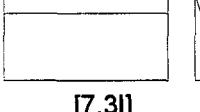
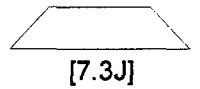
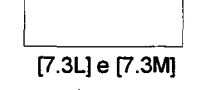
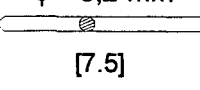
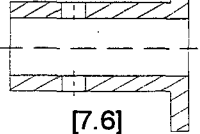
6 – RESERVATÓRIO									
	Tampa do reservatório (x 1)	Corte Guilhot.	0	0	0,5	33	0,070 (m ²)	0,069 (m ²)	0,99
		Funilaria	1	0	1,5				
		Soldagem	2	0	1,0				
		Furação	3	0	0,5				
		Ajust/Acaba ^o .	4	1	1,0				
	Reservatório (x 1)	Corte Guilhot.	0	0	0,5	34	0,422 (m ²)	0,3378 (m ²)	0,80
		Funilaria	1	0	1,5				
		Soldagem	2	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	4	1	1,0				
	Suporte do mancal (x 1)	Corte Guilhot.	0	0	0,25	35	3,80 .10 ⁻³ (m ²)	3,45 .10 ⁻³ (m ²)	0,91
		Fresamento	1	0	1,0				
		Calandragem	2	0	0,5				
		Furação	3	0	0,5				
		Ajust/Acaba ^o .	4	1	1,0				
	Chapa frontal (x 2)	Corte Guilhot.	0	0	0,5	36	1,71 .10 ⁻³ (m ²)	1,32 .10 ⁻³ (m ²)	0,78
		Ajust/Acaba ^o .	1	1	0,5				
	Chapa lateral (x 2)	Corte Guilhot.	0	0	0,75	37	3,62 .10 ⁻³ (m ²)	2,296 .10 ⁻³ (m ²)	0,64
		Ajust/Acaba ^o .	1	1	0,5				
	Anel de fixação da mang. (x 1)	Oxi-corte	0	0	0,5	38	1,256 .10 ⁻³ (m ²)	0,393 .10 ⁻³ (m ²)	0,31
		Torneamento	1	0	1,0				
		Fresamento	3	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	4	1	1,0				
7 – DOSADOR									
	Carcaça do dosador (x 1)	Corte S-F	0	0	0,5	39	0,070 (m)	0,065 (m)	0,93
		Torneamento	1	0	1,0				
		Fresamento	2	0	1,5				
		Furação	3	0	0,5				
		Ajust/Acaba ^o .	4	1	0,5				
	Rotor (x 1)	Corte S-F	0	0	1,0	40	9,12 .10 ⁻⁵ (m ³)	5,81 .10 ⁻⁵ (m ³)	0,64
		Torneamento	1	0	1,0				
		Fresamento	3	0	1,5				
		Ajust/Acaba ^o .	4	1	0,5				
	Tampa (1) da carcaça (x 1)	Corte S-F	0	0	1,0	41	15,51 .10 ⁻⁵ (m ³)	5,39 .10 ⁻⁵ (m ³)	0,35
		Torneamento	1	0	2,0				
		Ajust/Acaba ^o .	4	1	0,5				

