

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**SISTEMATIZAÇÃO DO CONHECIMENTO DA MANUFATURA PARA USO NA  
REVISÃO FORMAL DE PROJETO: UMA APLICAÇÃO NO DOMÍNIO DE  
COMPONENTES DE PLÁSTICOS**

**Dissertação submetida à**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**para obtenção do grau de**

**MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**MARCELO GRIJÓ VILAROUCA**

**Florianópolis, 09 de dezembro de 2004.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**SISTEMATIZAÇÃO DO CONHECIMENTO DA MANUFATURA PARA USO NA  
REVISÃO FORMAL DE PROJETO: UMA APLICAÇÃO NO DOMÍNIO DE  
COMPONENTES DE PLÁSTICOS**

**MARCELO GRIJÓ VILAROUCA**

**Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de  
MESTRE EM ENGENHARIA**

**ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA  
Sendo aprovada em sua forma final.**

---

**Acires Dias, Dr.  
Orientador**

---

**Prof. José A. Bellini da Cunha Neto, Dr.  
Coordenador do Curso**

**Banca Examinadora**

---

**Prof. André Ogliari, Dr.  
PPGEM/UFSC - Presidente**

---

**Prof. Jonny Carlos da Silva, Dr.  
PPGEM/UFSC**

---

**Prof. Carlos Henrique Ahrens, Dr.  
PPGEM/UFSC**

“Eis o produto, onde está a fábrica ?  
Não é projeto de produto se não sabemos  
como produzi-lo”.

*Don Clausing*

*Aos meus pais, Edmilson e Tupyara, pelo apoio, companheirismo e imensuráveis dedicação e afeto devotados ao longo de minha existência.*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Acires Dias, pela dedicação, incentivo e por acreditar e apostar no resultado desse trabalho.

À Intelbras, pela liberação das horas para o estudo e disponibilidade de realizar um estudo de caso na empresa.

Aos profissionais que participaram efetivamente e se dedicaram à implementação do estudo de caso: Carla Ayla, Sidnei Feliciano, Vítor Fernandes da Silva, Wilson Seberino, e em especial, aos meus mestres ao longo de cinco anos de convivência profissional: Moacir Acelon, Juan Alberto Ramirez, Ronaldo da Fonseca, José Armelino da Silveira, Roberto Liesenberg, Luiz Duarte e Adriano Ari Fernandes.

Aqueles que me permitiram, através de seu extremo profissionalismo, retomar a continuidade desse trabalho – os médicos Dr. Augusto Adams, Dr. Mário Junqueira da Nóbrega e o professor Jonny Carlos da Silva.

Aos meus irmãos, Márcio, Cláudia e Vítor, pelo companheirismo, solidariedade e alegria compartilhados.

Ao amigo Giovani Alves, pela incansável e incessante parceria no desafio de construir sistematicamente um desenvolvimento de produto melhor, pautado na aplicação de ferramentas, além das contribuições significativas para esta pesquisa.

À Carla Nabarrete, Ariadne Raschcowetzki e Viviane Ferreira, pelo inestimável incentivo, apoio e motivação para a finalização desse trabalho.

À Elaine Zanin, pela paciência e colaboração na formatação e organização desse material.

À banca examinadora, pelas valiosas contribuições feitas a este trabalho de pesquisa.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTAS DE TABELAS E QUADROS .....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTAS DE TABELAS E QUADROS .....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE SIGLAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xiv</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Contextualização do tema.....	1
1.2 Objetivo Geral .....	2
1.2.1 Objetivos Específicos .....	3
1.3 Justificativa.....	3
1.4 Estrutura da pesquisa.....	4
<b>CAPÍTULO 2: O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO NA EMPRESA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Caracterização da Empresa.....	6
2.2 Desenvolvimento de Produto .....	9
2.3 Desenvolvimento do Componente de Plástico Injetado.....	12
2.3.1 Design .....	13
2.3.2 Engenharia de Produto.....	15
2.3.3 Projeto do Molde .....	16
2.3.4 Fabricação do Molde .....	18
2.3.5 Produção .....	19
2.4 Sistema de Manufatura .....	19
2.5 <i>Benchmarking</i> Industrial.....	22
2.6 Comentários Finais .....	25
<b>CAPÍTULO 3: O CONTEXTO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO E A ORIENTAÇÃO DO PROJETO PARA A PRODUTIVIDADE DA FÁBRICA.....</b>	<b>27</b>
3.1 Processo de Desenvolvimento de Produto.....	27
3.2 Projeto de Produto .....	28
3.2.1 Metodologia de Projeto .....	28
3.2.2 Atributos do Produto no Ciclo de Vida .....	29
3.2.3 Revisão de Projeto .....	31
3.3 Processo Desenvolvimento de Componente de Plástico Injetado .....	32
3.4 Projeto para Manufaturabilidade .....	36
3.5 Projeto para Disponibilidade .....	39

3.5.1 Projeto para Mantenabilidade .....	39
3.5.2 Projeto para Confiabilidade .....	41
3.6 Comentários finais .....	42
<b>CAPÍTULO 4: FERRAMENTAS PARA REVISÃO FORMAL DE PROJETO E PARA AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO DA MANUFATURA .....</b>	<b>44</b>
4.1 O Uso de Ferramentas no Processo de Desenvolvimento de Produto .....	44
4.2 Lista de Verificação .....	45
4.3 Diagrama FAST .....	47
4.4 FMEA .....	49
4.4.1 Conceito e Objetivos .....	49
4.4.2 Desenvolvimento do FMEA .....	49
4.4.3 Tipos de FMEA .....	58
4.4.4 Porque FMEA Falha .....	59
4.5 Diagrama de Ishikawa .....	59
4.6 Comentários finais .....	61
<b>CAPÍTULO 5: PROPOSIÇÃO DO MODELO PARA REVISÃO FORMAL DE PROJETO A PARTIR DA SISTEMATIZAÇÃO DO CONHECIMENTO DA MANUFATURA .....</b>	<b>62</b>
5.1 Objetivos da Proposição .....	62
5.2 Sistematização do Conhecimento da Manufatura .....	65
5.2.1 Fase 1 - Aquisição do Conhecimento .....	66
5.2.2 Fase 2 – Formalização do conhecimento .....	71
5.2.3 Fase 3 – Manutenção de conhecimento .....	73
5.3 Revisão Formal de Projeto .....	73
5.4 Comentários Finais .....	77
<b>CAPÍTULO 6: APLICAÇÃO DO MODELO NO DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTE DE PLÁSTICO INJETADO EM INDÚSTRIA ELETRO-ELETRÔNICA .....</b>	<b>79</b>
6.1 Aquisição do Conhecimento .....	79
6.1.1 FMEA Processo “Injeção” .....	80
6.1.2 FMEA Projeto “Molde” .....	82
6.1.3 FMEA Serviço “Manutenção de Molde” .....	84
6.2 Formalização do conhecimento .....	85
6.3 Revisão Formal de Projeto .....	87
6.4 Avaliação dos Resultados Obtidos .....	88
6.4.1 Análise a partir da Revisão de Projeto do Molde .....	89
6.4.2 Análise a partir da Revisão de Projeto do Componente de Plástico .....	93
6.5 Avaliação da Proposição .....	96
6.6 Comentários Finais .....	99

<b>CAPÍTULO 7: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>101</b>
7.1 Sistematização do Conhecimento da Manufatura .....	103
7.2 Revisão Formal de Projeto .....	105
7.3 Proposta Integrada do Conhecimento no PDP .....	108
7.4 Recomendações para Trabalhos Futuros .....	110
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>118</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Contexto empresarial e processos de manufatura e desenvolvimento de produto.....	2
Figura 2.1: Produtos finais da empresa.....	6
Figura 2.2: Estrutura de equipe multifuncional de engenharia simultânea. ....	7
Figura 2.3: Evolução cronológica das ações para melhoria da engenharia simultânea da empresa.....	8
Figura 2.4: Fluxo de informações no Comitê Técnico. ....	9
Figura 2.5: Fluxo de desenvolvimento do produto em engenharia simultânea.....	11
Figura 2.6: Característica do projeto de produto. ....	11
Figura 2.7: Fluxo de desenvolvimento do componente de plástico injetado.....	12
Figura 2.8: <i>Rendering</i> de tampa plástica de central telefônica.....	14
Figura 2.9: Proposta para protótipo funcional – tampa da central telefônica.....	16
Figura 2.10: Projeto 2D do molde. ....	18
Figura 2.11: Utilização e perdas da capacidade instalada. ....	20
Figura 2.12: Sistema de manutenção.....	211
Figura 2.13: Registros do sistema de manutenção. ....	22
Figura 2.14: Processos integrados para prática e performance. ....	23
Figura 3.1: Processo de desenvolvimento de produto.....	27
Figura 3.2: Elementos metodológicos de projeto de produto. ....	28
Figura 3.3: Classificação da estrutura de atributos de produto. ....	30
Figura 3.4: Ciclo de desenvolvimento do componente de plástico injetado. ....	33
Figura 3.5: Projeto do componente de plástico injetado. ....	34
Figura 3.6: Projeto do molde de injeção.....	34
Figura 3.7: Produtividade da manufatura desdobrada em atributos de projeto.....	36
Figura 3.8: Ferramentas DFM. ....	38
Figura 4.1: Lista de verificação. ....	46
Figura 4.2: Diagrama FAST de um retroprojetor. ....	48
Figura 4.3: Formulário FMEA. ....	51
Figura 4.4: Seqüência de desenvolvimento do FMEA. ....	52
Figura 4.5: Exemplo de diagrama FAST.....	53
Figura 4.6: Caracterização do sistema para a descrição dos efeitos de falhas.....	55
Figura 4.7: Diagrama lógico de decisão. ....	57
Figura 4.8: Diagrama Ishikawa. ....	60

Figura 4.9: Diagrama Ishikawa adaptado.....	60
Figura. 5.1: A integração entre o PDP e o ambiente de manufatura. ....	63
Figura. 5.2: Caracterização do ambiente de manufatura e PDP. ....	64
Figura. 5.3: Integração “PDP – Manufatura” através da proposição.....	65
Figura 5.4: Sistematização do conhecimento da manufatura. ....	66
Figura 5.5: Associação dos atributos desdobrados da produtividade às ferramentas selecionadas para análise. ....	68
Figura. 5.6: Parte do FAST “Processo de Injeção” .....	68
Figura 5.7: Estrutura para categorização dos dados obtidos. ....	72
Figura 5.8: Lista de verificação estruturada .....	75
Figura 5.9: Execução da lista de verificação estruturada. ....	77
Figura 5.10: Visão integrada do modelo proposto. ....	78
Figura 6.1: Desdobramento da estrutura do molde.....	83
Figura 6.2: Gaveta do molde com detalhe em forma de postiço.....	86
Figura 6.3: Resultado da revisão de projeto – Molde 1 “bom”.....	90
Figura 6.4: Resultado da revisão de projeto – Molde 2 “ruim”.....	90
Figura 6.5: Resultado da revisão de projeto – Peça 1 - Molde 1 ”bom”.....	94
Figura 6.6: Resultado da revisão de projeto – Peça 2 - Molde 1 ”bom”.....	95
Figura 6.7: Resultado da revisão de projeto – Peça 3 - Molde 2 ”ruim”.....	95
Figura 7.1: Desdobramento da estratégia orientada para a produtividade e qualidade de produto na indústria eletro-eletrônica. ....	101
Figura 7.2: Sequência para aquisição e formalização do conhecimento da manufatura para construção de filtros aplicados na revisão formal de projeto. ....	109

## LISTAS DE TABELAS E QUADROS

Quadro 2.1: Principais indicadores de prática e performance no ambiente de engenharia simultânea.....	24
Quadro 2.2: Comparação entre a empresa estudada e a média dos líderes europeus no ambiente de engenharia simultânea.....	24
Quadro 2.3: Comparação entre a empresa e os líderes europeus, em relação aos indicadores de performance no ambiente de engenharia simultânea.....	25
Tabela 3.1: Resumo dos principais conceitos do DFM.....	37
Tabela 4.1: Conceitos do FMECA.....	52
Tabela 4.2: Descrição funcional do modo de falha.....	54
Tabela 4.3: Descrição estrutural do modo de falha.....	54
Tabela 4.4: Escala de ocorrência.....	56
Tabela 4.5: Escala de severidade.....	56
Tabela 5.1: FMEA Processo “Injeção”.....	69
Tabela 5.2: FMEA Serviço “Manutenção”.....	70
Tabela 5.3: FMEA Projeto “Molde”.....	70
Tabela 5.4: Síntese de ações recomendadas para o projeto do molde e componente.....	71
Tabela 5.5: Categorização das Ações Recomendadas.....	73
Tabela 5.6: Relação entre FMEA, ações recomendadas e atributos de produto.....	74
Tabela 6.1: Categorização das ações recomendadas em atributos.....	86
Tabela 6.2: Análise comparativa da revisão de projeto dos dois moldes.....	89
Tabela 6.3: Análise por atributos da revisão de projeto dos dois moldes.....	91
Tabela 6.4: Dados históricos de manutenção.....	92
Tabela 6.5: Análise comparativa das revisões de projeto dos componentes.....	94
Tabela 6.6: Dados do controle estatístico de processo.....	96
Tabela 6.7: Questões para avaliação da proposição.....	97
Tabela 6.8: Resultado da avaliação da proposição.....	98

## LISTA DE SIGLAS

ABCQ – Associação Brasileira de Controle de Qualidade

ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção

ABS – Acrilonitrila Butadieno eStireno

ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações

CAD - Computer Aided Design  
*Projeto auxiliado por Computador*

CAE - Computer Aided Enginnering  
*Engenharia auxiliada por Computador*

CIMATEC – Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia

CIMJECT – Laboratório de Projeto e Fabricação de Componentes de Plástico Injetados

DFA - Design for Assembly  
*Projeto para Montagem*

DFM - Design for Manufacturability  
*Projeto para Manufaturabilidade*

EQF - Engenharia de Qualificação dos Fornecedores

ES - Engenharia Simultânea

FAST - Function Analysis System Technique  
*Técnica de Análise Funcional de Sistemas*

FMEA - Failure Modes and Effects Analysis  
*Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos*

FMECA - Failure Modes, Effects Analisis and Critical Analysis  
*Análise dos Modos de Falha, e seus Efeitos e Análise Critica*

FTA – Fault Tree Analysis  
*Análise da Árvore de Falhas*

IEL - Instituto Euvaldo Lodi

ISO - International Standard Organization  
*Organização Internacional para Normatização*

JUSE - Japanese Union Society Engineers  
*Sociedade dos Sindicatos de Engenheiros Japoneses*

**MIL STD - Military Standard**

*Norma Militar*

**MC – Manutenção Corretiva**

**MP – Manutenção Preventiva**

**NEDIP/UFSC Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produto**

**P&D - Pesquisa e Desenvolvimento**

**PDP - Processo de Desenvolvimento de Produto**

**QFD - Quality Function Deployment**

*Desdobramento da Função Qualidade*

**RCM – Reliability Centered Maintenance**

*Manutenção Centrada em Confiabilidade*

**SAE – Society American Engineers**

*Sindicato de Engenheiros Americanos*

**SCGP - Sistema de Controle e Gestão de Projetos**

## RESUMO

Atualmente, presencia-se um panorama de intensa busca por competitividade nas organizações. Nesse contexto, o processo de desenvolvimento de produtos vem se transformando em uma fonte de vantagem competitiva. Por outro lado, a performance dos sistemas de produção muitas vezes é penalizada pelo fato do processo de projeto não estar devidamente orientado para as necessidades da manufatura. Para o setor de transformação de plástico por injeção, a perda de produtividade decorrente está associada, entre outros, ao aumento do índice de refugos, falta de disponibilidade dos moldes de injeção e das máquinas injetoras, em função de manutenções não planejadas e custos mais elevados de produção. Portanto, a falta de integração do projeto com a manufatura tem impacto negativo direto na competitividade da organização. No ramo industrial de componentes de plásticos injetados o desenvolvimento de produtos e moldes, de uma forma geral, tem a participação de outras empresas tanto no projeto do produto quanto do molde. Sendo esse desenvolvimento em ambiente de engenharia simultânea, há freqüentes problemas nas inter-relações que produzem falhas, na maioria das vezes, decorrentes da falta de processos apropriados para a avaliação das soluções de projeto proposto pelos parceiros. Diante desta constatação propõe-se neste trabalho apresentar uma sistematização do conhecimento existente no ambiente de manufatura, operação e manutenção, no domínio de plásticos injetados para a indústria eletro-eletrônica, na forma de listas de verificação estruturadas. Estas listas foram produzidas para serem usadas pelos projetistas da empresa nas tarefas de avaliação das soluções de projeto do componente e do molde, para cada fase do processo de projeto, contribuindo assim com a tarefa de revisão formal de projeto. As listas foram elaboradas a partir do uso da técnica sistêmica de análise funcional (FAST) e análise dos modos de falhas e efeitos (FMEA) aplicados, em conjunto com projetistas, técnicos de processo, ferramenteiros e manutentores, no processo de produção de produtos e de manutenção de moldes e máquinas de injeção de uma empresa do ramo eletro-eletrônico.

**Palavras-chaves:** Revisão formal de projeto, integração, sistematização do conhecimento da manufatura, FMEA de projeto, FMEA de serviço, FMEA Processo.

## ABSTRACT

Currently there is a fierce competition between organizations. In this context, the product development process potentially becomes a source of competitive advantage for the company. On the other hand, the operations performance is reduced very often due to project process not to take manufacturing requirements in consideration properly. In the plastic transformation sector, the productivity loss is noticed through many performance indicators: increase of the scrap index, reduced availability for injection molds and injection mold machines (due to unplanned maintenances actions) and the raise of production costs. Therefore the lack of integration between design and manufacture function establishes a negative effect in the competitiveness of the organization. In the industrial sector of injected plastic components, generally product development involves more than one company in both product and mold design. Since this product development takes place in concurrent engineering environment, there are many issues in those interfaces which brings failures to product development. Most of the time, those failures could be avoided if proper methods and tools would be available for doing assessments of proposed design alternatives by the suppliers and partners. In this sense, this research intents to propose a systematization of the available knowledge in the operations through structured checklists, for the component plastic domain inside the electro-electronic industry. These lists were developed to be applied in the assessment of component and plastic design solutions by the designers of the company, supporting formal design reviews throughout the design process. The manufacturing knowledge in the lists was acquired applying some quality tools: Functional Analysis System Technique (FAST) and Failure Modes, Effect and Analysis (FMEA). These tools were applied involving designers, process technicians, mold and machine maintenance workers, in the production process, molds and machine maintenance of an electro-electronic company.

**Keywords:** Formal Design Review, Integration, Manufacturing Knowledge Systematization; Design FMEA, Service FMEA, Process FMEA.

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 Contextualização do tema

Do ponto de vista do mercado, no contexto da indústria eletro-eletrônica, presencia-se cada vez mais um panorama de intensa concorrência, o que gera a necessidade de busca incessante por competitividade dentro das organizações. Esse contexto gera uma mudança radical na forma das empresas gerir seus processos, que devem estar adequadamente centrados nas necessidades dos clientes. Portanto, essa orientação permeia a estratégia empresarial, no sentido de buscar vantagem competitiva em nível de mercado.

A estratégia empresarial desdobra-se nos diversos processos que constituem a organização, estabelecendo diretrizes e metas (Fig 1.1). Para o processo de desenvolvimento de produto, em geral, são requeridos (como atributos) prazos de desenvolvimentos cada vez mais curtos, produtos com qualidade, confiabilidade e baixo custo, entre outros. Por outro lado, o processo produtivo é demandado: pela eficiente utilização da capacidade instalada, baixos custos de produção, tempos de produção cada vez mais reduzidos, baixo nível de estoques e produção de produtos com qualidade. Entretanto, essas funções organizacionais não atuam independentemente, existe uma forte interdependência entre a forma em que o processo de desenvolvimento de produto atua e a performance da manufatura (representados, respectivamente, pelos atributos “projeto de produto” e “produtividade” na Fig. 1.1).

Na abordagem tradicional de projeto, era comum o produto ser desenvolvido até quase a fase final sem que houvesse a preocupação como seria a sua fabricação, o que certamente levaria ao fracasso, em função dos problemas, nesse contexto, que ocorreria na produção. A abordagem de engenharia simultânea para o desenvolvimento de produto trouxe uma nova perspectiva para problemas enfrentados no modelo tradicional. O desenvolvimento simultâneo de produto e processo possibilitou que as necessidades da manufatura pudessem ser discutidas no decorrer das fases de projeto. Mas isso, por si só, não assegura que o projeto de produto assimile e incorpore todas as necessidades da manufatura, de tal modo que possa contribuir para as metas de desempenho a ela associada. Nesse contexto, o questionamento (1) da Fig.1.1 expressa a necessidade de estabelecer uma sistemática formal que permita realizar a integração entre o conhecimento disponível no chão de fábrica e o projeto do produto.

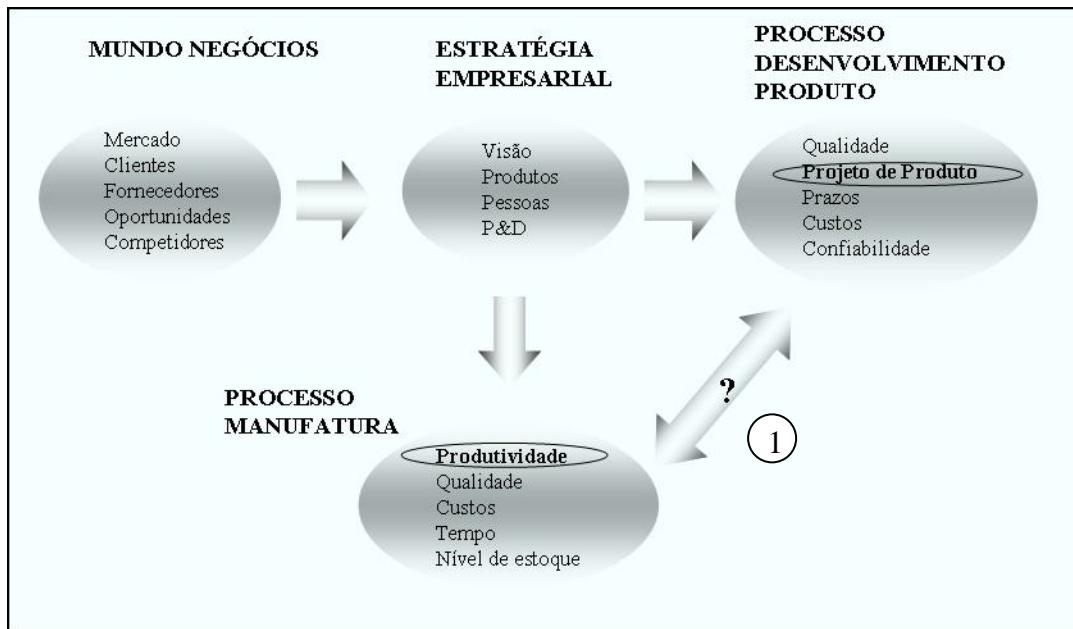


Figura 1.1 Contexto empresarial e os processos de manufatura e desenvolvimento de produto.

No contexto empresarial de empresas transformadoras de plástico, adiciona-se mais uma dificuldade: o ambiente de desenvolvimento de produto, pela característica inerente desse setor, é fragmentado, o que dificulta o emprego de metodologia e ferramentas de projeto, além da comunicação entre as interfaces. Geralmente, várias empresas participam do desenvolvimento, e isso releva a necessidade de estabelecer uma comunicação e processo formal entre elas.

Sob a perspectiva do processo produtivo, a criação do conceito para o componente de plástico e posteriormente, para o molde de injeção, afeta a performance do sistema de produção. De outro modo, a concepção inadequada do componente de plástico injetado, através dos diversos elementos geométricos (furos, rebaixos, nervuras) e do molde (sistema de refrigeração, extratores, material e tratamentos térmicos utilizados) pode trazer sérios problemas à produtividade da manufatura.

## 1.2 Objetivo Geral

O objetivo geral dessa dissertação é formular e implementar uma proposição para a revisão formal de projeto, a partir da sistematização do conhecimento da manufatura, aplicada ao desenvolvimento integrado do componente de plástico injetado em uma indústria eletro-eletrônica.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

- estudar as características de uma empresa eletro-eletrônica e o processo de desenvolvimento de componente de plástico associado,
- estabelecer sistemática para aquisição do conhecimento da manufatura,
- criar, elaborar e estruturar ferramentas de análise para suporte à revisão de projeto,
- validar os resultados obtidos a partir da implementação da proposição,
- realizar a avaliação da proposição.

### 1.3 Justificativa

A relevância do processo produtivo no contexto do ciclo de vida do componente de plástico injetado justifica a proposição de uma sistemática formal, para o projeto de produto, como forma de assegurar que os projetos sejam adequadamente orientados às necessidades da manufatura, em termos de produtividade, custos e qualidade.

Em relação ao valor do produto final (equipamentos eletro-eletrônicos), o componente de plástico injetado representa uma pequena parcela de custo. Do ponto de vista funcional, esse componente de plástico tem a finalidade de proteger, acondicionar o *hardware* do produto, bem como prover estética ao produto. Em relação à confiabilidade do produto, a probabilidade de falha de um componente de plástico, quando do uso do produto final, é muito reduzida. Em contrapartida, os investimentos em: capacidade produtiva, máquinas injetoras e moldes é representativo, situando-se entre 50 e 70% do valor total do investimento do projeto do produto (conforme experiência do autor). Da mesma forma, são relevantes os custos e problemas incorridos pelo não atingimento das metas de produtividade. Nesse sentido, a forma de evidenciar esses problemas é a constatação prática no ambiente fabril, sob a perspectiva do componente de plástico injetado e do molde de injeção.

Do ponto de vista da qualidade do componente de plástico injetado, um projeto inadequado de uma nervura pode gerar um alto índice de refugo, em função de rechupes na superfície do componente de plástico.

Já com relação ao molde, em muitas empresas de transformação de plástico injetado, do universo de moldes existentes na fábrica, alguns têm sérios problemas de disponibilidade e manutenção, enquanto outros não. Uma análise mais detalhada permite diagnosticar, para aqueles que apresentam problemas, que a causa remete, essencialmente, ao projeto de molde inadequado, no sentido de que não houve a consideração de aspectos que propiciam as boas práticas de manutenção e operação, permitindo um desempenho superior. Em função da

pressão por produtividade, a manutenção busca solucionar os problemas gerados pelo projeto inadequado; porém, conforme Moubray (2000), a manutenção pode garantir que o ativo trabalhe na capacidade para qual ele foi projetado, nada mais, além disso. Em geral, qualquer alteração (melhoria) em relação à concepção original do projeto do molde é desproporcionalmente mais onerosa do que se fosse efetivada durante as fases iniciais do projeto.

Em resumo, a desconsideração desses problemas, em nível de projeto, cria um efeito nocivo à própria performance da manufatura. Essa situação possivelmente irá comprometer, para moldes de injeção e máquinas injetoras, a disponibilidade requerida, os custos de manutenção tendem a ser mais altos, assim como o índice de refugos. Do ponto de vista do projeto, o custo do produto no ciclo de vida fica comprometido, por absorver essa improdutividade da fábrica. Dessa forma, a incorporação das características da produtividade da fábrica dentro do projeto conduz a uma redução do custo de ciclo de vida global, repercutindo positivamente no mercado, no nível de satisfação do cliente e a lucratividade da organização.

Fica evidenciada, dentro desse contexto, a fundamental importância do desenvolvimento integrado do produto (componente de plástico injetado e molde de injeção) dando ênfase à produtividade da fábrica.

#### **1.4 Estrutura da pesquisa**

A presente pesquisa está fundamentada em 7 capítulos, detalhados a seguir.

No Capítulo 1, foram apresentados: a contextualização da pesquisa, o problema decorrente, as motivações para desenvolver o trabalho e os objetivos delas decorrentes.

No Capítulo 2, apresenta-se o processo de desenvolvimento de produto da empresa a ser estudada, e também na qual se objetiva implementar a proposta da presente pesquisa. Através dessa exposição, faz-se o detalhamento do processo de desenvolvimento de componente de plástico injetado e do molde de injeção. Também são descritas as características principais do ambiente de manufatura dessa organização, finalizando com a apresentação de um *benchmarking* realizado, onde se infere a relação existente entre o chão de fábrica e o projeto de produto.

No Capítulo 3, é exposta a fundamentação conceitual que concerne ao processo de desenvolvimento de produto. Todos os aspectos intrínsecos à empresa estudada e associada à proposta da presente pesquisa, são apresentados: processo de projeto, metodologia de projeto,

atributos de produto. Um modelo de referência para o desenvolvimento de componentes de plástico injetado é apresentado, como também os principais atributos para esse contexto.

No Capítulo 4, é mostrada a conceituação das principais ferramentas a serem utilizadas na proposição: conceitos, forma de aplicação e integração com o processo de desenvolvimento de produto.

No Capítulo 5, é apresentada a proposição do modelo para captar o conhecimento da manufatura e para realizar a revisão de projeto de componente de plástico injetado e de molde de injeção. Inicialmente, apresenta-se uma proposta formal para a sistematização do conhecimento da manufatura, e finaliza-se com a caracterização do modelo para a execução da revisão de projeto; ambos estruturados a partir da fundamentação teórica.

No Capítulo 6, é descrito todo o processo de implementação da sistemática proposta, na empresa estudada anteriormente. Visando validar a consistência da proposta, é apresentada uma confrontação entre os resultados obtidos a partir da implementação, e os dados históricos disponíveis. Também é apresentada uma avaliação da proposta, feita pelos especialistas envolvidos e gestores da empresa.

Finalizando, o Capítulo 7 apresenta as conclusões obtidas da presente pesquisa, bem como a recomendação para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2

### O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO NA EMPRESA

O presente capítulo apresenta o processo de desenvolvimento de produto na empresa onde será realizado o estudo de caso, particularizando, dentro desse contexto, o desenvolvimento do componente de plástico injetado.

#### 2.1 Caracterização da Empresa

O estudo foi realizado em uma empresa do ramo eletro-eletrônico, fabricante de equipamentos para telecomunicações: centrais telefônicas privadas de pequeno porte, telefones fixos, telefones sem fio e outros acessórios como mostra a Fig. 2.1. Essa empresa, atualmente, é líder nacional do mercado de telefones fixos e centrais privadas de pequeno porte.



Figura 2.1: Produtos finais da empresa. (INTELBRAS, 2004).

A empresa está certificada pela Norma ISO 9001/2000 e todos os produtos são homologados pela ANATEL, denotando a prática de orientar produtos e serviços derivados para atendimento das expectativas de seus clientes.

O desenvolvimento do produto é feito em ambiente de engenharia simultânea desde 1999, quando foi implantada essa filosofia. Essa mudança originou-se da necessidade de melhorar o *time to market*<sup>1</sup>, em função da competitividade do mercado, a partir da privatização do setor de telecomunicações e da concorrência de empresas multinacionais.

<sup>1</sup> *Time to market*: refere-se ao tempo total de desenvolvimento de produto, desde o nascimento de idéia até o lançamento comercial.

Também é relevante, nesse contexto, o desenvolvimento tecnológico presenciado nas telecomunicações, que tem influenciado de modo preponderante a redução do ciclo de vida dos produtos da empresa.

O conceito de trabalho da engenharia simultânea está fundamentado em equipes de projeto, específicos para cada unidade de negócios (centrais telefônicas, telefones fixos e telefones sem fio). Do ponto de vista organizacional, a equipe de projeto está estruturado de forma matricial – os integrantes respondem hierarquicamente ao gerente da área na qual estão alocados, porém, durante o desenvolvimento de produto, são gerenciados pelo coordenador de projeto (Fig. 2.2).

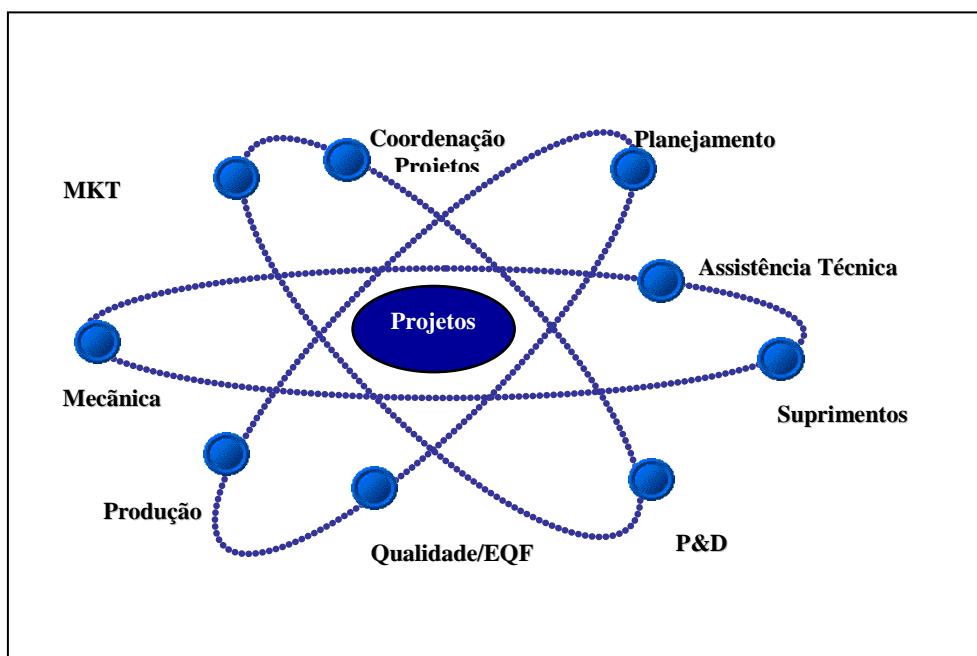


Figura 2.2: Estrutura de equipe multifuncional de engenharia simultânea. (INTELBRAS, 2002).

Segundo Alves (2003), inicialmente não havia uma sistematização do processo de desenvolvimento de produto. A consolidação do ambiente de engenharia simultânea vem ocorrendo a partir das ações estratégicas implementadas no decorrer dos últimos quatro anos, resumido na Fig. 2.3.

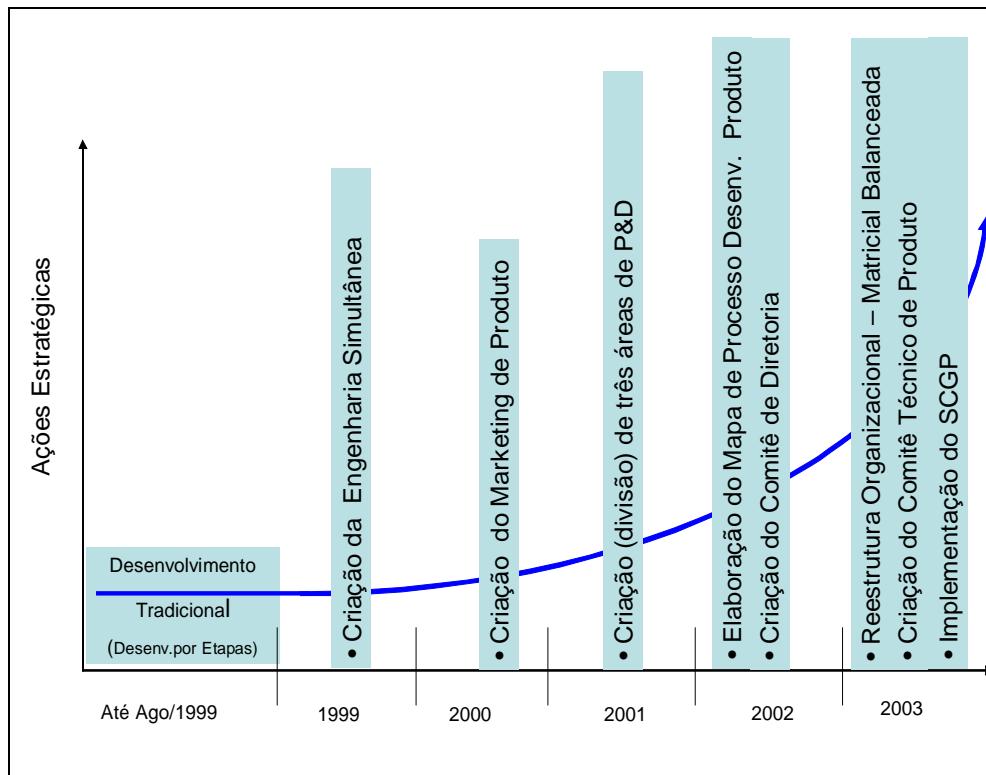


Figura 2.3: Evolução cronológica das ações para melhoria da engenharia simultânea da empresa. (ALVES, 2003).

A necessidade de estabelecer o conceito do produto a partir das premissas de mercado e considerando o posicionamento da concorrência, fundamentou a criação do Marketing de Produto. Posteriormente, a área de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), buscando focar em tecnologias específicas para cada segmento de mercado, foi subdividida em setores: centrais telefônicas, telefones fixos e telefones sem fio. Cronologicamente, sucedeu-se: a sistematização e formalização do processo de desenvolvimento de produto, face à exigência da norma ISO 9001, através dos mapas de processo, e a criação do Comitê de Diretoria, responsável pela determinação do planejamento estratégico do *portfólio* de produtos. Recentemente, foi criado o Comitê Técnico, objetivando auxiliar o Comitê de Diretoria na definição do *portfólio*, face à velocidade de desenvolvimento da tecnologia. Em 2003, foi implementado um sistema de informação para controle e gestão de projetos (SCGP), visando suportar o fluxo de informações no contexto de desenvolvimento de produto, descrito em detalhes na pesquisa realizada por Alves (2003).

## 2.2 Desenvolvimento de Produto

A visão estratégica estabelecida no *portfólio* de produto define o início de um novo desenvolvimento de produto, dentro do Comitê Técnico.

O Comitê Técnico realiza uma série de análises, conforme fluxo de informações e atividades apresentadas na Fig. 2.4. Essas informações são fornecidas pelas diversas áreas da empresa: *Marketing*, Engenharia de Processos, Compras, Custos, Comercial, Assistência Técnica, Produção e P&D.