Tabela D.3 - Continuação

 <p>$\phi = 83 \text{ mm}$ [7.3D]</p>	Tampa (2) da carcaça (x 1)	Corte S-F	0	0	1,0	42	15,51 $\cdot 10^{-5}$ (m ³)	5,22 $\cdot 10^{-5}$ (m ³)	0,34
		Torneamento	1	0	2,0				
		Ajust/Acaba ^o .	4	1	0,5				
 <p>$\phi = 20,2 \text{ mm}$ [7.3E]</p>	Eixo do rotor (x 1)	Corte S-F	0	0	0,25	43	0,115 (m)	0,109 (m)	0,94
		Torneamento	1	0	1,5				
		Furação	2	0	0,5				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				
 <p>ESP: 5 mm [7.3F]</p>	Chapa lateral do rotor (x 2)	Oxi-corte	0	0	0,5	44	5,03 $\cdot 10^{-3}$ (m ²)	3,90 $\cdot 10^{-3}$ (m ²)	0,77
		Torneamento	1	0	1,5				
		Furação	2	0	0,5				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				
 <p>ESP: 5 mm [7.3G]</p>	Chapa 3G (x 2)	Corte S-F	0	0	0,5	45	1,50 $\cdot 10^{-3}$ (m ²)	1,107 $\cdot 10^{-3}$ (m ²)	0,74
		Fresamento	1	0	1,5				
		Mandril ^o	2	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				
 <p>ESP: 5 mm [7.3H]</p>	Chapa 3H (x 2)	Corte S-F	0	0	0,5	46	1,80 $\cdot 10^{-3}$ (m ²)	1,375 $\cdot 10^{-3}$ (m ²)	0,76
		Fresamento	1	0	1,5				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				
 <p>ESP: 5 mm [7.3I]</p>	Chapa 3I (x 2)	Corte S-F	0	0	0,25	47	0,75 $\cdot 10^{-3}$ (m ²)	0,50 $\cdot 10^{-3}$ (m ²)	0,67
		Fresamento	1	0	1,0				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,25				
 <p>ESP: 5 mm [7.3J]</p>	Chapa 3J (x 2)	Corte S-F	0	0	0,5	48	1,50 $\cdot 10^{-3}$ (m ²)	1,05 $\cdot 10^{-3}$ (m ²)	0,70
		Fresamento	1	0	1,5				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,25				
 <p>ESP: 5 mm [7.3L] e [7.3M]</p>	Chapas 3L e 3M (x 4)	Corte S-F	0	0	1,0	49	2,10 $\cdot 10^{-3}$ (m ²)	1,65 $\cdot 10^{-3}$ (m ²)	0,79
		Fresamento	1	0	2,0				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,5				
 <p>$\phi = 5,2 \text{ mm}$ [7.5]</p>	Pino de fixação da bucha (x 1)	Corte S-F	0	0	0,25	51	0,090 (m)	0,086 (m)	0,95
		Torneamento	1	0	0,5				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,25				
 <p>$\phi = 30 \text{ mm}$ [7.6]</p>	Bucha da roda dentada (x 1)	Corte S-F	0	0	0,25	52	3,167 $\cdot 10^{-5}$ (m ³)	0,650 $\cdot 10^{-5}$ (m ³)	0,20
		Torneamento	1	0	1,0				
		Furação	2	0	0,25				
		Ajust/Acaba ^o .	3	1	0,25				

D.2 - Classes e atributos da base de dados *MDPP_Custos*

A seguir relaciona-se as classes, com seus respectivos atributos, da base de dados *MDPP_Custos*, utilizada no estudo de caso 2.

Classe_Peça_Acabada

CódigoDaPeça (AutoNumeração)
 CódigoDaMP (Número)
 CódigoDoDesenho (Número)
 NúmeroDoDesenho (Texto)
 CódigoDoConjunto (Texto)
 NomeDaPeça (Texto)
 Quantidade (Texto)
 TipoDePeça (Texto)

Classe_Peça_SemiAcab

CódigoDaPeçaSA (AutoNumer.)
 CódigoDaMP (Número)
 CódigoDaPeça (Número)
 Atividade (Texto)
 Status 1 (Texto)
 Status 2 (Texto)
 TempoDeOperação (Texto)
 Material (Texto)
 QMB (Texto)
 QMF (Texto)

Classe_Peça_Comercial

CódigoDaPeçaCom (AutoNumer.)
 NomeDaPeçaCom (Texto)
 CódigoDoConjunto (Número)
 NomeDoConjunto (Texto)
 Quantidade (Texto)

Classe_Produto

CódigoDoProduto (AutoNumer.)
 CódigoDoDesenho (Número)
 CódigoDoCroquí (Número)
 NomeDoProduto (Texto)
 ResponsávelProduto (Texto)
 PesoDoProduto (Texto)
 CustoDoProduto (Moeda)
 ComentáriosProduto (Memorando)
 EstrutFuncProduto (Objeto OLE)

Classe_Conjunto

CódigoDoConjunto (AutoNumeração)
 CódigoDoDesenho (Número)
 CódigoDoCatálogo (Número)
 CódigoDoCroquí (Número)
 CódigoDoProduto (Número)
 NomeDoConjunto (Texto)
 NívelEstrutHierarq (Texto)
 Discriminador (Texto)
 ResponsávelConjunto (Texto)
 PesoDoConjunto (Texto)
 CustoDoConjunto (Moeda)
 ComentáriosConjunto (Memorando)
 EstrutFuncConjunto (Objeto OLE)

Classe_Desenho

CódigoDoDesenho (AutoNumeração)
 CódigoDaPeça (Número)
 TipoDeObjeto (Texto)
 NomeDoObjeto (Texto)
 Desenho (Objeto OLE)
 NúmeroDoDesenho (Texto)
 ComentáriosDesenho (Memorando)

Classe_MatériaPrima

CódigoDaMP (AutoNumeração)
 NomeDaMP (Texto)
 Dimensões (Texto)
 PesoUnitário (Texto)
 Unidade (Texto)
 Densidade (Texto)
 CTMP (Moeda)

Classe_Atividade

CódigoDaAtividade (AutoNumer.)
 NomeDaAtividade (Texto)
 Operador (Texto)
 NívelDoOperador (Texto)
 Máquina (Texto)
 NívelMáquina (Texto)
 HH (Moeda)
 HM (Moeda)

Agregação_Conj_Peça_Acabada

CódigoDoConj (Autonumeração)
 CódigoDaPeça (Número)

Agregação Prod_Sist

CódigoDoProd (AutoNumeração)
CódigoDoConj (Número)

Subclasse Barra

CódigoDaBarra (AutoNumeração)
NomeDaBarra (Texto)
Material (Texto)
Dimensões (Texto)
Comprimento (Texto)
Punit (Texto)
UnidPUnit (Texto)
Densidade (Texto)
CódigoDaMP (Número)
NomeDaBarra (Texto)

Subclasse Chapa

CódigoDaChapa (AutoNumeração)
TipoDeChapa (Texto)
Dimensões (Texto)
Espessura (Texto)
Punit (Texto)
UnidPUnit (Texto)
Densidade (Texto)
CódigoDaMP (Número)

Subclasse Tubo

CódigoDoTubo (AutoNumeração)
NomeDoTubo (Texto)
TipoDeTubo (Texto)
Material (Texto)
Dimensões (Texto)
Punit (Texto)
UnidPUnit (Texto)
Densidade (Texto)
CódigoDaMP (Número)

Subclasse Cotação Barra

CódigoCotaçãoBarra (AutoNumer.)
CódigoDaBarra (Número)
Cotação (Moeda)
UnCustoUnit (Texto)
DataDaCotação (Data)
Subclasse_Cotação_Chapa
CódigoCotaçãoChapa (AutNumer.)
CódigoDaChapa (Número)
Cotação (Moeda)
UnCustoUnit (Texto)
DataDaCotação (Data)

Subclasse Cotação Tubo

CódigoCotaçãoTubo (AutoNumer.)
CódigoDoTubo (Número)
Cotação (Moeda)
UnCustoUnit (Texto)
DataDaCotação (Data)

Subclasse Hom

CódigoDoOperador (AutoNumer.)
NomeDoOperador (Texto)
NívelDoOperador (Texto)
CódigoDaAtividade (Número)

Subclasse Máq

CódigoDaMáquina (AutoNumer.)
NomeDaMáquina (Texto)
NívelDaMáquina (Texto)
CódigoDaAtividade (Número)

Subclasse Cotação HH

CódigoCotaçãoHH (AutoNumer.)
NívelDoOperador (Texto)
HoraHomem (Moeda)

Subclasse Cotação HM

CódigoCotaçãoHM (AutoNumer.)
NívelDaMáquina (Texto)
HoraMáquina (Moeda)

D.3 - Exemplos de formulários de consultas

As figuras mostradas a seguir são representações de três telas da base de dados *MDPP_Custos* com formulários de consultas realizadas durante este estudo de caso. A Figura D.1, mostra uma consulta sobre o custo hora operacional (*HH*: hora homem; *HM*: hora máquina) de fabricação das peças do implemento agrícola, por atividade.

A Figura D.2, mostra uma consulta sobre o custo operacional de fabricação por peça fabricada e a Figura D.3, mostra dados sobre os materiais utilizados para a fabricação das mesmas peças.

The screenshot shows a software window titled "F_Conсульта_Custo_Atividade". It contains several data fields:

- Cód. Ativ.:** 4
- Atividade:** Torneamento
- HH:** R\$ 10,24
- HM:** R\$ 10,00
- CHOP:** R\$ 20,24

At the bottom, a navigation bar indicates "Registro: 4 de 14".