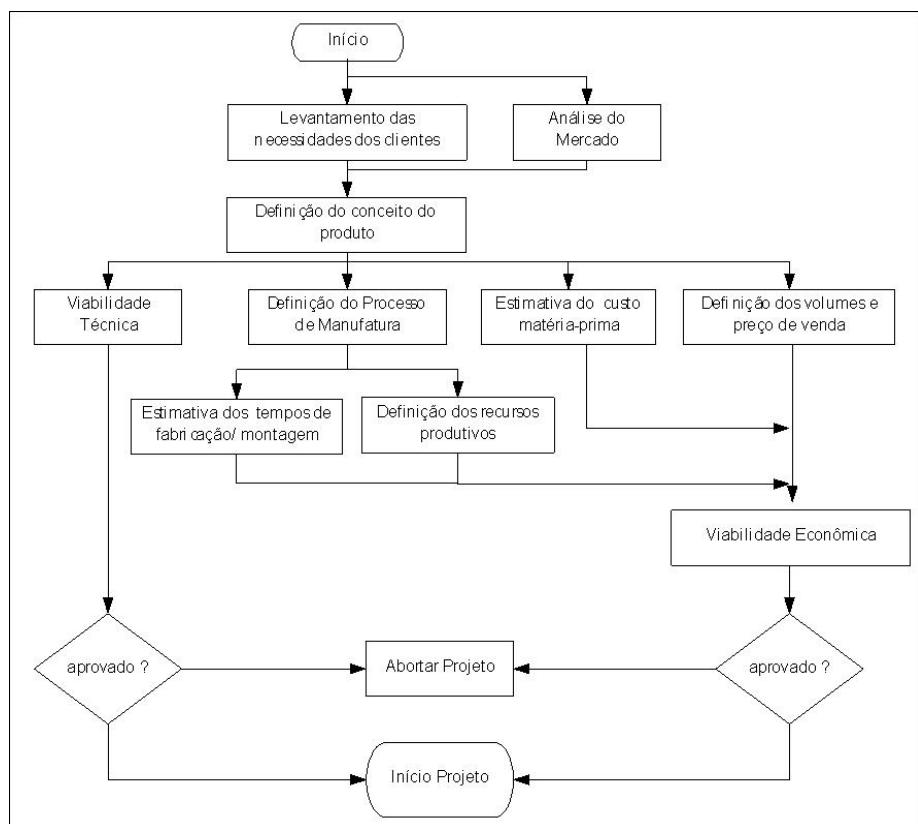


Figura 2.4: Fluxo de informações no Comitê Técnico.

O levantamento de necessidades dos clientes é feito pela área de *Marketing*, através de pesquisas junto à rede de distribuição, técnicos de assistência técnica e pesquisa de mercado. Também o *Marketing* faz uma análise da conjuntura de mercado, considerando: posicionamento da concorrência, cenário macroeconômico e características específicas do produto.

Baseado nessas informações, o P&D define o conceito do produto, do ponto de vista funcional, e por conseqüência, estrutural (*hardware*). Com esta proposição, o Comitê valida o conceito do produto, em nível de especificação de funções. Inicia-se a análise de viabilidade

técnica, com intuito de avaliar: robustez e domínio da tecnologia empregada, análise “fazer x comprar”, obsolescência de componentes eletrônicos, entre outros.

Paralelamente, os dados referentes às despesas e investimentos requeridos para desenvolvimento do produto são levantados. O conceito estabelecido pelo Comitê Técnico orienta a definição do conceito de processo produtivo para o produto em questão; são estimados o tempo-padrão de montagem e a necessidade de recursos (equipamentos e recursos humanos), tecnologias ou processos específicos.

Na seqüência, este conjunto de dados fomenta o estudo de viabilidade econômica.

O processo decisório de aprovação do projeto é alicerçado nos dois estudos de viabilidade: técnico e econômico. O Comitê Técnico delibera e formaliza, recomendando ou não, o desenvolvimento do produto à Diretoria; que faz a aprovação da solicitação de desenvolvimento.

A partir da aprovação da Diretoria, define-se o coordenador responsável pelo gerenciamento do projeto e constitui-se a equipe de projeto.

A Fig. 2.5 apresenta uma visão sintética do desenvolvimento do produto dentro da perspectiva da engenharia simultânea, com a indicação das listas de verificação associadas, destinados à avaliação de fases específicas do desenvolvimento. O objetivo da utilização de listas de verificação é de assegurar que, antes de se iniciar uma nova fase ou atividade, todas as considerações de aspecto preventivo tenham sido devidamente consideradas, visando prevenir a ocorrência de problemas posteriores. O conteúdo das listas de verificação representa e sintetiza o conhecimento e experiência de vários especialistas. Exemplificando, antes do conceito do produto ser testado em campo (fase de “Validação do Produto”, Fig.2.5), existe uma lista de verificação (“Check E”) para validar a consistência do planejamento para realização do teste de campo.

As listas de verificação foram implementadas a partir do conhecimento dessa sistemática em visitas realizadas a outras empresas. Com o material adquirido nessas visitas, foram feitas adaptações para o contexto de desenvolvimento de produto da empresa. As listas de verificação empregadas consistem de uma série de questionamentos sobre diferentes aspectos do projeto, objetivando exclusivamente a atuação preventiva em relação ao desenvolvimento das atividades no âmbito da engenharia simultânea. A aplicação ocorre em reunião da equipe de projeto, consistindo em resposta binária (sim ou não) em relação ao questionamento. Não existe ponderação entre os questionamentos. Uma resposta negativa resulta na realização de uma ou conjunto de ações, que podem ou não trazer prejuízos para o projeto (custo, prazo, qualidade).

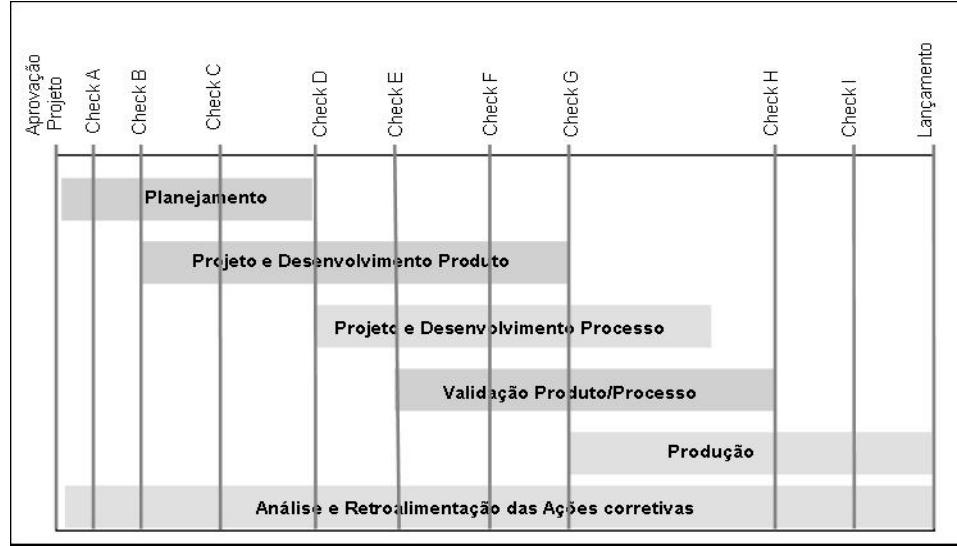


Figura 2.5: Fluxo de desenvolvimento do produto em engenharia simultânea.  
(INTELBRAS, 2002).

Do ponto de vista do projeto de produto, o conceito do produto é definido em três domínios de conhecimento distintos, porém interligados no desenvolvimento do produto: projeto do *hardware* (placas de circuito impresso, componentes eletrônicos), projeto do *software* (programação do *firmware* utilizado nos chips e circuitos integrados) e projeto mecânico (onde insere-se o projeto do componente de plástico injetado e do molde), conforme representação esquemática da Fig. 2.6.

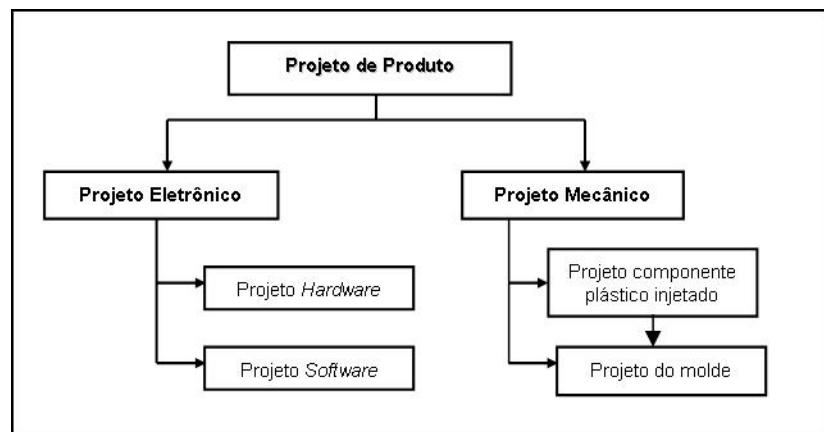


Figura 2.6: Característica do projeto de produto.

A seguir, será detalhado o processo de desenvolvimento do componente de plástico, dentro do contexto de desenvolvimento do produto apresentado.

### 2.3 Desenvolvimento do Componente de Plástico Injetado

O desenvolvimento do projeto do componente de plástico injetado inicia com a definição do conceito do produto, gerando a necessidade do *design*<sup>2</sup> do produto, com intuito de definir a forma física e a integração com o projeto de *hardware* (eletrônico). Posteriormente, a atividade denominada de engenharia de produto estabelece a integração do projeto do componente de plástico injetado com o projeto do *hardware*. Finalizando, tem-se a aprovação do projeto do componente de plástico; sucede-se o projeto do molde de injeção e sua fabricação. A Fig. 2.7 descreve esse fluxo de desenvolvimento, que será detalhado a seguir.

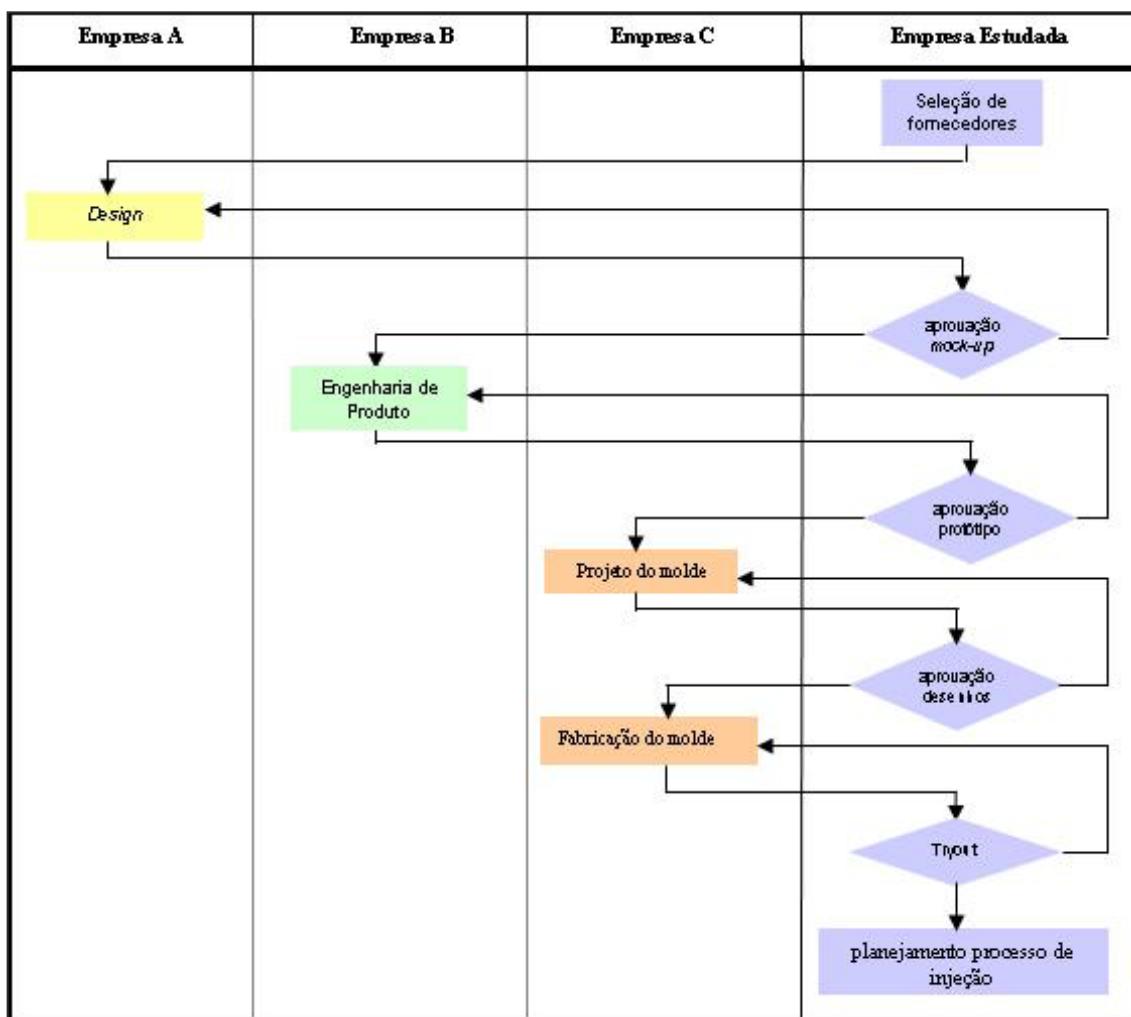


Figura 2.7: Fluxo de desenvolvimento do componente de plástico injetado.

<sup>2</sup> *Design* – refere-se ao termo desenho industrial.

Para produtos da unidade de negócios de centrais telefônicas, o componente de plástico injetado a ser desenvolvido pode ser: uma tampa ou um conjunto tampa e base, para acondicionamento do *hardware* da central. Para as unidades de negócios de terminais com fio e sem fio, a necessidade é de vários componentes de plástico para um determinado projeto de produto, a saber: tampa e base do telefone, tampa e base do monofone, teclado, chaves, acionadores, entre outros.

### 2.3.1 Design

Recentemente estabeleceu-se na organização um novo entendimento, a respeito da fundamental importância do *design* dentro do desenvolvimento do produto. A nova sistemática pressupõe uma gestão do design, de cunho corporativo, com intuito, entre outros, de fortalecimento da marca da empresa a partir da criação de uma identidade visual do *portfólio* de produtos e integração com o processo de desenvolvimento do produto.

Quando da discussão conceitual a respeito do tema, entre um coordenador de projeto e uma integrante da equipe de projeto, declarações da mesma, tais como: “somente uma empresa poderá ser a mais barata; as outras terão que utilizar o *design* como forma de diferenciação...”, e também “a forma segue a mensagem (que se quer passar com o *design*), e não mais a forma segue a função...”, mostram nitidamente a forma que se tem buscado relevar o *design* no contexto do projeto do produto.

Com essa perspectiva, uma equipe, formada por pessoas envolvidas em atividades de desenvolvimento do produto ou área de *marketing*, denominada Comitê de *Design*, delibera os assuntos relacionados ao design dos novos produtos. Este comitê possui uma interface direta e integrada com as equipes de projeto e Comitê Técnico, especialmente durante a fase inicial do desenvolvimento do produto.

Visando sistematizar e padronizar o fluxo de informações, no que concerne a gestão do *design* integrado com o desenvolvimento de um novo produto, o Comitê de *Design* utiliza um documento, denominado *briefing* do *design*. Este documento consiste de informações acerca do produto a ser desenvolvido: motivo do *design*, especificações do produto, análise de produtos concorrentes, características do mercado, canais de distribuição, processo produtivo, custos, oportunidades e restrições, entre outros. A natureza da informação propicia ao responsável pela concepção do *design*, uma visão ampla acerca do produto, e não somente a visão centrada nos aspectos visuais e dimensionais, conforme levantamento histórico.

Informações das placas de circuito impresso e componentes eletrônicos, apesar de que ainda não totalmente finalizadas ou definidas, em alguns casos nem iniciadas, são fornecidas

também, em ordem de grandeza, para que o projetista possa conceber a forma, a partir dessas restrições preliminares.

Como regra geral, todo desenvolvimento de *design* é feito por empresas terceirizadas. A seleção do fornecedor é feita via procedimento para o processo de compras: no mínimo, três potenciais fornecedores participam da cotação, designados pelo Comitê de *Design* e Diretoria. A seleção final é feita em uma reunião com a Diretoria, baseada na condição comercial e na qualificação demonstrada.

A empresa selecionada recebe o *briefing*, a partir daí, desenvolve a concepção do *design*; retornando para a Intelbras uma primeira proposta de *design* (com um número definido de alternativas), apresentada na forma de *rendering*<sup>3</sup>, ilustrado na Fig. 2.8. O Comitê de *Design* executa uma avaliação crítica (consistência entre o *briefing* e propostas apresentadas), reencaminhando para o desenvolvedor a solicitação de pequenos ajustes na concepção selecionada. Então, é gerada uma segunda proposta, também na forma de *rendering*.

Havendo um real entendimento das necessidades explicitadas no *briefing*, o processo de concepção já estará bem definido nessa etapa. A validação final da concepção apresentada é feita através de um modelo, denominado *mock-up*<sup>4</sup>, feito de poliuretano, madeira ou outros materiais, que propicia uma avaliação volumétrica e em escala real. A aprovação final é feita pelo Comitê de *Design* com a diretoria, em reunião.

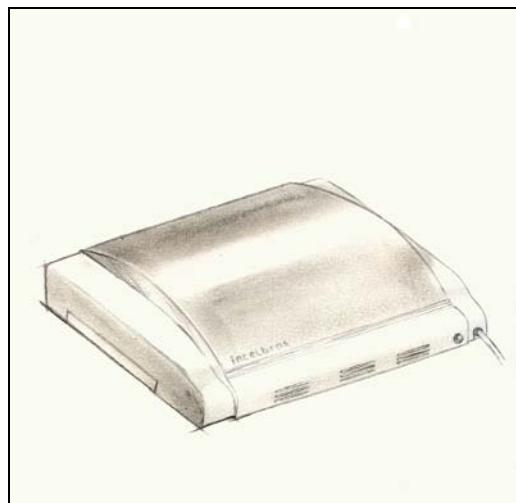


Figura 2.8: *Rendering* de tampa plástica de central telefônica. (CIMATEC, 2003)

<sup>3</sup> *Rendering* – representação digital do modelo concebido, feito, em geral, em sistemas CAD.

<sup>4</sup> *Mock-up* – modelo físico volumétrico.

### 2.3.2 Engenharia de Produto

Após a validação da concepção do *design*, inicia-se a fase de integração da concepção da forma definida aos aspectos funcionais requeridos pelo produto, denominada engenharia de produto. O objetivo dessa atividade é estabelecer o detalhamento requerido, do ponto de vista funcional, que permita integrar o projeto eletro-eletrônico com o projeto do componente de plástico injetado.

A execução da atividade, da mesma forma que o *design*, é feita externamente à empresa, passando pelo mesmo fluxo de seleção e aprovação de fornecedores descrito no item 2.3.1.