Figura D.1 – Formulário mostrando o *CHOP*, custos hora operacional de cada atividade de fabricação.

The screenshot shows a software window titled "F_Conсульта_COP". It contains several data fields:

- Cód. Peça:** 16
- t (hs):** 0,5
- HH:** R\$ 3,42
- HM:** R\$ 5,00
- COP (R\$):** R\$ 4,21

At the bottom, a navigation bar indicates "Registro: 16 de 51".

Figura D.2 – Formulário mostrando o *COP*, custos operacional para cada peça fabricada.

The screenshot shows a software window titled "F_Conсульта_QMP_Éta". It contains several data fields:

- Cód. Peça:** 1
- Nome Peça:** Placa suporte do eixo intermediário
- Cód. MP:** 19
- Nome:** Aço SAE 1020 - Chapa média
- Dimensões:** 4 mm x 1000mm x 2000mm
- PUnit:** 31,40
- Unidade:** kg/m2
- QMF:** 0,03
- Un.QMF:** m2
- QMP (kg):** 1,57
- Éta:** 0,60

At the bottom, a navigation bar indicates "Registro: 1 de 51".

Figura D.3 – Formulário da consulta *Consulta_QMP_Éta*, mostrando dados sobre materiais das peças fabricadas.

D.4 - Quadro de tabelas

A Figura D.4, mostra a tela de comando da base de dados *MDPP_Custos*, com a descrição de suas tabelas ou classes.



Figura D.4 – Tela de comando da base de dados *MDPP_Custos* com suas classes.

ANEXO E

Estudo de caso 3: Estrutura hierárquica de produto

E.1 - Detalhamento do produto

Nas próximas seções faz-se um memorial descritivo básico de uma máquina industrial utilizada para a fabricação de fraldas descartáveis infantis, de propriedade de uma empresa multinacional com sede no Brasil, que foi objeto do estudo de caso 3.

E.1.1 - O produto

A máquina de fraldas é composta por diversas estações de processamento de matéria-prima que basicamente são compostas por: moagem, transporte pneumático, câmara de formação de manta, calandragem seca, calandragem úmida, corte anatômico e embossamento, separação dos painéis, estação de laminação, pressionadores de abas, aplicadores de tapes, dobramento lateral, puxadores, corte final, dobradores "C", embalagem e encaixotamento.

(I) Moagem

A moagem de polpa celulósica em bobinas é realizada por moinho "fitz-mill" seguida de transporte pneumático da polpa "fluff" até o "Forming Chamber". A alimentação da tira de polpa antes da trituração deve ser feita por uma calandra comandada por variador de velocidade para sincronização com as velocidades da máquina.

(II) Transporte pneumático

É feito por tubulação de seção circular e paredes finas unidas por parafusos e/ou caldeadas e por ventiladores centrífugos apropriados de vazão de sucção necessária à operação de transporte do material.

Antes da entrada do "Forming Chamber" há uma tubulação adjacente que trás uma porcentagem previamente calculada de resíduos finos provenientes da estação de captação de resíduos e/ou da própria máquina da captação dos shapers formados durante o corte anatômico dos painéis e ainda outra tubulação de menor diâmetro que trás os resíduos finos, provenientes da captação da esteira formadora localizada logo abaixo da câmara de formação.

Este "retorno" de material é dosado na câmara de formação de manta como medida de reaproveitamento de matéria prima.

(III) “Forming Chamber”

O “Forming Chamber” recebe a polpa triturada e “fluff” proveniente da moagem, acrescida dos resíduos captados no corte anatômico e na esteira formadora. Através da sucção proveniente de outro ventilador centrífugo, forma-se sobre a esteira de “nylon” perfurada, uma manta de polpa parcialmente densificada pelas forças de sucção. Esta manta ainda passa por desbastadores (“scarfing rolls”) que lhe conferem uma seção retangular pronta para ser trabalhada ao longo da máquina. A esteira formadora passa por um alinhador hidráulico que faz a correção de seu posicionamento longitudinal durante a formação tendo um sistema de limpeza de resíduos de polpa triturada acionado por ar comprimido e ventilador centrífugo, como já mencionado anteriormente, para reciclagem deste material, uma vez que é reaproveitável. No interior da câmara, régua prismáticas reguláveis definem as larguras especificadas das mantas para os tamanhos padronizados do produto.

(IV) Calandra seca

Imediatamente após a saída do “Forming Chamber”, já desbastada e com o peso dentro dos padrões desejados, a manta passa por uma prévia calandragem e logo a seguir pela calandragem à seco que lhe confere uma estrutura mais densa e resistente ao transporte em processo.

(V) Calandra úmida

Após a calandragem à seco a manta passa por uma estação onde recebe um “spray” de água contínuo na parte inferior e em seguida é calandrada de onde adquire uma estrutura ainda mais densa.

(VI) Corte anatômico e embossamento

Esta operação consiste nas retiradas laterais dos “shapers” para dar o formato anatômico ao corpo absorvente. Este corte ou separação é feito por um conjunto de rolos cilíndricos apropriados através da ação de elementos cortantes ou separadores feitos com látex. Ao mesmo tempo é feito o embossamento ao longo do comprimento do corpo absorvente do produto que lhe confere linhas de baixo relevo estruturando-o ainda mais e adicionando-lhe as características de direcionamento e concentração de fluxo.

(VII) Corte transversal

Nesta estação a manta é separada ou cortada, obtendo-se os corpos absorventes no tamanho padrão. A partir desta estação a velocidade (v) da esteira transportadora é acrescida de um Δv , que proporciona o afastamento relativo entre os painéis, necessário à estabilização e à aplicação das fitas adesivas ou tapes.

(VIII) Estação de laminação

Nesta etapa várias operações são executadas. Trata-se da etapa mais importante de todo o processo, onde ao painel são adicionadas a(s) cobertura(s) “*non-woven*”, o filme de polietileno e entre eles os elementos elásticos, sendo que para cada um deles, há uma aplicação específica de adesivo. Para aderência das coberturas e posteriormente das abas, utiliza-se bicos de cola que expõem “*sprays*” circulares de hot-melt de vazão regulável, para o filme de polietileno utiliza-se um “pente de cola” que expõe linhas paralelas contínuas de hot-melt de vazão também regulável e os elementos elásticos são mergulhados em banho de hot-melt que carregam o adesivo no momento da passagem pelo dispositivo levando-o até o momento do pressionamento.

Os elementos elásticos devem ser inseridos na estação com uma “memória” elástica previamente regulada, a fim de proporcionar posteriormente ao produto uma elasticidade adequada à retenção de líquidos. Tanto coberturas, quanto filme de polietileno são alinhados através de alinhadores pneumáticos.

O alinhamento dos elementos elásticos é feito mecanicamente. Após a entrada de todos os componentes citados, forma-se uma estrutura que chamamos de sanduíche que passa pelos rolos pressionadores, roletes de fechamento lateral e pressionadores de abas. A tira assim formada passa por um alinhador pneumático que lhe confere estabilidade axial para a aplicação dos tapes.

(IX) Pressionador de abas

Nesta etapa, um dispositivo rotativo e sincronizado com o comprimento da tira de produtos, faz o pressionamento das regiões das abas dos produtos, região das tira onde não há corpo absorvente, fazendo a selagem definitiva desta região.

(X) Aplicação de fita adesiva ou “tapes”

Nesta operação temos a aplicação de fitas adesivas ao produto posicionadas lateralmente (lado do operador e lado da transmissão). Cada aplicador é alimentado por um rolo de fita

adesiva, cujos acionamentos deverão estar sincronizados com o posicionamento das abas da tira ou sanduíche. Dois sensores óticos acoplados a um sistema de tinta fugitiva, detectam falta de fitas ou tapes, quando da possível “não aplicação” de um ou mais tapes, rejeitando o(s) respectivo(s) produto(s).

(XI) Dobrador lateral

Neste estágio, as laterais do produto que excedem o corte anatômico do corpo de polpa absorvente, são dobradas para cima e para baixo de onde obtém-se a largura final do produto dobrado. O dispositivo de dobra lateral é bastante simples, consistindo de um rolo ajustável que gira “louco” pela ação da própria tira de produtos conferindo a largura do produto e dois direcionadores laterais que fazem o dobramento propriamente dito.