As informações de entrada para o desenvolvimento da engenharia de produto são, para telefones, em geral: a dimensão da placa de circuito impresso (projeto detalhado) e dos componentes eletrônicos que serão utilizados, e em casos específicos, do *display* de cristal líquido. Para centrais telefônicas, é importante detalhar: as dimensões da base metálica do gabinete, bem como a estrutura de montagem e fixação do conjunto de placas de circuito impresso. O aspecto de transferência de calor, para as centrais, tem sido estabelecido a partir do conceito adotado em outras centrais, a partir da similaridade da geometria do gabinete, potência do transformador e quantidade de placas. As informações encaminhadas ao fornecedor especificam somente as especificações funcionais do projeto do componente de plástico.

O fornecedor selecionado recebe arquivos eletrônicos, com a modelagem em 2 e 3 dimensões. Com essas informações associadas à concepção do *design*, o fornecedor desenvolve as propostas para o conceito funcional do produto. Para essa fase, o projetista da empresa contratada utiliza sistema CAD, porém, nem sempre é possível aproveitar os arquivos eletrônicos da etapa anterior (*design*). Tem-se observado com freqüência que os sistemas dos fornecedores não pertencem à mesma plataforma computacional; erros podem ser induzidos na conversão de arquivos de um sistema para outro.

Existe a possibilidade da realização de estudos de análise reológica do componente utilizando sistema CAE, objetivando avaliar aspectos de preenchimento do fluxo de injeção, perfil de temperatura e pressão no componente de plástico projetado.

Na seqüência, é apresentada uma proposta única (Fig. 2.9), através de elaboração de um outro modelo, denominado protótipo funcional, em geral, pelo processo de estereolitografia. Caso sejam necessários ajustes, tem-se a alteração do projeto e reapresentação da proposta, via novo protótipo. A validação do mesmo dá-se através da montagem do produto e

utilização, simulando o uso do produto em teste de campo e ensaios de laboratório, conforme procedimentos padronizados.

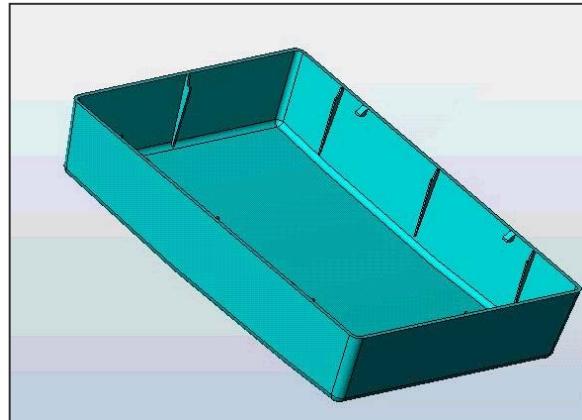


Figura 2.9: Proposta para protótipo funcional – tampa da central telefônica. (INTELBRAS, 2003).

Da forma que se encontra estabelecida, a aprovação da concepção funcional do projeto do componente de plástico injetado fica restrita somente a aspectos relacionados ao produto final: resistência estrutural, desempenho funcional e acondicionamento do hardware; não são levados em consideração os defeitos que surgem nos componentes de plásticos que já são produzidos.

O início e fim da engenharia de produto, para o fluxo de desenvolvimento ora apresentado é propício para criar a integração do conhecimento da manufatura (restrições, recomendações, lições aprendidas) com o projeto de produto. A visão é que o projeto do componente de plástico injetado conte com as considerações da manufatura, caso contrário, uma série de problemas potenciais poderá ser gerada: baixa produtividade, alto índice de refugos (em função da dificuldade de injetar o componente de plástico), aumento dos custos de produção, entre outros. Entretanto, existe a necessidade de desenvolver uma sistemática para capturar o conhecimento inerente da manufatura, disponível no “chão de fábrica”, formalizá-lo e disponibilizá-lo para o seu emprego no desenvolvimento do projeto do componente de plástico injetado.

### 2.3.3 Projeto do Molde

Não existe um modelo ainda estabelecido em relação à responsabilidade do projeto e fabricação do molde, no que concerne a integração com a fase de projeto (*design* e engenharia

de produto) do componente de plástico injetado. Considerando também o fluxo de desenvolvimento apresentado na Fig. 2.7, as configurações possíveis são:

- a empresa A é responsável pelo *design*, a empresa B executa a engenharia de produto e a empresa C realiza o projeto e a fabricação do molde;
- a empresa A é responsável pelo *design*, enquanto que a empresa B responde pela engenharia de produto, projeto e fabricação do molde;
- a empresa A é responsável pelo *design* e engenharia de produto, enquanto a empresa B projeta e fabrica o molde;
- a empresa A é responsável pelo *design*, engenharia de produto e projeto do molde; a empresa B apenas fabrica o molde.

As duas primeiras situações são mais freqüentes, a terceira alternativa ocorre em moldes de menor complexidade (centrais), enquanto que a última aplica-se somente em moldes para componentes acessórios (de menor complexidade, do ponto de vista do projeto e fabricação do molde).

O processo de seleção de fornecedor obedece aos mesmos princípios já descritos nesse capítulo.

Uma dificuldade constatada, devido ao processo de desenvolvimento ser fragmentado, é assegurar que as interfaces (fornecedores da engenharia de produto e projeto do molde) estejam interagindo de modo adequado durante o desenvolvimento do projeto e fabricação do molde, sob risco de trazer prejuízos para o produto final (manufatura). (FERREIRA, 2002; DARÉ, 2001)

A concepção do projeto do molde, feita pela empresa contratada, é realizada segundo um conjunto de informações (especificações) prestadas pela empresa pesquisada.

O projeto do molde deve contemplar alguns aspectos fundamentais, tais como: restrições das máquinas injetoras existentes, características do material injetado, limitações do processo de injeção e aspectos de custos. Esses aspectos, somados à experiência do projetista, são a base do conhecimento para o projeto do molde. Pelo histórico levantado, não se contempla o conhecimento disponível acerca das necessidades para a produtividade da fábrica.

O projeto é então apresentado à empresa, geralmente em arquivos eletrônicos (CAD), através de desenhos do molde em várias vistas e cortes e lista de materiais (Fig. 2.10). A avaliação é realizada pelas áreas de: Mecânica, responsável pelo desenvolvimento mecânico dos produtos da empresa, Ferramentaria e Engenharia de Processo. A avaliação consiste da verificação da documentação de projeto apresentada; não há nenhum mecanismo formal ou

documentação para registrar essa avaliação. Qualquer necessidade de alteração, o projeto retorna para o fornecedor para as devidas correções como, por exemplo, a alteração da geometria do ponto de injeção.

Novamente, surge a questão de como realizar e formalizar a integração do conhecimento da manufatura, no que tange aos moldes de injeção, na fase de projeto dos mesmos.

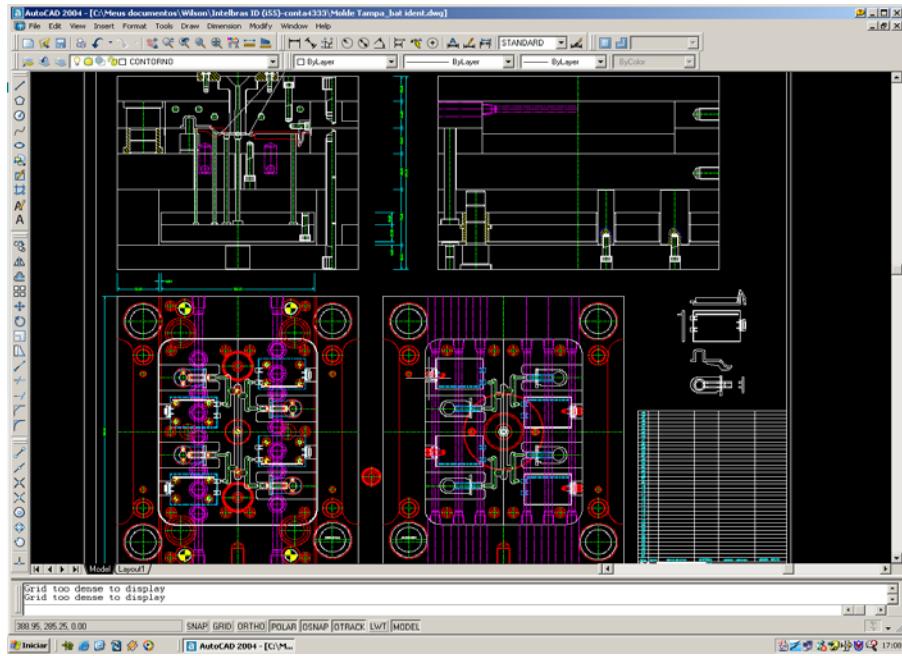


Figura 2.10: Projeto 2D do molde. (INTELBRAS, 2003).

### 2.3.4 Fabricação do Molde

Após a aprovação do projeto do molde pela empresa, realiza-se a fabricação do mesmo, pelo fornecedor selecionado.

No final da fabricação do molde, é prática corrente da empresa receber as primeiras peças injetadas, para avaliação preliminar e definição da necessidade de alterações.

A aprovação final do projeto e da fabricação do molde está sujeita a realização do *try-out*<sup>5</sup> do molde de injeção. Os componentes obtidos são analisados criticamente, através de inspeção visual e dos critérios da qualidade pré-estabelecidos; e também em relação a produtividade requerida. Esta aceitação final é realizada com pelo menos um representante da área Mecânica e de Processo.

<sup>5</sup> *try-out* – realização da primeira produção do molde de injeção.

A partir do *try-out* identifica-se as implicações do projeto não ter sido concebido para a manufatura. Se no *try-out* não se consegue regular o processo para eliminação de um rechupe, em função da geometria do componente ser inadequada, fatalmente a produtividade da fábrica tende a estar comprometida. Historicamente nota-se que o *try-out* é o primeiro contato da equipe de manufatura com o componente a ser injetado. Ressalta-se como um dos grandes aspectos negativos, decorrente dessa situação, o custo do retrabalho. O custo de uma alteração de uma dimensão ou geometria inadequada, logo após a apresentação do projeto do componente de plástico à empresa contratante, é muito menor do que no momento em que se detecta esse mesmo problema no *try-out* do molde. Para essa última situação, são requeridos para a correção do problema: a indisponibilidade do molde, para alteração da geometria (na cavidade), custos da mão de obra (ferramentaria) para realizar a correção, reprogramação e reserva na programação de produção, para realização de novo *try-out*. Para a empresa estudada, o problema tende a ser mais crítico, porque o final do desenvolvimento de produto (aparelho telefônico) culmina com o recebimento de, em média, cerca de 15 moldes novos simultaneamente.

### 2.3.5 *Produção*

Após o recebimento do molde de injeção, são realizados os primeiros testes de injeção, visando elaborar a ficha técnica do processo, ou seja, a definição dos parâmetros do processo de injeção. A finalização dessa atividade depende consideravelmente da experiência dos técnicos de processo, tendo em vista a natureza experimental do estabelecimento da parametrização adequada. Em geral, é nesse momento que começa a perceber as inadequações do projeto do componente de plástico injetado e do molde de injeção.

## 2.4 Sistema de Manufatura

A empresa possui atualmente uma grande quantidade de máquinas injetoras e mais de uma centena de moldes de injeção, atuando como um fornecedor interno das linhas de montagem de centrais telefônicas, telefones convencionais e telefones sem fio. A verticalização do processo de injeção dos componentes plásticos é justificada pelo diferencial competitivo de custo total do produto acabado que se obtém. Entretanto, em função do alto investimento requerido em ativo imobilizado (máquinas injetoras e moldes), frente ao baixo valor agregado dos componentes injetados, há uma preocupação permanente em relação ao atingimento de alta performance desse sistema de manufatura. Em função disso, a empresa, bem como a maioria dos processadores de termoplásticos, trabalha vinte quatro horas por dia;

visando acelerar a amortização do investimento e maximizar a depreciação dos ativos, ou seja, que o investimento retorno para a empresa dentro da expectativa desejada.

Estrategicamente, a performance estabelecida como adequada define que, entre outros, a utilização da capacidade instalada do processo de injeção deve ser da ordem de 85%<sup>6</sup>. A ineficiência (perdas) do processo está associada a: geração de refugos (peças sem qualidade), intervenções de manutenção na máquina injetora e nos moldes de injeção, e *set-ups* de molde (Fig. 2.11). Assim sendo, estes fatores de ineficiência influenciam diretamente a performance e custo do sistema de manufatura.

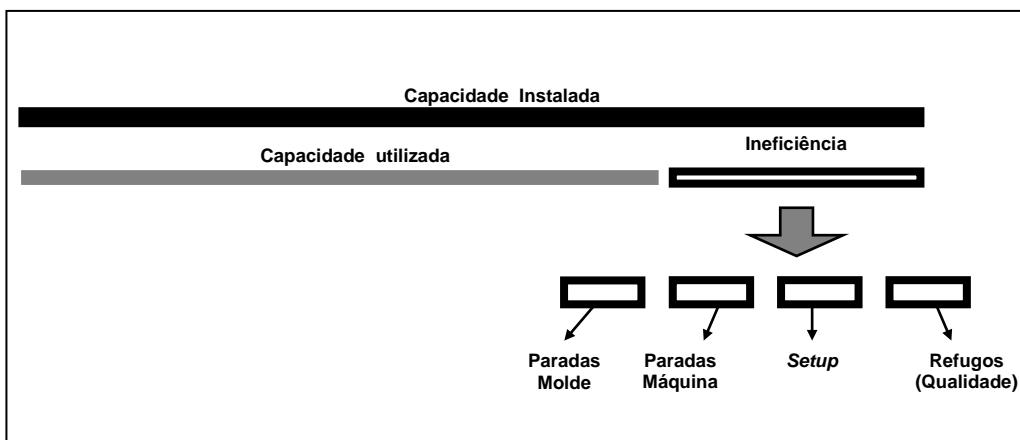


Figura 2.11: Utilização e perdas da capacidade instalada.  
(VILAROUCA, 2002).

Os processos de suporte a esse sistema, com suas respectivas equipes especializadas, são: Manutenção (máquinas injetoras e equipamentos), Ferramentaria (manutenção e alteração de moldes), Qualidade (inspeção) e Engenharia de Processo (parametrização e otimização do processo de injeção).

A partir de 1998, após a privatização do mercado das telecomunicações, a explosão de consumo (principalmente telefones fixos) refletiu na necessidade de uma alta performance da manufatura da empresa. Entretanto, por uma série de fatores, de cunho organizacional, foi o momento em que a área de injeção tinha baixa utilização da capacidade instalada, da ordem de 70%. A perda potencial de faturamento e clientes pelo não atendimento dos pedidos, em função da baixa produtividade da área de injeção, levou a um redirecionamento na gestão da manufatura, com uma série de mudanças implementadas.

<sup>6</sup> Baseado na experiência profissional do autor. Entretanto, Matos (1999) apresenta um valor médio, a partir do relatório da ABRAMAN em 1998, de 85,82%.

O processo de manutenção passou a não possuir mais vínculo direto com a supervisão de produção. Uma série de melhorias foi introduzida sucessivamente: implementação da gestão baseada em indicadores de desempenho, estabelecimento dos procedimentos de manutenção preventiva (a partir de informações do fabricante e experiência prévia da equipe), estruturação do planejamento e programação de manutenção preventiva, atribuição de responsabilidade de gestão do equipamento ou do molde específicos para manutentores e ferramenteiros, implementação de sistema informatizado de registro das atividades da manutenção corretiva e preventiva (Fig. 2.12 e Fig. 2.13), implementação de algumas técnicas de manutenção preditiva (ferrografia para óleo hidráulico das máquinas injetoras, termografia para painéis elétricos).

Já a equipe de Engenharia de Processo introduziu uma série de melhorias, entre elas: criação e atualização permanente das fichas técnicas de processo para cada componente de plástico, otimização dos tempos de ciclo de injeção, melhoria do procedimento de *set-ups*<sup>7</sup> de molde, qualificação da equipe através de treinamentos técnicos.

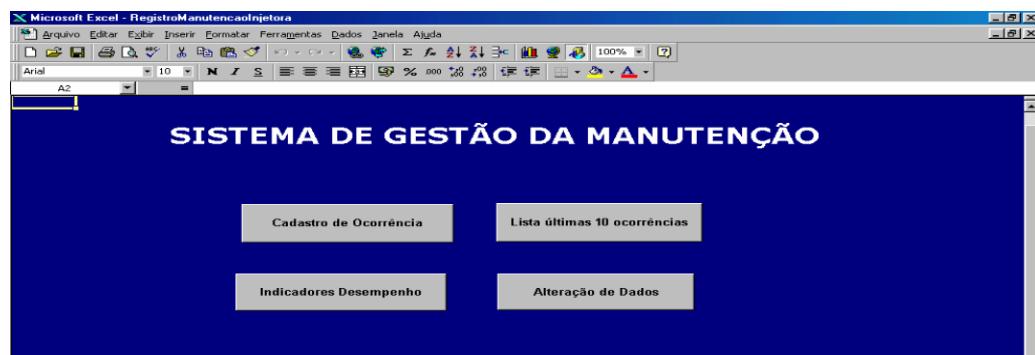


Figura 2. 12: Sistema de manutenção. (INTELBRAS, 2002).

De igual modo, a equipe de Qualidade padronizou os critérios de inspeção e testes dos componentes de plástico, bem como houve um compartilhamento desse conhecimento junto aos operadores de máquina, fortalecendo o conceito de autocontrole.

<sup>7</sup> *Set-up*: substituição de um molde por outro, na máquina injetora.

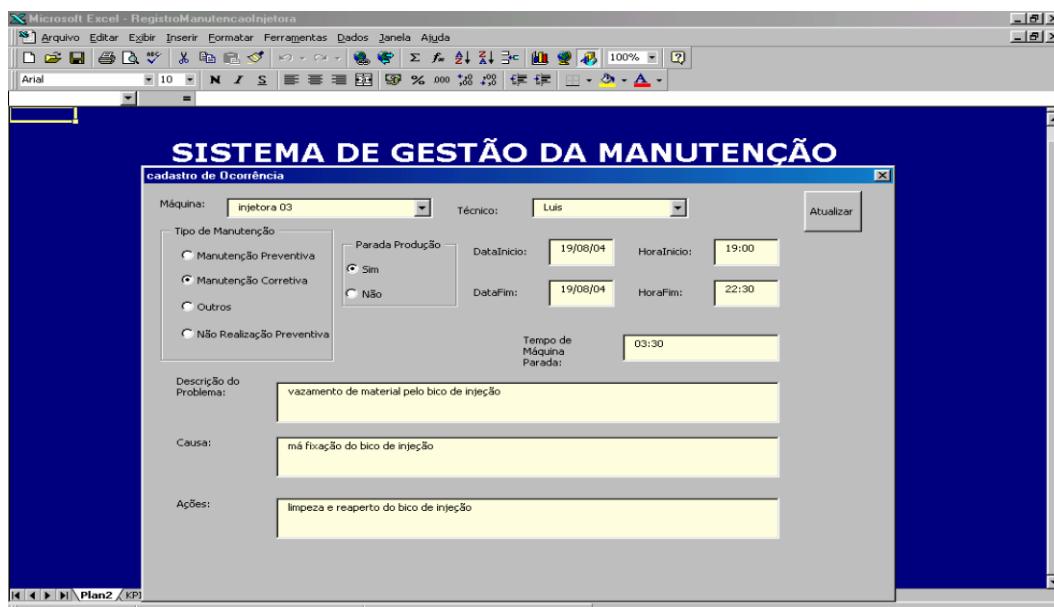


Figura 2. 13: Registros do sistema de manutenção. (INTELBRAS, 2002).

Do ponto de vista gerencial, pode-se citar: a implementação da gestão baseada em indicadores de desempenho (um ano após manutenção e para toda empresa), fortalecimento de programas motivacionais, tais como 5S, equipes de melhoria, participação em programas institucionais de qualidade.

Após uma série de melhorias implementadas no sistema de manufatura (consolidação do ambiente de manutenção preventiva, etc...), objetivando resgatar a produtividade do sistema de manufatura, no decorrer dos últimos quatro anos, percebeu-se que toda e qualquer melhoria subsequente deveria ser estabelecida a partir do projeto do componente de plástico injetado, do projeto do molde e da aquisição da máquina injetora. Do ponto de vista gerencial, isso pode ser percebido a partir da estabilização dos valores apresentados nos indicadores de desempenho, onde as novas ações (de melhoria) implementadas, em nível fabril, acabaram se tornando pouco efetivas.

## 2.5 Benchmarking Industrial

A partir de 2000, a empresa tem participado de um *benchmarking* industrial, organizado pelo IEL/SC. A proposta principal dessa pesquisa é propiciar uma análise sobre a posição competitiva da empresa dentro do cenário internacional, no contexto do seu setor industrial, a partir de aplicação de uma metodologia pré-estabelecida.

Inicialmente, a empresa recebe um questionário estruturado, com a recomendação de formação de uma equipe interna de *benchmarking*, para respondê-lo. As perguntas abordam a

prática<sup>8</sup> e performance<sup>9</sup> de diversos processos organizacionais, dentro de diferentes contextos: Logística, Organização e Cultura, Inovação, Desenvolvimento de Produtos, Qualidade Total, Engenharia Simultânea, Produção Enxuta e Sistemas de Produção. (Fig. 2.14).

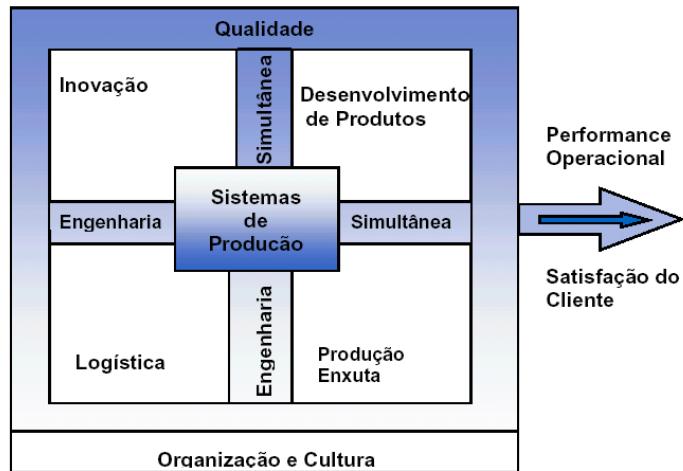


Figura 2. 14: Processos integrados para prática e performance. (IEL, 2003).

Após, o preenchimento do questionário pela empresa, é realizada uma reunião de validação, entre a equipe do *benchmarking* e os consultores do IEL, buscando verificar, através de entrevistas, a consistência das respostas. Então, ocorre o processamento das informações, que consiste em a partir das respostas do questionário, quantificar os valores aos indicadores de prática e performance já pré-estabelecidos (Quadro 2.1).

<sup>8</sup> Segundo IEL (2003), “prática é o conjunto de ferramentas gerenciais e tecnológicas implantadas na empresa, como por exemplo: participação dos empregados, automação e sistema da qualidade ISO 9000.”

<sup>9</sup> Segundo IEL (2003), “performance são resultados mensuráveis obtidos pela empresa, tais como: rotatividade dos estoques, satisfação dos clientes e índice de defeitos.”

Quadro 2.1: Principais indicadores de prática e performance no ambiente de engenharia simultânea.

Ambiente	Indicadores de Prática	Indicadores de Performance
Engenharia Simultânea	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processo de desenvolvimento de produtos.</li> <li>- Projeto para produção e uso do produto.</li> <li>- Envolvimento multifuncional (interno).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Qualidade da produção inicial de um novo produto em relação ao especificado.</li> <li>- Tempo de introdução de um novo produto na produção.</li> <li>- Capabilidade do processo.</li> </ul>
Qualidade Total	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ferramentas para resolução de problemas.</li> <li>- Visão da qualidade.</li> <li>- Orientação ao cliente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produtividade.</li> <li>- Custos de refigo, retrabalho, Reciclagem.</li> <li>- Defeitos (interno).</li> </ul>

Fonte: Adaptação de ALVES, 2003.

A última etapa refere-se à análise dos resultados, sendo entregue formalmente para empresa um relatório detalhado. A base de dados empregada na comparação, para os resultados aqui apresentados, é referente a empresas européias do setor eletro-eletrônico.

A seguir, são apresentados de modo sintético os resultados referentes aos ambientes selecionados, do interesse da presente pesquisa, de engenharia simultânea e produção. É feito um comparativo entre os resultados obtidos pela empresa nos anos de 2000 e 2003, relativizado aos líderes europeus (Quadros 2.2 e 2.3).

Quadro 2.2: Comparação entre a empresa estudada e a média dos líderes europeus no ambiente de engenharia simultânea.

AMBIENTE DO BENCHMARKING	Empresa estudada – 2000	Empresa estudada – 2003	MÉDIA DOS LÍDERES EUROPEUS
Engenharia Simultânea PR %	80,0	80,0	86,0
Engenharia Simultânea PF %	53,3	40,0	69,3
Produção PR %	68	71	67
Produção PF %	62	59	62

Fonte: IEL (adaptação de ALVES, 2003).

PR = Prática

PF = Performance (desempenho)

Quadro 2.3: Comparação entre a empresa e os líderes europeus, em relação aos indicadores de performance no ambiente de engenharia simultânea.

PERFORMANCE DA PRODUÇÃO	Empresa estudada – 2000	Empresa estudada - 2003	LÍDERES EUROPEUS
Defeitos (internos)	1,0	1,0	3,1
Tempo de introdução de um novo produto (anos)	2	3	3,4
Qualidade da produção inicial	3	4	3,9
Representação (%)	40,0	53,3	69,3

Fonte: IEL/FIESC, 2003.

Percebe-se, a partir do Quadro 2.2, que as práticas de engenharia simultânea são consistentes, entretanto, a performance desse ambiente, comparada aos líderes europeus, estabelece uma oportunidade para melhoria. De modo mais detalhado, a performance do processo subjacente a ES, a produção, apresenta também a perspectiva de potencial de melhoria, e que também pode ser explicitado, de certa forma, no item “defeitos” (Quadro 2.3). Em se considerando que o ciclo de vida dos produtos é cada vez mais curto, entende-se que a degradação de performance da ES pode ter contribuído para um nível não satisfatório de defeitos.

Nesse contexto, infere-se que há a necessidade de organizar as informações advindas do “chão de fábrica”, para ajudar a melhor definir todos os parâmetros do produto, nas fases iniciais do projeto informacional, conceitual e preliminar, e que efetivamente possa resultar em competitividade para a organização, a partir destes resultados superiores de performance nos processos de desenvolvimento de produto e produção.

## 2.6 Comentários Finais

Este capítulo apresentou o processo de desenvolvimento do componente de plástico injetado normalmente utilizado em empresas do ramo eletro-eletrônico, em ambiente de engenharia simultânea, e sua interface com o processo de manufatura associado. De modo objetivo, houve evidências a partir do estudo de *benchmarking* apresentado que, em relação às práticas de engenharia simultânea, os resultados são similares às empresas correlatas na Europa. Contudo, o resultado referente à performance refletiu a necessidade de oportunizar melhores níveis de desempenho, principalmente em alguns indicadores do sistema de manufatura. Entende-se que o projeto tem papel crucial nesse objetivo, a partir de uma integração efetiva da manufatura com o desenvolvimento do produto.

Pelos mecanismos hoje adotados para aprovação do projeto do componente de plástico injetado e do molde, não existe possibilidade do reaproveitamento das informações geradas nessa avaliação para projetos futuros, além de não estar claramente e formalmente identificados os critérios para a realização dessa avaliação. Como proposta inicial, o conhecimento da manufatura, uma vez formalizado, será disponibilizado na base de conhecimento empregada para o projeto do componente e do molde; a seguir, este conhecimento transforma-se em ferramenta de análise do processo de projeto, visando suportar os processos de avaliação já existentes como o apresentado na Fig. 2.7. Dentro dessa visão, o objetivo é assegurar que a manufatura está sendo devidamente considerada no projeto de produto. Considera-se, como premissa, a disponibilidade de dados do “chão de fábrica” e a necessidade de trabalhar posteriormente essas informações em nível de projeto, com ferramentas de fácil aplicação nos marcos de avaliação do projeto.

A proposta do próximo capítulo é apresentar a revisão bibliográfica sobre os principais conceitos envolvidos no desenvolvimento de produto, com vista a fundamentar a proposição a ser estabelecida no Capítulo 5.

## CAPÍTULO 3

### O CONTEXTO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO E A ORIENTAÇÃO DO PROJETO PARA A PRODUTIVIDADE DA FÁBRICA

A proposta do presente capítulo é a apresentação da conceituação envolvida no desenvolvimento de produto. Inicia-se com a abrangência do processo de desenvolvimento de produto; na seqüência, evidencia-se a fase de projeto de produto e a relevância do emprego da metodologia de projeto. Então oportuniza-se, dentro desse contexto, a visão dos atributos do ciclo de vida do produto e da importância da revisão formal de projeto. A partir desse ponto, e considerando o contexto de desenvolvimento de componente de plástico injetado, o foco é direcionado para que a orientação do projeto seja a produtividade da fábrica, desdobrada nos atributos de projeto associados ao componente de plástico injetado e ao molde de injeção.

#### 3.1 Processo de Desenvolvimento de Produto

Romano (2003, p. 2) conceitua o processo de desenvolvimento de produtos como “a realização de uma série de atividades, que vão desde a detecção da oportunidade de negócio, até o lançamento do produto no mercado”. De outro modo, pode-se definir como um conjunto de atividades, ao longo do tempo, que são desenvolvidas, envolvendo diferentes setores da empresa, partindo de uma idéia abstrata e se materializando no produto a ser comercializado, o que gera um impacto direto na competitividade da empresa. A Fig. 3.1 sintetiza essa visão, com o processo de desenvolvimento de produto desdobrado em suas macro-fases e fases.

Para Clark; Wheelwright (1992 *apud* SILVA, 2001), a complexidade do desenvolvimento de produto decorre do fato que a sua realização requer o emprego coordenado de conhecimentos de diversas áreas de engenharia, por meio de diferentes conceitos gerenciais, através uma visão sistêmica e integrada do negócio e relacionando-se pessoas de várias áreas funcionais.

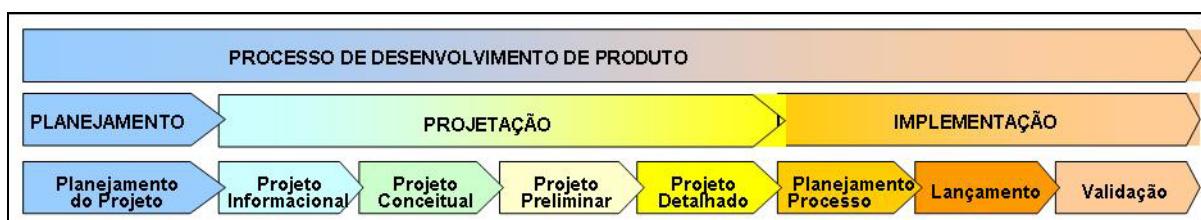


Figura 3.1: Processo de desenvolvimento de produto. (ROMANO, 2003).

Romano (2003) cita que a dificuldade para melhoria do processo de desenvolvimento de produto, dentro das organizações, é limitada principalmente pelos diferentes entendimentos que elas têm a respeito de como se desenvolve o referido processo.

### 3.2 Projeto de Produto

Dentro do contexto do processo de desenvolvimento de produto, Back (1983 *apud* OGLIARI, 1999) estabelece o projeto de produto (denominado de projetação) como um processo de transformação de informações.

Segundo Back (1983 *apud* OGLIARI, 1999), o projeto de produto possui alguns elementos essenciais, denominados de elementos metodológicos, que são apresentados esquematicamente na Fig. 3.2.



Figura 3.2: Elementos metodológicos de projeto de produto. (OGLIARI, 1999).

As informações de entrada são caracterizadas como o problema a ser resolvido ou situação de projeto, a matéria prima utilizada pelo projetista. Os processos constituem-se de ações e atividades estabelecidas e definidas pela metodologia de projeto, desdobradas em vários níveis de complexidade, para conversão do estado inicial em resultado do projeto (informações de saída). Esse processamento, suportado pelos meios de projeto, constitui a base teórica e prática, auxiliando o projetista na execução das atividades de projeto.

#### 3.2.1 Metodologia de Projeto

A metodologia de projeto fornece um corpo de regras e métodos a serem usados no projeto. A idéia é elucidar e direcionar, de modo sistemático, as atividades durante o desenvolvimento das atividades de projeto. Com poucas exceções, as regras e métodos de projeto são de natureza heurística, ou seja, ajudam a achar uma solução para um problema, mas não asseguram por si só que a solução sempre será encontrada (BACK, 1983).

Ogliari (1999, p. 44) define que

a metodologia de projeto constitui um sistema de métodos ou um corpo de conhecimento operacional cujos conceitos são incorporados pelos agentes de projeto e propiciam auxílio, na forma de procedimentos, diante de determinadas situações de projeto, em um dado ambiente de desenvolvimento de produto.

Visando estabelecer a relação entre metodologia e processo de projeto, Ogliari (1999) define que, muitas vezes, o processo de projeto ocorre sem o emprego efetivo da metodologia. Os elos de ligação são os agentes de projeto, no sentido de que eles são quem efetivamente definem pela utilização da metodologia no processo de projeto. Nesse contexto, apresentam-se duas configurações possíveis: a teórica, onde a fundamentação está alicerçada em métodos gerais de soluções de problemas e teoria de sistemas técnicos, de aplicação genérica; e a prática, onde a formação da metodologia é oriunda do aprendizado dos agentes de projeto, baseada nas repetições e experiências anteriores, em geral dedicadas a situações mais particulares do projeto.

Vernadat (1996 *apud* ROMANO, 2003) estabelece um panorama dentro das organizações, onde poucos processos são formalizados, os procedimentos existentes não explicam como e porque o processo foi planejado de determinada maneira; em suma, o conhecimento sobre as atividades fica quase que exclusivamente de posse das pessoas que as executam.

Para Ogliari (1999), uma complexidade encontrada na sistematização de processos e informações de projeto é a extensão dos domínios de engenharia, suas interfaces entre si e com outros domínios de conhecimento. Muitas vezes, essas informações não se encontram disponíveis num único local; além do fato de muitas delas são de propriedade do projetista (conhecimento tático), em função da sua experiência.

Para alguns sistemas, afirma Blanchard *et alli* (1995), de 60 a 70 % do custo do ciclo de vida do produto é definido ao término da fase do projeto preliminar. Evidencia-se, assim, a necessidade inerente do emprego de uma metodologia que assegure, numa primeira instância que o resultado do projeto seja adequado às necessidades dos usuários, e por outro lado, que o produto resultante seja custo efetivo.

### **3.2.2 Atributos do Produto no Ciclo de Vida**

Fonseca (2000) define os atributos do produto em geral como sendo um conjunto de características físicas, de forma, de material, de uso, de fabricação e muitas outras propriedades finais do produto.

Segundo o autor, alguns destes atributos visam satisfazer as necessidades relacionadas ao ciclo de vida do produto (como nas fases de fabricação, montagem ou descarte); outros são consequência dos próprios objetivos do projeto, contidos no problema de projeto. Considerando estes aspectos, o autor desenvolveu uma estrutura constituinte comum inerente aos produtos industriais, de maneira que possa listar um conjunto “universal” desses atributos. Na Fig. 3.3 está representada a estrutura de classificação dos atributos de produtos proposta por Fonseca (2000).

ATRIBUTOS GERAIS	ATRIBUTOS BÁSICOS	Funcionamento, Ergonômico, Estético, Econômico, Segurança, Confiabilidade, Legal, Patentes, Normalização, Modularidade e Impacto ambiental	
	ATRIBUTOS DO CICLO DE VIDA	Fabricabilidade, Montabilidade, Embalabilidade, Transportabilidade, Armazenabilidade, Comerciabilidade, Função, Usabilidade, Mantenabilidade, Reciclabilidade e Descartabilidade	
ATRIBUTOS ESPECÍFICOS	ATRIBUTOS DE MATERIAL	Geométricos Material (tipo), Cor e Peso (ou Massa)	Forma, Configurações, Dimensões, Acabamento, Ajustes, Textura e Fixações
	ATRIBUTOS ENERGÉTICOS	Forças, Cinemática (velocidade, aceleração, etc), Tipo de energia (térmica, elétrica, etc) e Fluxo (massa ou energia)	
	ATRIBUTOS DE CONTROLE	Sinais (elétricos, pneumáticos, etc), Estabilidade (dos sistemas) e Controle (dos sistemas)	

Figura 3.3: Classificação da estrutura de atributos de produto. (FONSECA, 2000).

Dentro de uma perspectiva histórica, Blanchard *et alli* (1995) cita que, no projeto, anteriormente predominava uma visão limitada de requisitos do sistema, quando comparada com o modelo de ciclo de vida integral para projeto do sistema, desenvolvimento e avaliação do processo. As características técnicas da performance do sistema recebiam ênfase no projeto do sistema, enquanto pouca atenção era direcionada para características de projeto associadas com o ciclo de vida do produto, como: confiabilidade, mantinabilidade, pós-venda, suportabilidade, fatores humanos, fatores ambientais, manufaturabilidade.

A partir de uma relação de causa-efeito, Blanchard *et alli* (1995) define que a maior parte do custo projetado ao longo do ciclo de vida de um produto tem relação direta com as consequências de decisões feitas nas fases iniciais do projeto. Essas decisões envolvem a utilização de novas tecnologias, a seleção de componentes e materiais, a seleção de processos de manufatura e políticas de manutenção, entre outros. Em geral, os custos associados com a operação e manutenção estão freqüentemente escondidos, porém os mesmos respondem por uma parcela significativa (até 75%) do custo de ciclo de vida de um dado produto. Em outro estudo, de Mobley (1990 *apud* BLANCHARD, 1995), conclui-se que entre 15 e 40 % (com

média de 28%) do custo total dos produtos acabados podem ser atribuídos às atividades de manutenção dentro da fábrica. Portanto, para êxito do projeto, é vital a consideração dos atributos do produto ao longo de seu ciclo de vida.

Segundo Matos (1999) a orientação do projeto para uma das diversas especialidades envolvidas no desenvolvimento do produto tem por objetivo a melhoria de características específicas do produto, tais como: projeto para o meio ambiente, projeto para manufatura e montagem, projeto para modularidade, projeto para manufaturabilidade, projeto para confiabilidade, entre outros. Nesse contexto, o autor preconiza que o projeto ideal é aquele que promove o equilíbrio adequado entre os diversos atributos em prol da eficácia e eficiência global do produto.