(XII) Puxadores

Os rolos puxadores da tira (estrutura formada por: polpa/polietileno/*non-woven*) são os tracionadores do conjunto para o corte final e constituem-se em dois pares de cilindros revestidos de poliuretano que trazem até o conjunto cortante final, a tira com os produtos dobrados lateralmente já com tapes aderidos às abas.

(XIII) Cortante Final

Conjunto composto de dois cilindros. Um superior, que contém as facas e um inferior, que contém as contra-facas, onde se processará então a separação dos produtos um a um liberando-os para o conjunto de dobra final.

(XIV) Dobrador “C”

Neste conjunto, cada produto é dobrado inicialmente a aproximadamente 1/3 de seu comprimento total e logo a seguir, dobrado a aproximadamente 2/3 também de seu comprimento total, formando uma estrutura em espiral comprimida. Os produtos, um a um, são depositados numa calha de recepção, quando então são impulsionados para o interior de uma calha de direcionamento que os transporta, pela ação progressiva do impulso gerado na calha de recepção, até a mesa das embaladoras.

(XV) Transportadores

A esteira formadora de manta do Forming Chamber leva a manta até pouco mais da saída do mesmo. A partir daí o transporte é feito através de macarrões de látex até a estação de

laminação. Depois da estação de laminação, o que leva a tira de “sanduíche” até o corte final é a tração dos puxadores.

Após o corte final, os produtos são levados aos dois estágios do dobrador “C” por esteiras transportadoras até a calha de recepção de onde, como já mencionado anteriormente, são levados à mesa de embalagem pelos sucessivos impulsos do último pistão do dobrador “C” por meio da calha de direcionamento. Desta forma os pacotes embalados são encaixotados pelo respectivo operador.

E.1.2 - Elementos de composição do produto

A seguir descreve-se todos os conjuntos que compõem o equipamento, procurando colocar suas funções e respectivas localizações na máquina.

(I) Estrutura Mestra

A estrutura base da máquina é projetada visando a montagem adequada de todos os conjuntos, subconjuntos e acessórios mecânicos e de utilidades tendo sido considerado antecipadamente os seguintes fatores:

- (01) – Instalações elétricas da transmissão, comando de velocidades, chaves seletoras, sistemas de aplicação de adesivos “hot-melt” e dispositivos de segurança;
- (02) – Transportes pneumáticos, tubulações de ar comprimido e água;
- (03) – Endereçamento de transmissões e suas respectivas derivações;
- (04) – Passagens de matéria prima;
- (05) – Posicionamento de periféricos como: sistemas de aplicação de adesivos hot-melt, alimentadores de matéria prima e caixa d’água;
- (06) – Portas de inspeção para manutenções preventivas;
- (07) – Controles de acionamento dos faseadores e variadores de velocidade.

(II) Transmissão

Projetada a partir de um motor especificado com base nos requisitos de projeto, ou seja, atendendo às condições operacionais como, velocidade em processo, volume de produção desejado, etc. Este motor impulsionará um eixo “*cardan*” principal com sistema de frenagem e caixas de redução de velocidades de onde derivam as transmissões secundárias adequadas aos conjuntos e sub-conjuntos listados a seguir:

- | | |
|--|-------------------------------|
| (01) – Rolo de espinhos do Forming Chamber | (08) – Separação |
| (02) – Esteira de formação de manta | (09) – Estação de laminação |
| (03) – Pré calandra | (10) – Pressionador de abas |
| (04) – Macarrões de transporte | (11) – Aplicadores de tape |
| (05) – Calandra seca | (12) – Rolos tracionadores |
| (06) – Calandra úmida | (13) – Corte final |
| (07) – Corte Anatômico e embossamento | (14) – Esteirinha e dobra “C” |
| | (15) – Pente de cola |

Além deste motor tem-se um motor independente para o sistema quebrador de aglomerados de polpa do Forming Chamber cujas características básicas são determinadas com base nas condições operacionais da produção de fraldas.