### 3.2.3 Revisão de Projeto

Ichida (1996, p. 3) conceitua a revisão de projeto, como o “julgamento e melhoria de um item na fase de projeto, revisando o projeto em termos de função, confiabilidade e outros atributos, com a participação dos especialistas no projeto, inspeção e implementação”. Ainda segundo este autor, o número e as fases do processo de desenvolvimento de produto e das revisões de projeto variam segundo a empresa, sua política desenvolvimento, e em função também do tipo de produto.

Na visão de Ichida (1996) e Blanchard *et alli* (1995), a revisão de projeto pode ser subdividida em duas categorias: informal e formal. A primeira é executada individualmente, sendo que sua efetividade varia de modo significativo. Já a revisão formal, para Ichida (1996), é estabelecida para as empresas que têm políticas e procedimentos definidos para o PDP. Nesse contexto, as revisões formais de projeto, segundo Blanchard *et alli* (1995), são programadas para pontos chaves<sup>10</sup> do processo de projeto. Nesse contexto, Ichida (1996) defende que a revisão formal é essencial para resultados de qualidade consistentes.

Para Blanchard *et alli* (1995), a revisão formal de projeto tem o objetivo de fornecer o mecanismo por meio do qual todos os membros responsáveis e interessados da equipe de projeto podem se reunir de modo coordenado, comunicar-se entre si e concordar com a abordagem recomendada.

---

<sup>10</sup> Também referenciado na literatura como *milestones* ou marcos de avaliação.

O desenvolvimento da revisão de projeto ocorre, segundo Ichida (1996), da seguinte forma:

- aquisição e compilação da informação;
- definição das metas;
- avaliação do projeto do produto;
- proposição das melhorias;
- definição das ações subseqüentes para correção;
- aprovação para próxima fase.

Ichida (1996) estabelece como aspectos fundamentais para a revisão de projeto: a utilização do conhecimento e tecnologia disponíveis da melhor maneira possível, e a resolução imediata dos problemas encontrados, não passando-os adiante para a próxima fase.

### **3.3 Processo Desenvolvimento de Componente de Plástico Injetado**

Várias pesquisas têm sido desenvolvidas com intuito de aperfeiçoar a metodologia de projeto particularizada para componente de plástico injetado. Neste sentido, pode-se citar alguns trabalhos já realizados no NEDIP/UFSC e CIMJECT: Ferreira(2002), Daré (2001), Ogliari (1999), Mascarenhas (2002), entre outros autores.

Por considerar o processo de projeto em ambiente de engenharia simultânea, integrando o projeto do componente de plástico injetado com o posterior projeto e fabricação do molde (no qual se estabelece um alto grau de inter-relação), será adotado, em nível de referencial teórico para a presente pesquisa, o modelo estabelecido por Daré (2001).

O ciclo de desenvolvimento proposto por Daré (2001), a partir do modelo de ciclo de vida apresentado por Ogliari (1999), desdobra-se em: projeto do componente, projeto e fabricação do molde e planejamento do processo. A Fig. 3.4 contextualiza este ciclo de desenvolvimento dentro do ciclo de vida do componente de plástico injetado.

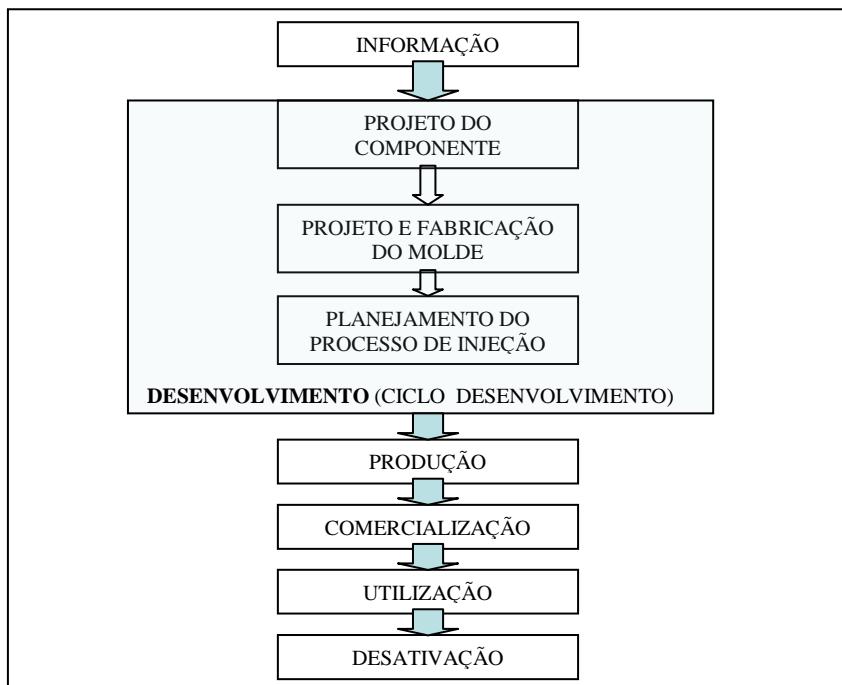


Figura 3.4: Ciclo de desenvolvimento do componente de plástico injetado. (DARÉ, 2001).

A importância relativa de cada uma das etapas do ciclo de vida é definida, segundo Crow (1997 *apud*, DARÉ, 2001), em função das diretrizes da empresa e produto. Para o autor, a equipe de projeto possui a incumbência de realizar a análise do ciclo de vida do componente, identificando necessidades, requisitos e parâmetros específicos a cada fase do projeto, e então definir as prioridades do projeto. Essa é uma forma de auxílio para o estabelecimento das especificações e atributos do projeto. Conforme comentado e justificado no Cap. 1, a produtividade da fábrica é um dos atributos mais importantes no ciclo de vida do componente de plástico injetado, sendo a integração do conhecimento no âmbito do desenvolvimento integrado do produto motivação maior para a realização da presente pesquisa. Visto de outro modo, o conhecimento dos especialistas da produção deve ser disponibilizado, de modo formal, nas etapas de que se realiza a aprovação final do projeto do componente plástico e do molde de injeção, de tal forma que esse conhecimento específico gerado suporte essas fases relacionadas, por meio de revisões formais de projeto. Assim, a partir da referência da Fig. 3.4, apresenta-se o detalhamento das fases “projeto do componente” e “projeto do molde”, apresentadas nas Fig. 3.5 e Fig. 3.6. Pelo escopo da pesquisa corrente, pormenoriza-se nessas figuras as etapas de “projeto preliminar do componente” e “projeto detalhado do molde” e suas respectivas tarefas, face à perspectiva de

integração do conhecimento da manufatura com o projeto, através de ferramentas de análise, respectivamente F1 e F2 (a serem discutidas mais detalhadamente no Capítulo 5).

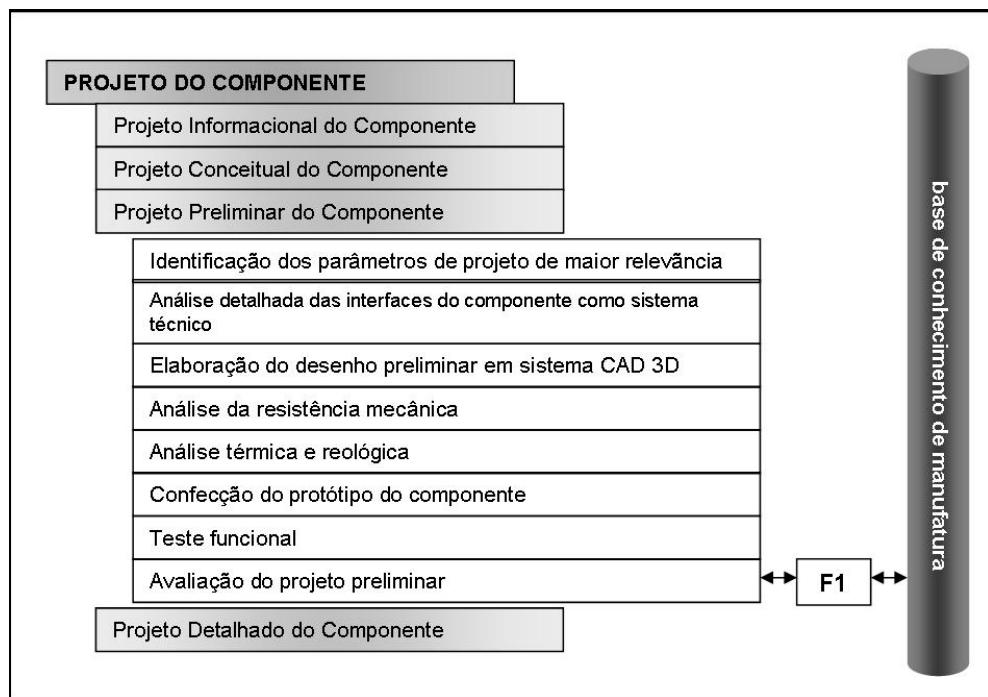


Figura 3.5: Projeto do componente de plástico injetado. (DARÉ, 2001).

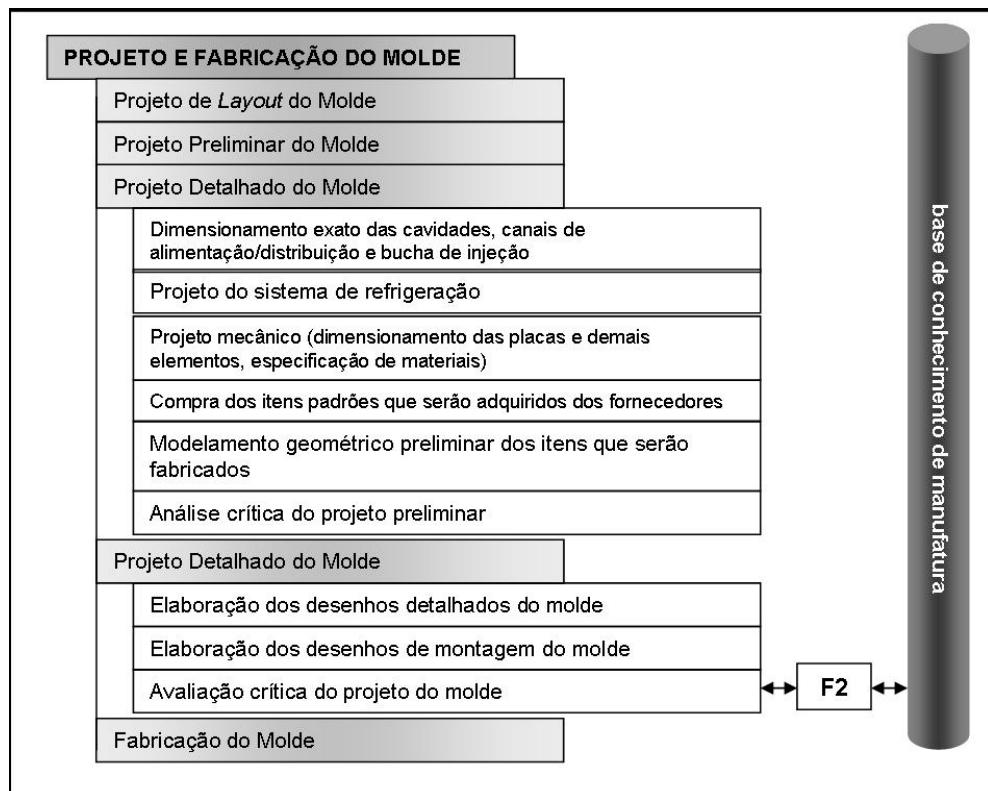


Figura 3.6: Projeto do molde de injeção. (DARÉ, 2001).

Em relação à mencionada integração da manufatura com o projeto, de modo geral e também no processo de desenvolvimento de componente plástico, a literatura explicita duas abordagens: revisões de projeto suportadas por listas de verificação e sistemas especialistas.

As revisões de projeto (conforme será referenciado posteriormente no cap. 5) geralmente são suportadas por listas de verificações. Para o projeto do molde de injeção, Sors *et alli* (2000) apresentam uma lista de verificação abrangente, avaliando os diversos sistemas componentes do molde. Já para o projeto do componente de plástico, Spoormaker (1995) menciona a importância de ser ter listas de verificação para suportar o desenvolvimento do componente plástico, a partir da análise de falhas e com foco na utilização do produto. Da mesma forma, nos sítios dos fabricantes de matérias-primas plásticas encontram-se disponíveis listas de verificação para auxiliar o desenvolvimento do projeto do componente plástico. De modo geral, o conteúdo destas listas dos fabricantes são regras práticas de projeto, associando requisitos geométricos e dimensionais ao material selecionado, bem como considerações de montagem e problemas que ocorrem nos moldes. Entretanto, há que se fazer uma ressalva; a maioria dos fabricantes explicita que estas listas não abrangem todos os potenciais problemas relacionados ao projeto do componente ou do molde.

Outra abordagem comumente encontrada na literatura é a de sistemas especialistas. Ogliari (1999) sintetiza a aplicação e desenvolvimento de alguns sistemas especialistas para suportar o projeto de componentes plásticos e molde de injeção, com focos diferenciados em termos de atributos. As aplicações desenvolvidas não detalham a forma de aquisição do conhecimento, geralmente mencionam somente a ferramenta aplicada para suportar a aquisição. Pode-se constatar isto no trabalho de Kimura *et alli* (2001); estes autores apresentam um modelo conceitual para aquisição e gestão do conhecimento, e sequencialmente, mencionam que a aquisição do conhecimento é feito pela interação entre engenheiros, consulta a dados e documentos técnicos. Outro aspecto associado à sistemas especialistas, e que deve ser relevado, concerne a necessidade de recursos e profissionais qualificados para realizar o seu desenvolvimento.

A partir desta revisão da literatura é que se identificou a lacuna, ainda que existam métodos e ferramentas claramente estabelecidos, no desenvolvimento de uma sistemática que pudesse efetivamente e de modo integrado e explícito, incorporar o conhecimento dos especialistas de manufatura no desenvolvimento do componente de plástico injetado. O ponto de partida para esta integração é, então, pensar na produtividade da fábrica como um dos atributos do projeto de produto. Nesse sentido, e considerando o contexto empresarial da empresa referenciada no Capítulo 2, a Fig. 3.7 explicita e desdobra a inter-relação que deve

existir entre projeto e produção, em nível de atributos de projeto do componente e do molde, para se assegurar à produtividade requerida na manufatura.

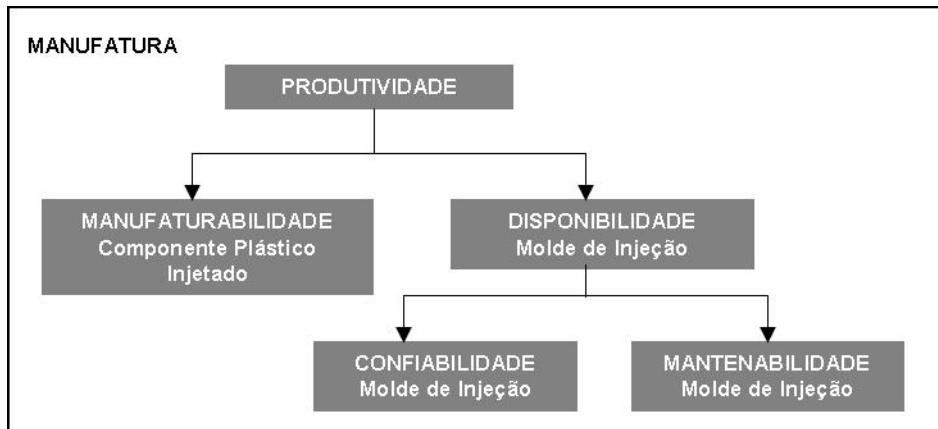


Figura 3.7: Produtividade da manufatura desdobrada em atributos de projeto.

Os conceitos envolvendo esses atributos de projeto requeridos para a produtividade da fábrica serão apresentados a seguir, na forma do projeto orientado para esses atributos.

### 3.4 Projeto para Manufaturabilidade

Vários autores têm apresentado estudos sobre a relevância da manufatura dentro do desenvolvimento do produto. De forma geral, a terminologia empregada varia em função do escopo de aplicação, derivado da necessidade específica do projeto de produto. Dessa forma, tem-se: projeto para montagem, projeto para fabricabilidade, projeto para manufatura e montagem, mas de modo geral, esses contextos mais específicos são abrangidos pelo denominado projeto para manufatura. No presente trabalho, adotar-se-a a terminologia empregada por Bakerjian (1992), denominada Projeto para Manufaturabilidade (DFM – *Design for Manufacturability*).

Parsaei (1993) define manufaturabilidade como a habilidade em manufaturar um produto para obter a qualidade e produtividade adequadas, enquanto otimiza o custo. A facilidade em manufaturar é parte inerente dessa definição, pois afeta todos esses fatores. Entende-se, portanto, que a manufaturabilidade tem uma relação direta com a performance dos sistemas produtivos (qualidade, custo, produtividade). Para Bakerjian (1992), o projeto determina a manufaturabilidade; ela não é determinada pela fábrica, não importando quão sofisticada ela seja.

Para uma melhor compreensão, sintetiza-se na Tab. 3.1 os principais aspectos organizacionais e estruturais relacionados à contextualização do DFM no PDP.

Tabela 3.1: Resumo dos principais conceitos do DFM.