(III) Correção de velocidades e posicionamentos

Como trabalha-se com materiais suscetíveis às variações de umidade e temperatura, deve-se levar em conta estiramentos de manta diferenciados que ocorrem durante o processo de fabricação, em função destes fatores. Para tal devem ser instalados dispositivos que corrijam estas variações durante o processo. Desta forma tem-se:

- (01) *Faseador*: Para preparação dos painéis de polpa, envolvendo rolo de espinhos, pré-calandra, esteira formadora, calandra seca, calandra úmida e macarrões de transporte (até os que antecedem o embossador/separador).
- (02) *Varimot*: Para correção de estiramento entre a calandra seca e calandra úmida, envolvendo calandra seca, macarrões imediatamente anteriores e posteriores a calandra úmida.
- (03) *Varimot*: Para correção de quebra e afrouxamento da manta, envolvendo embossador/separador e estação de laminação.
- (04) *Faseador*: Para correção do posicionamento do sistema amassador de abas, envolvendo amassador de abas.
- (05) *Faseador*: Para correção das aplicações de tapes, envolvendo os aplicadores de tapes.
- (06) *Faseador*: Para correção de posição do corte final, envolvendo o cortante final.
- (07) *Faseador*: Para correção da posição da dobra fina, envolvendo o dobrador “C”.

(IV) Estabilização (filme de polietileno/painel de polpa)

Esta estabilização é feita através de uma unidade motorizada em que temos o “pente de cola” que deve ser projetado com base no número de linhas de estabilização e na quantidade de adesivo por linha, seguindo as especificações do produto.

(V) Sistemas elétrico, pneumático e hidráulico

O projeto elétrico e pneumático deve ser utilizado utilizando-se os dados de tensão e fase da rede elétrica 220V trifásico e pressão do sistema de ar comprimido de 7 à 10 Kgf/mm^2 . Para o projeto destes sistemas são necessários dados de lay-out da área onde será instalada a máquina, capacidade máxima do sistema de ar comprimido e rede hidráulica disponível.

E.2 Estrutura de dados

Neste estudo de caso, utilizou-se os recursos inerentes à recursividade implícita, mecanismo que reduz substancialmente o número de classes envolvidas para esse tipo de representação, o da estrutura hierárquica de produto.

Tomando-se como base a estrutura hierárquica de produto, inicialmente elaborada, em que tem-se agregações sucessivas desde o nível de produto até peça, passando por agregações recursivas nos níveis de conjunto, é feito o mapeamento com as classes *Classe_Produto*, *Classe_Conjunto* e *Classe_Peça*.

Observa-se que a máquina possui uma grande quantidade de peças e conjuntos em vários níveis de hierarquia. Cada peça e conjuntos têm seu código próprio. Para as áreas de projeto de empresas, este código pode corresponder ao número do desenho de cada peça, conjunto, etc.

As consultas sobre os dados e informações a respeito de qualquer objeto desta estrutura, têm como base a recursividade implícita entre duas classes *Classe_Conjunto* e *Classe_Conjunto_1*, que ao relacionarem-se através de seus respectivos códigos, chave primária de uma com chave estrangeira da outra, permitem ao usuário um grande número de filtragens de informações, baseadas apenas nas três tabelas da estrutura hierárquica desta base de dados.

Estes mecanismos de consulta, filtragens e verificações são melhor visualizados diretamente na base *MDPP_J&J* via computador.

E.3 - Exemplos de formulários de consultas

A seguir apresenta-se como complementação deste estudo, algumas telas geradas na base de dados *MDPP_J&J*, como por exemplo as das Figuras E.1 e E.2, que relacionam-se com as consultas *Consulta_Conjuntos_Rolamentos*, onde tem-se a filtragem de todos os conjuntos da máquina, aqueles que possuem rolamentos em sua montagem; e a *Consulta_Conjuntos_Nível_02_e_Peças*, que filtra as peças de todos os conjuntos situados no nível hierárquico 2, da estrutura hierárquica deste produto.

Cód.Sist.	11100	Cód.Peça	11140
Nome Sistema	Roleta		
Nív.Hier.	3	Nome da Peça	Rolamento

Registro: 1 de 30

Figura E.1 – Formulário *F_Consulta_Conjuntos_Rolamentos* da base de dados *MDPP_J&J* mostrando quais os conjuntos que possuem rolamentos em sua montagem.

Cód.Sist.	11000	Nív.Hier.	2
Nome Sistema	Esteira Formadora		
Cód.Peça	11400	Nome da Peça	Esteira de nylon

Registro: 1 de 402

Figura E.2 – Formulário *F_Consulta_Conjuntos_Nível_02_e_Peças* da base de dados *MDPP_J&J* mostrando as peças dos conjuntos de nível hierárquico 2.

E.4 - Quadro de tabelas

As Figuras E.3 e E.4 reproduzem a tela de comando da base de dados *MDPP_J&J*, mostrando as classes e algumas das consultas geradas.

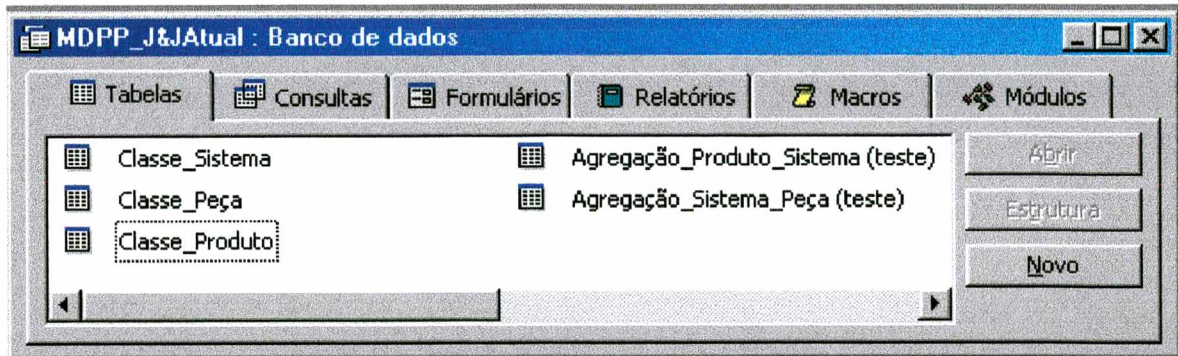


Figura E.3 – Tela de comando da base de dados *MDPP_J&J* e suas tabelas.

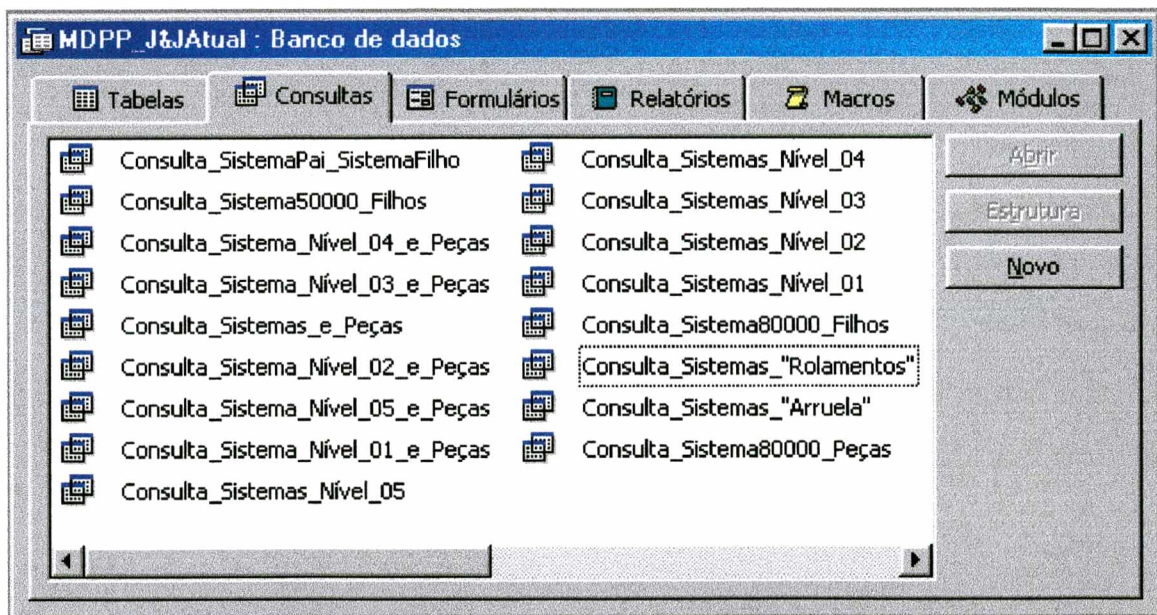


Figura E.4 – Tela de comando da base de dados *MDPP_J&J* e suas consultas.