Item	Conceito	Autor
Motivação	A motivação freqüente para iniciar a implementação do DFM pode ser "nunca mais essa experiência será repetida", em relação a um projeto que foi problemático. Para o autor, as lições aprendidas da manufatura geralmente são do tipo como não projetar, entretanto, isto necessita ser levado para a Engenharia por algum método mais organizado do que "ruído do chão de fábrica", que em algumas empresas é o único canal de retroalimentação.	Bakerjian (1992)
Comprometimento	o envolvimento dos engenheiros de manufatura e produção nas fases iniciais do projeto dá a eles o senso de propriedade e comprometimento em relação ao projeto de produto.	Corbett – Whitney (1991)
	fundamental os projetistas conhecerem os processos que serão usados para fabricar os produtos projetados; somente dessa forma eles estarão habilitados a escolher adequadamente um processo, estabelecer as tolerâncias corretas, selecionar um processo já existente na fábrica e minimizar as mudanças de set-up, entre outros.	Bakerjian (1992)
Patrocínio	o suporte da alta gestão é crucial, para assegurar o inteiro apoio da Engenharia ao DFM e utilizar efetivamente as recomendações para os projetos.	Bakerjian (1992), Corbett (1991)
Engenharia simultânea	o DFM requer uma equipe funcional cruzado, pela integração de conhecimento intrínseca. Define que DFM requer tanto a contribuição dos integrantes da equipe de desenvolvimento quanto de especialistas externos (por exemplo, fornecedores de molde e de matéria-prima). Muitas empresas usam o conceito de <i>workshop</i> estruturado, baseado em equipes, para facilitar a integração e compartilhamento de visões requeridas pelo DFM.	Ulrich (1995)
	a sistêmatica multi-disciplinar aumentará a criatividade no projeto, a partir das discussões dos trade-offs potenciais envolvidos entre os membros da equipe.	Corbett (1991)
	Se a iniciativa nasce na manufatura, a recomendação é que alguém no grupo conduza o trabalho. No entanto, a co-responsabilidade pela manufaturabilidade da Engenharia é fundamental, pois ela é efetivamente responsável pelo controle dos projetos; a efetividade acaba sendo maior, ao invés da percepção que DFM está sendo forçado pela manufatura.	Bakerjian (1992)
	Paradoxalmente, os projetistas são levados a pensar que as restrições de manufatura reduzem a liberdade do projeto (criação de conceitos). Da mesma forma, em se contemplando todas as restrições, pode-se pensar haverá atraso no tempo de projeto. A não consideração de todas as metas e restrições nas fases iniciais resulta em decisões arbitrárias e elimina soluções nas fases posteriores do projeto, aumentando o custo, em função de mudanças requeridas	Bakerjian (1992)
Fase do PDP	O DFM inicia na fase de projeto conceitual, quando funções e especificações estão sendo determinadas. Custo é um dos critérios para decisão do conceito a ser adotado, embora nesse contexto a estimativa que ora é apresentada é subjetiva e aproximada.	Ulrich (1995)
	A melhor etapa para praticar os conceitos DFM é no projeto preliminar, pois as mudanças podem gerar alterações com baixo ou nenhum custo. A medida que o projeto finaliza e aproxima-se da produção, os custos de alterações tornam-se proibitivos e os benefícios do DFM podem ser perdidos.	Bakerjian (1992)

Em se discutindo a eficiência das operações, Bakerjian (1992) entende que a boa manufaturabilidade tem sido requerida não somente pela questão da compatibilidade com a fábrica; mas principalmente porque o ambiente competitivo tem colocado mais pressão sobre

custos, *time to market*, qualidade e entrega. Neste sentido, a contemplação das necessidades da manufatura no projeto é crucial, dentro da perspectiva do ciclo de vida do produto. Nesta direção, este autor elenca os diversos objetivos a que se propõe o DFM:

- A experiência é documentada, facilitando a acumulação e distribuição do conhecimento. Considera-se um meio efetivo de evitar problemas de manufatura conhecidos;
- O novo conhecimento é sistematizado, possibilitando a sua publicação posterior aos interessados;
- Todos seguem a mesma diretriz para que o projeto de produto conte a manufaturabilidade do mesmo.

Para sua implementação e prática, Bakerjian (1992) explicita que o DFM é composto de muitas ferramentas, conforme representação da Fig. 3.8. A aplicação depende do contexto organizacional, portanto, DFA não é requerido para uma empresa que não projeta e produz montagens.

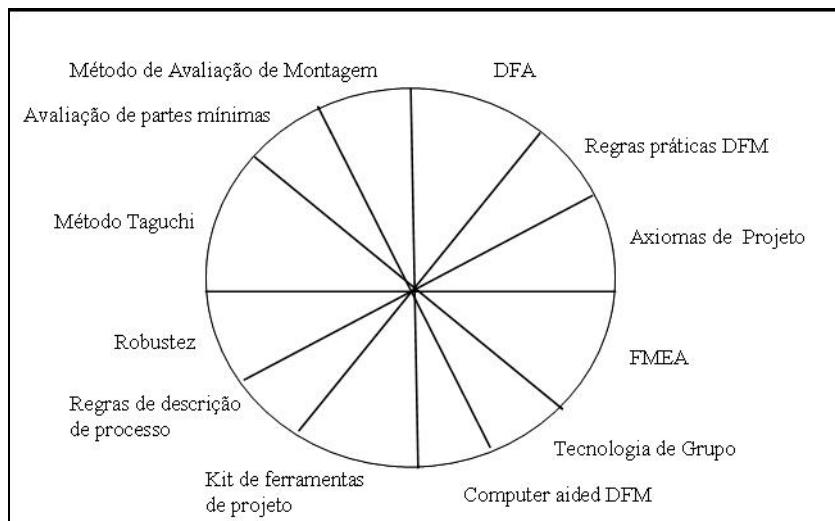


Figura 3.8: Ferramentas DFM. (BAKERJIAN, 1992).

Bakerjian (1992) cita várias fontes de informação para o DFM: a opinião e participação dos colaboradores, *feedbacks* da produção, *feedbacks* da qualidade, informação de campo, fabricantes de máquinas e fontes externas a empresa (livros, cursos, etc...). Entretanto, não descreve como é feita a sistematização dessas informações obtidas, ou melhor, se são e como são utilizadas ferramentas para a formalização desse conhecimento.

### 3.5 Projeto para Disponibilidade

A fase final do desenvolvimento do componente de plástico injetado consiste no projeto, fabricação e validação do molde de injeção. Como a produção do componente de plástico depende do ferramental, é condição *sine qua non* a disponibilidade do mesmo, ao longo de sua vida útil. Nesse sentido, propõe-se um entendimento acerca dos conceitos e aspectos da disponibilidade, a serem contempladas no projeto do molde.

Na definição da norma ABNT (1994 *apud* Matos, 1999), a disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar uma função em um dado instante ou intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, mantinabilidade e suporte logístico, e supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados. Ou seja, a disponibilidade reflete a capacidade de utilização de um item que pode ser o componente, um sistema mecânico, um equipamento, ou o conjunto desses.

Segundo Lafraia (2001) e Blanchard *et alli* (1995), a disponibilidade pode se expressa matematicamente como uma relação entre o tempo médio entre falhas (MTBF) e o tempo médio de reparo (MTTR), conforme a equação a seguir:

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad 3.1.$$

A ABCQ (1995 *apud* SOUZA, 1999) define o tempo médio entre falhas (MTBF) como um índice associado à confiabilidade do produto, enquanto o tempo médio de reparo (MTTR) está correlacionado a mantinabilidade. Nesse sentido, explorar-se-á, a seguir, os atributos confiabilidade e mantinabilidade como um desdobramento do atributo disponibilidade.

#### 3.5.1 Projeto para Mantinabilidade

Para Blanchard *et alli* (1995), a mantinabilidade de um produto/sistema é uma característica inerente do projeto. Mantinabilidade é a habilidade de um item ser mantido, onde a manutenção constitui uma série de ações necessárias para restaurar o estado operacional efetivo de um item. Mantinabilidade é parâmetro de projeto, manutenção é requerida como uma consequência do projeto.

Matos (1999) cita que a mantinabilidade, como uma característica multi-dimensional do projeto, pode ser expressa em termos de inúmeros fatores como: frequências, tempos de manutenção, fatores de carga de trabalho, custos de manutenção e fatores de suporte logístico.

Estas medidas facilitam a avaliação quantitativa e qualitativa da mantenabilidade do produto, objetivando influenciar o projeto e a manufatura/produção de sistemas que sejam efetivamente e eficientemente manuteníveis.

Bakerjian (1992), em relação ao projeto para mantenabilidade, cita entre outros aspectos, que a empresa deve estabelecer um mecanismo de acumular e aplicar as “lições aprendidas” de problemas de mantenabilidade. Essas “lições aprendidas” podem ser úteis no sentido de evitar incorrer nos mesmos erros de projeto. No entendimento do autor, na maioria das empresas essas questões são feitas tardiamente, após o projeto. A proposta apresentada é que a equipe de manutenção deve ser envolvida para compartilhar seus requisitos e interesses.

Para Magrab (1997) um projeto para mantenabilidade efetivo minimiza: as paradas para atividades de manutenção, falhas induzidas pela manutenção, tempo de acompanhamento dos técnicos nas tarefas de manutenção, requisitos logísticos para peças sobressalentes, ferramentas e pessoas, danos no equipamento resultantes de manutenção, acidentes de trabalhos resultantes de ações de manutenção, e custos de manutenção.

As principais características consideradas no projeto para mantenabilidade são: padronização, montagem funcional, intercambiabilidade, acessibilidade e isolamento da falha, Pradhan (1996 *apud* MATOS, 1999).

A mantenabilidade deve ser incorporada à medida que transcorrem as fases do processo de projeto, na visão de Blanchard *et alli* (1995). As características de mantenabilidade devem ser consideradas quando da realização de estudos de *trade-offs* do projeto, a informação e documentação do projeto devem ser revistas para assegurar que a mantenabilidade é adequadamente refletida na configuração de projeto proposta, entre outros. Para a realização desses objetivos, vários métodos analíticos, listas de verificação e ferramentas são utilizadas para auxiliar o acompanhamento de análises (*trade-offs*), modelagem e predição de mantenabilidade, análise de tarefas detalhadas, revisão de projeto, e conclusão de teste de demonstração de mantenabilidade.

Matos (1999) entende que é fundamental a implementação de uma sistemática que assegure o retorno da informação ao projetista, referente ao desempenho da operação e manutenção dos equipamentos. Isso possibilita o estabelecimento de questionamentos criteriosos, para identificação dos pontos passíveis de melhoria dos índices de mantenabilidade ao longo do ciclo de vida, que refletirão nos resultados de disponibilidade, segurança e custos operacionais.

### 3.5.2 Projeto para Confiabilidade

Segundo Hawkins; Woollons (1996 *apud* Sakurada, 2001), a confiabilidade vem se estabelecendo como uma parte integrante do processo de projeto de sistemas complexos, em aplicações de alto custo e alto risco. As alterações dos projetos em suas fases iniciais se dão de uma maneira mais simples e flexível. Além disso, a maior parte do custo final do produto é ditada na fase de projeto.

Já para Souza (1999), são necessários investimentos expressivos para obter qualidade e confiabilidade do produto. No entanto, a não qualidade e a não confiabilidade normalmente resultam em custos muito maiores.

A definição de confiabilidade, feita por Dias (1997), estabelece que é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo. Então, a partir dessa definição, entende-se que existe o relacionamento de 4 fatores principais: probabilidade, comportamento adequado, período de uso (ou vida) e condições de uso.

Para Blanchard *et alli* (1995), esses 4 fatores são críticos para determinação da confiabilidade do produto. Sendo a confiabilidade um fator chave para determinar a freqüência e prioridades de manutenções, esse autor define que toda análise, predição e modelagem da confiabilidade constituem na maior entrada para o projeto para a mantenabilidade.

Tendo a probabilidade de falha, pode-se, conforme Sakurada (2001), determinar a confiabilidade, dado que:

$$R + Q = 1$$

3.2

onde R representa a confiabilidade do componente ou sistema e Q a não-confiabilidade ou também chamada de probabilidade de falha.

A confiabilidade pode ser expressa, segundo Blanchard *et alli* (1995) em termos das métricas: tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio para falhar (MTTF), ou tempo médio entre manutenções (MTBM).

Condra (1993 *apud* SANTOS, 2001), sintetiza a classificação de atividades que garantem a confiabilidade dos produtos. Inicialmente, a classificação é feita de acordo com a expectativa do mercado, que pode ser consumidor, industrial ou o mercado militar e aeroespacial. A outra categorização proposta está relacionada à ação sobre o produto, que

permite que as atividades de garantia da confiabilidade sejam classificadas em: métodos para medir e prever falhas, métodos para acomodar falhas e métodos para prevenir falhas. Para esse autor, esse conjunto de atividades representa filosofias distintas para lidar com a falha e definem o denominado enfoque da confiabilidade.

Nesse sentido, o enfoque da confiabilidade pode estar fundamentado ou não na existência de dados estatísticos. Segundo Condra (1993 *apud* SANTOS, 2001), o enfoque desenvolvido a partir dos dados estatísticos preocupa-se com as taxas de falhas globais independentemente dos mecanismos de falha envolvidos ou das causas que levaram o produto à falha. Por outro lado, diante da não existência de dados estatísticos, são realizadas inferências no projeto de produto, em relação aos mecanismos de falhas individuais e suas distribuições no tempo, através de ensaios e simulações que indiquem as causas da falha no nível do componente.

### 3.6 Comentários finais

Nesse capítulo, procedeu-se a revisão bibliográfica referente aos conceitos envolvidos com o processo de desenvolvimento de produto, com intuito de estabelecer referências para a estruturação da sistemática a ser proposta. Em função do contexto da empresa apresentada no capítulo 2, alguns pontos devem ser salientados.

Como foi comentado, o processo de projeto muitas vezes ocorre sem a utilização de uma metodologia de projeto, sendo essa decisão associada aos agentes de projeto, ou até pela forma que se encontra estruturado o PDP, por exemplo, o ambiente de desenvolvimento fragmentado encontrado no setor de transformação de termoplásticos. Entretanto, entende-se que a falta de emprego da metodologia de projeto não inviabiliza o uso dos meios de suporte, como por exemplo, a realização de revisão de projeto nos marcos de avaliação do processo de projeto.

Entre os diversos atributos que devem ser atendidos ao longo do ciclo de vida funcional do produto, deve-se elencar aqueles de maior importância, dentro desse contexto. Para o caso específico da pesquisa, a maior preocupação reside na relação existente entre ações de projeto e performance da manufatura. Dessa forma, definiu-se que a produtividade da fábrica será considerada como um “atributo” do projeto, uma vez que o projeto deve contemplar: a confiabilidade e manutenibilidade do molde de injeção, conjuntamente com a manufaturabilidade do componente de plástico injetado.

Para o próximo capítulo, será realizada a revisão bibliográfica acerca das ferramentas habitualmente empregadas no PDP. Deste universo disponível, serão selecionadas aquelas

consideradas adequadas a suportar a proposta dessa pesquisa, na sistematização do conhecimento da manufatura e na revisão formal de projeto.

## CAPÍTULO 4

### FERRAMENTAS PARA REVISÃO FORMAL DE PROJETO E PARA AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO DA MANUFATURA

O objetivo desse capítulo é apresentar, dentro da perspectiva desta pesquisa, o conceito das ferramentas adequadas para a revisão formal do processo de projeto e para a sistematização (aquisição, formalização, organização e disponibilização) do conhecimento da manufatura para a referida revisão.

No desenvolvimento do produto, a ferramenta selecionada deve suportar o processo decisório nos marcos de avaliação das fases específicas “engenharia de produto” e “projeto de molde”, explicitadas na Fig. 2.7. Por outro lado, a aplicação das ferramentas no ambiente fabril tem por intuito captar e formalizar o conhecimento da manufatura a ser considerado no projeto do componente de plástico injetado e do molde de injeção.

#### 4.1 O Uso de Ferramentas no Processo de Desenvolvimento de Produto

Para Ferreira e Toledo (2001), a grande variedade de uso de ferramentas no PDP objetiva, em nível estratégico, maximizar a performance desse processo, uma vez que entende que o mesmo é fator de vantagem competitiva para a organização. Sob o ponto de vista de gestão do PDP, a utilização das ferramentas busca suportar a execução e controle das atividades relacionadas ao desenvolvimento de produto.

Existem muitas ferramentas disponíveis para emprego nas fases do desenvolvimento do produto. Em uma pesquisa realizada na indústria de autopeças, Ferrari e Toledo (2001) identificou as ferramentas e metodologias de maior utilização e que propiciam resultado efetivo, em nível de produtividade, prazo de desenvolvimento e qualidade: FMEA, *Benchmarking*, Engenharia Simultânea, Delineamento de Experimentos, 7 ferramentas gerenciais da qualidade, Projeto para Manufatura, Análise de Valor, Tecnologia de Grupo, QFD, Taguchi e listas de verificação.

Face à finalidade da pesquisa corrente, de validação do projeto do produto e do molde, suportada pelo conhecimento da manufatura (através de sua sistematização), as ferramentas selecionadas devem propiciar caráter de prevenção de erros e falhas que ocorrem na manufatura, em função de decisões errôneas no processo de projeto. Diante disso, o emprego do conhecimento da manufatura nas fases iniciais do desenvolvimento estabelece a

perspectiva de prevenir a ocorrência de problemas que afetem a produtividade do sistema de manufatura. A partir desse critério estabelecido, desdobra-se a seleção de ferramentas em dois focos distintos, porém interligados: um destinado a atender o processo de projeto, e outro para aquisição do conhecimento da manufatura. De outro modo, os problemas que ocorrem na manufatura, cuja causa está diretamente associada ao projeto de produto, devem ser identificados, e em um segundo momento, eliminados ou minimizados, já partir de ações ou correções no projeto de produto.

No processo de projeto, a ferramenta selecionada é a lista de verificação, dada a orientação estabelecida nesse trabalho, de focar e suportar o processo decisório no processo de projeto. A lista de verificação propicia que o conhecimento nela formalizado, oriundo da manufatura, seja utilizado na revisão de projeto.

Para a aquisição do conhecimento da manufatura, apropria-se de uma ferramenta habitualmente utilizada no PDP, destinada a análise e tratamento de falhas – FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*). Pela detecção da necessidade de realizar uma abordagem funcional na aplicação dessa ferramenta, também foi escolhido o FAST (*Function Analysis System Technique*), sendo esta oriunda da Análise de Valor. Outra ferramenta auxiliar que será utilizada é o diagrama de Ishikawa, destinada a sistematizar a identificação das causas das falhas, no decorrer da aplicação do FMEA.

A seguir, serão apresentados os principais conceitos envolvidos em relação à aplicação dessas ferramentas, de tal modo que possa suportar o seu emprego na proposição a ser apresentada no Capítulo 5.

## 4.2 Lista de Verificação

Ichida (1996) apresenta uma pesquisa, realizada pela JUSE em 1987, junto a empresas japonesas, onde a grande maioria (82%) declarou a utilização de listas de verificação na revisão de projeto. O autor entende que a razão desse resultado deve-se ao fato da lista de verificação ser uma das melhores ferramentas de organização para tarefas detalhadas e complexas.

Para Blanchard *et alli* (1995), a lista de verificação é uma ferramenta suporte à verificação, durante o processo de projeto, para assegurar que as questões que concernem a mantinabilidade sejam devidamente consideradas. Sua utilização é efetivada nas revisões de desenhos, *layouts*, dados eletrônicos, entre outros.

Bakerjian (1992) estabelece que listas de verificação são como documentos escritos (ou software equivalente), que se transformam em parte de procedimentos formais, sendo parte integrante do desenvolvimento de produto de cada empresa, conforme exemplo apresentado na Fig. 4.1, onde é verificado se projeto atende cada um dos itens avaliados. Desse modo, a maneira mais freqüente de organizar e categorizar o conhecimento adquirido, formalizando-o através de regras e recomendações, é a lista de verificação. O autor considera que a violação de regras tem severo impacto, enquanto a recomendação é uma orientação para alcançar um dos objetivos citados anteriormente. A sugestão é que as regras devem ser expressas de maneira quantitativa (“maior do que 2 mm”); por sua vez, as recomendações usam expressões de natureza qualitativa (“evitar”, “maximizar”, “minimizar”).

<input checked="" type="checkbox"/>	Partes comuns
<input checked="" type="checkbox"/>	Formas simétricas
<input checked="" type="checkbox"/>	Montagem por cima
<input checked="" type="checkbox"/>	Partes substituíveis independentes
<input checked="" type="checkbox"/>	Acesso para partes e ferramentas
<input checked="" type="checkbox"/>	Ferramentas comuns

Figura 4.1: Lista de verificação. (BAKERJIAN, 1992).

Dessa forma, uma das vantagens da aplicação de listas de verificação é que elas revelam o número de violações que foram cometidas. Isso possibilita, numa primeira instância, a revisão e correção no projeto da violação, caso contrário, a manufatura prepara-se para a violação, quando for iniciada a produção.

Para Ichida (1996), não existe um formato prescrito para a lista de verificação, mas a característica mais importante é sua compreensão. A recomendação é que a lista de verificação apresente todos os itens alvos, em nível suficientemente detalhado, para garantir sua conclusão. Por outro lado, esse detalhamento pode tornar a lista de verificação pouco prática; minimiza-se essa possibilidade através da limitação do escopo e da aplicação, e da criação de sub-listas para cada categoria. Nesse contexto, Blanchard *et alli* (1995) propõe uma lista de verificação extensa, destinada à revisão do projeto centrada na mantinabilidade, subdividida em várias categorias (generalidades, embalagem, acessibilidade, pontos de testes, cabos, conectores, entre outros) com os seus respectivos pontos a serem verificados.

Ichida (1996) estabelece que a lista de verificação deve ser ampla e detalhada o suficiente, sem tornar-se muito extensa. O mais importante é identificar os itens essenciais, sem os quais a lista de verificação perderia a sua importância. O autor comenta, como as duas melhores fontes para identificação dos itens essenciais, o FMEA e a experiência dos especialistas.

As listas de verificação devem ser publicadas, distribuídas e usadas para cada produto, de acordo com Bakerjian (1992). Para esse autor, outro aspecto salutar concerne a validação do conteúdo dessas listas, e da sua revisão periódica, para assegurar a sua permanente atualização.

#### 4.3 Diagrama FAST

O diagrama FAST (*Function Analysis System Technique* – técnica de análise funcional de sistemas), foi desenvolvido a partir de 1960, como ferramenta de suporte para realização de análise funcional, no contexto do projeto, para a Engenharia de Valor. Dufor (1996) comenta que a partir da estrutura funcional criada, pretende-se esclarecer e determinar as funções que o produto deve possuir, definindo a necessidade para qual o produto foi criado, segmentando e valorizando no produto as diferentes funções que o compõem. Essa ferramenta disponibiliza visualmente todas as funções orientadas ao projeto do produto de uma maneira organizada, tornando suas relações e importâncias relativas compreendidas. Para Csillag (1995), durante a confecção do diagrama FAST o grupo de analistas é forçado a obter informações sobre os detalhes faltantes do produto.

A construção do diagrama é relativamente simples: parte-se da função básica do produto e através da pergunta “Como?”, desdobra-se a mesma em funções secundárias. No sentido inverso, a pergunta “Por que?” propicia que um dado conjunto de funções de nível secundário atenda as exigências da função hierarquicamente superior. Em nível de importância, as funções são organizadas, no sentido vertical, de cima para baixo. As funções ora estabelecidas no diagrama FAST visam e devem atender os diferentes atributos (básicos, ciclo de vida, material, energia e controle) do projeto de produto, conforme comentado no item 3.3.2.

A Fig. 4.2 demonstra a visualização do FAST, com a devida hierarquização das funções. Para o projeto de um retro-projetor de imagem, a função principal é “retroprojetar a imagem”. Quando se pergunta “como retro-projetar a imagem?”, se tem como respostas as três funções secundárias apresentadas no diagrama: “gerando luz”, “projetando a imagem” e

“mantendo o equilíbrio”, sendo que “gerar luz” é a mais importante das três funções<sup>11</sup>. A caracterização das funções estabelecidas nesse nível pode ser considerada superficial, conforme a circunstância; então, faz-se necessário um novo desdobramento. Portanto, para função “gerar luz”, o emprego da pergunta “como?” resulta na função “transformar energia”.

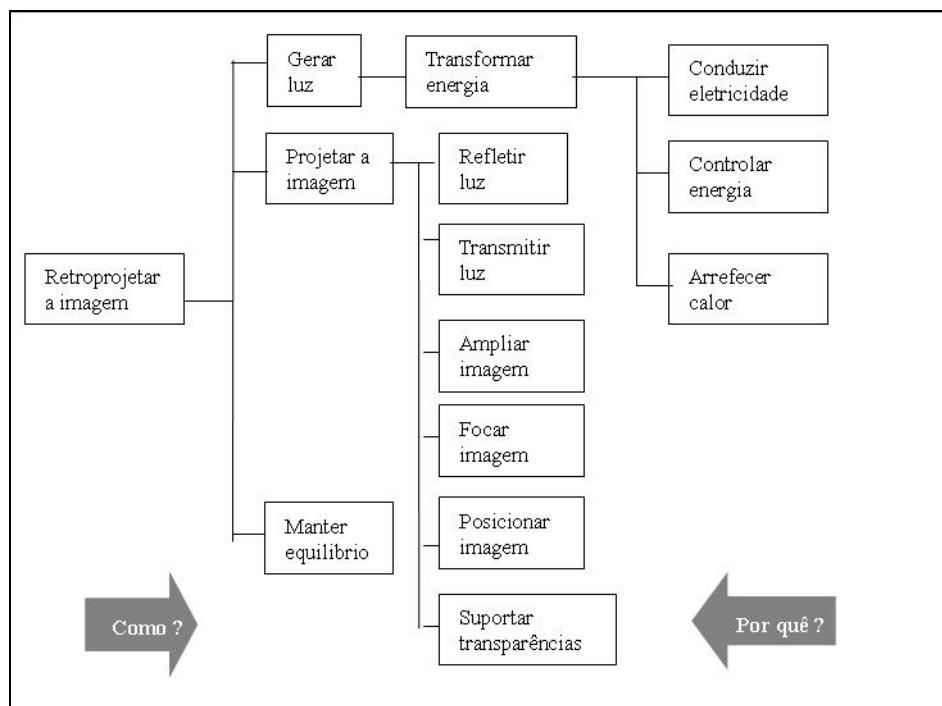


Figura 4.2: Diagrama FAST de um retroprojetor. (LAFRAIA, 2001).

Por outro lado, o emprego da pergunta “por quê?” auxilia a estabelecer a consistência da estrutura funcional criada. Em se perguntado “por quê?”, “gerar luz”, “projetar a imagem” e “manter o equilíbrio”, a resposta resultante é “retroprojetar a imagem”. Logo, as três funções secundárias devem coexistir para que o produto possa desempenhar a função do nível hierárquico superior, nesse caso, “retroprojetar a imagem”.

Dentro desse contexto, o emprego interativo das perguntas “como?” e “por quê?” propicia que, durante a construção do FAST, alterações (inclusão, exclusão ou mudança de descrição) possam ocorrer.

<sup>11</sup> Para a valorização das funções, pode-se empregar outra ferramenta de Análise de Valor: o diagrama de Mudge. Esse diagrama consiste de confrontar todas as funções contra elas mesmas, estabelecendo uma visão de prioridade para as funções analisadas, do ponto de vista do valor percebido pelo cliente.

Para o presente trabalho, o diagrama FAST foi visualizado como ferramenta suporte à análise funcional, propiciando um mapeamento consistente e hierarquizado das funções do produto/processo que serão submetidos à investigação das falhas, através de FMEA.

## 4.4 FMEA

### 4.4.1 Conceito e Objetivos

Para Sakurada (2001) e Lafraia (2001), o FMEA é uma técnica analítica, estruturada e lógica, visando assegurar que, dentro dos limites pré-estabelecidos, os modos potenciais de falha, suas causas e seus efeitos associados sejam considerados no projeto de um produto, sistema ou processo.

Como resultado, Lafraia (2001) e Stamatis (1995) concordam que a análise final do FMEA, a partir da identificação das falhas, resulta em ações corretivas, classificadas de acordo com sua criticidade, para eliminar ou compensar os modos de falhas e seus efeitos. Quando a criticidade é considerada, FMEA muitas vezes é referenciada como FMECA (*Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis*). Não existe uma terminologia consensual na literatura: Palady (1997) e Stamatis (1995) usam o termo FMEA de modo genérico, para ambas as aplicações. Outros, como a norma MIL STD 1626<sup>a</sup> e Mohr (1994) fazem essa distinção. Mohr (1994) estabelece a diferença entre FMEA e FMECA da seguinte maneira:

$$\text{FMECA} = \text{FMEA} + C \quad 4.1$$

Onde,

$$C = \text{Criticalidade} = (\text{Ocorrência}) \times (\text{Severidade}) \quad 4.2$$

### 4.4.2 Desenvolvimento do FMEA

O desenvolvimento do FMEA pode ser subdividido em duas etapas: o planejamento e a execução.

No planejamento, são definidas e detalhadas todas as necessidades para assegurar o êxito na aplicação da ferramenta, tais como: formação da equipe, material de apoio, reuniões, treinamento da equipe de trabalho, seleção do formulário FMEA, entre outros.

Para a execução do FMEA, existe uma série de recomendações a serem seguidas, para que a condução e o desenvolvimento do trabalho sejam produtivos.

Será apresentada, na seqüência, a recomendação da literatura em relação a essas duas etapas.

#### **4.4.2.1 Planejamento do FMEA**

Segundo Palady (1997), a fase de planejamento é de vital importância, antes de iniciar a aplicação do FMEA. A finalidade do planejamento é, além de definir prazos e recursos requeridos para execução, dirimir todas as dúvidas possíveis em relação a aplicação da ferramenta, tais como: abrangência da aplicação, tipo de FMEA, abordagem para descrição do modo de falha, utilização das escalas de mensuração, classificação de ocorrência e detecção pelo modo ou causa da falha, diagramas e desenhos requeridos, entre outros.

A formação da equipe de trabalho deve ser considerada no planejamento. Neste sentido, não existe consenso; para Sakurada (2001) e Breyfogle III (1999), a ferramenta pode ser utilizada por um engenheiro ou equipe. Contrariamente, Palady (1997) critica o uso individualizado, estabelece como premissa de aplicação da ferramenta o trabalho em equipe. Stamatis também critica o uso individual; na visão do autor, a ferramenta é um catalisador para estimular o intercâmbio de idéias entre as funções (áreas) afetadas da organização.

Segundo Stamatis (1995), a formação da equipe para desenvolvimento do FMEA está associada ao conhecimento requerido para o problema específico. Dessa forma o autor recomenda que a equipe seja multi-disciplinar e multifuncional. Nessa mesma direção, Sakurada (2001) complementa que os especialistas selecionados devem ter amplo domínio/conhecimento sobre o processo/produto a ser analisado. Em relação ao tamanho da equipe, Breyfogle III (1999) e Stamatis (1995) recomendam entre 5 à 9 pessoas no FMEA, inclusive com a presença de fornecedores, se necessário.

Sakurada (2001) explicita a necessidade de ter na equipe um coordenador que possua conhecimento de FMEA para conduzir os trabalhos, da mesma forma que releva a importância da equipe ter entendimento sobre os conceitos envolvidos. Dessa forma, existe a necessidade de designação, na fase de planejamento, de pelo menos um especialista, responsável pela condução do trabalho e da realização/qualificação da equipe, caso não se tenha o conhecimento prévio da ferramenta.

Outro ponto a ser abordado pelo planejamento é o levantamento e disponibilização do material com informações do produto/processo, tais como: diagrama funcional de blocos, especificação técnica do produto, fotografias, desenhos esquemáticos, entre outros. A finalidade desse material é auxiliar, a partir da consulta do mesmo, durante a execução do FMEA.

Para assegurar produtividade do trabalho, Stamatis (1995) recomenda também o planejamento das reuniões para desenvolvimento do FMEA. Entre os aspectos mais importantes para esse planejamento, citado pelo autor, pode-se elencar: disponibilidade dos membros da equipe, reserva do local, condições do espaço físico, duração das reuniões, pauta e objetivos das reuniões.

No planejamento da execução do FMEA, deve-se verificar a possibilidade de integração com outras ferramentas. Stamatis (1995) cita que o diagrama de causa-efeito (diagrama Ishikawa) pode ser utilizado de modo a complementar o desenvolvimento do FMEA para auxiliar a identificação das causas raiz.

O planejamento também deve definir a forma de registro (automatizado ou manual), tipo de formulário FMEA e o responsável pelo mesmo. Segundo Stamatis (1995), os *softwares* permitem reduzir os erros na entrada das informações, além de facilitar a correção e atualização do FMEA; entretanto, caso não esteja disponível, o autor comenta que o uso de uma planilha eletrônica é suficiente. Na literatura encontram-se vários tipos de formulários FMEA; um exemplo é a norma *Military Standard 1626<sup>a</sup>* que apresenta três propostas (SOUZA,1999). Adotar-se-á, como referência para esse trabalho, o modelo apresentado Sakurada (2001), adaptado da SAE (Fig. 4.3). Os conceitos associados à utilização do formulário FMEA, fartamente localizados na literatura disponível sobre o assunto, são sintetizados na Tab. 4.1.

Sistema: _____		Participantes: _____			Página: _____ de _____		
					Data de início: _____		
					Data de revisão: _____		
Componente	Função	Modo de falha potencial	Efeitos potenciais de falha	C l a s s	Causas potenciais / Mecanismos de falha	Ações recomendadas	Responsabilidade & data de conclusão limite

Figura 4.3: Formulário FMEA. (SAKURADA, 2001).

Tabela 4.1: Conceitos do FMEA.

Item	Conceito
Modo de Falha	é "a forma do defeito", "maneira na qual o defeito se apresenta", "maneira com que o item falha ou deixa de apresentar o resultado desejado ou esperado", "é um estado anormal de trabalho, a maneira que o componente em estudo deixa de executar a sua função ou desobedece as especificações".
Efeitos da Falha	são os resultados produzidos quando estes vêm a ocorrer, são as consequências do modo de falha; o efeito é a forma ou maneira de como o modo de falha se manifesta ou como é percebido em nível de sistema.
Causas da Falha	os motivos que levaram o modo de falha a ocorrer, podem estar nos componentes da vizinhança, fatores ambientais, erros humanos, ou no próprio componente.
Severidade	índice que avalia, quantitativamente, o impacto dos efeitos da falha, a gravidade dos efeitos.
Ocorrência	índice que avalia as chances (probabilidade) da falha (modos ou causas) ocorrer.
Detecção	valor que mostra a eficiência dos controles de detecção da falha (modo de falha ou causa do modo de falha).
Número Prioridade Risco (RPN)	é a multiplicação dos fatores Severidade, Ocorrência e Detecção.

Fonte: SAKURADA, 2001.

#### 4.4.2.2 Execução FMEA

Sakurada (2001) demonstra em sua pesquisa que existe variação, entre os diferentes autores, na forma de execução do FMEA, a partir da experiência prévia de cada um.

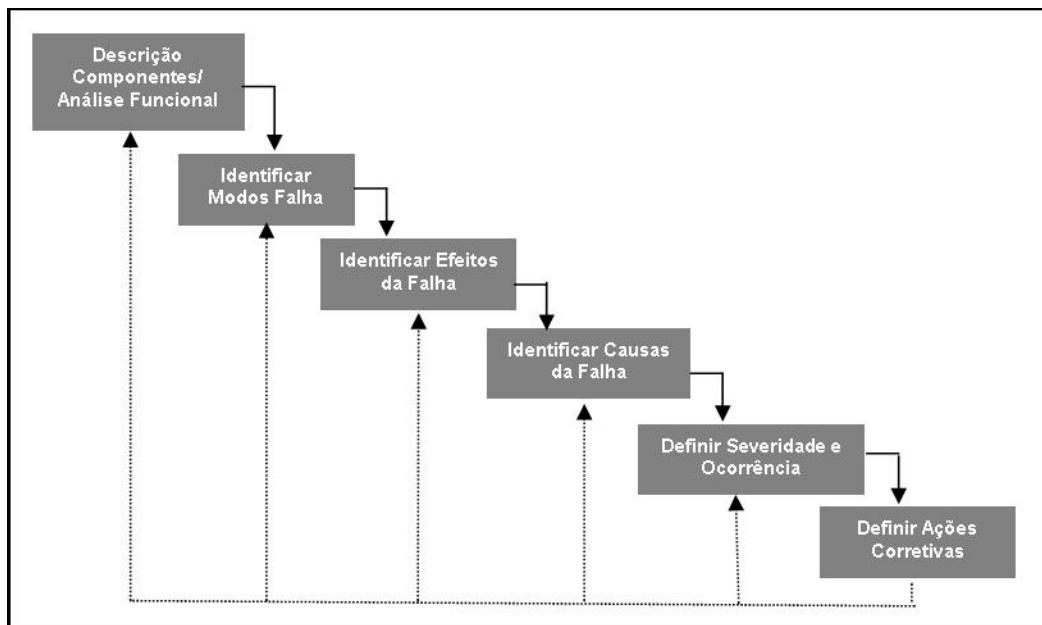


Figura 4.4: Seqüência de desenvolvimento do FMEA.(STAMATIS, 1995).

A Fig. 4.4 apresenta a proposta estabelecida por Stamatis (1996), onde se nota que o desenvolvimento do FMEA consiste na execução seqüencial de um conjunto de atividades, com possibilidade de retro-alimentação entre elas no decorrer do trabalho.

A seguir, detalhar-se-á a seqüência de execução do FMEA, a partir da referência proposta na Fig. 4.4.

### Descrição Funcional

A primeira atividade do FMEA é caracterizar funcionalmente os componentes ou processo selecionado. Palady (1997) explicita a fundamental importância dessa atividade; uma descrição funcional mal elaborada pode comprometer e não orientar adequadamente a análise das falhas. Para isto, a ferramenta FAST, apresentada anteriormente no item 4.2, permite que seja feita a caracterização funcional adequada para o produto/processo a ser analisado. Um exemplo da aplicação no processo de injeção é apresentado na Fig. 4.5, para a função “fazer produto injetado” e, entre as outras diversas funções secundárias existentes, a função “extrair peça plástica da cavidade”.

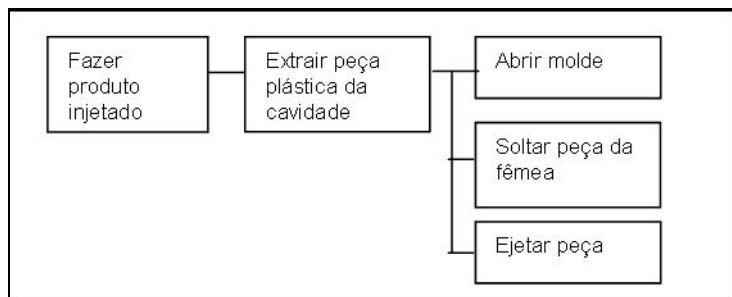


Figura 4.5: Exemplo de diagrama FAST.

### Descrição dos Modos de Falha

A próxima etapa consiste em listar, para cada item, os modos de falha. Palady (1997) recomenda que esta atividade fique focada apenas nos modos de falha predominantes, para evitar perda de tempo na análise de falhas pouco prováveis de ocorrerem, tornando a planilha e o trabalho executado extensos demais.

Deve-se ter bem claro que o modo de falha é a caracterização da falha no componente analisado, dentro de um dado sistema.

Para caracterização do modo de falha, existem duas abordagens possíveis: estrutural e funcional. A fase do desenvolvimento do produto e a disponibilidade dos dados estabelecem,

de certo modo, que tipo de abordagem usar. Nas fases mais iniciais do desenvolvimento, quando as informações sobre o produto ainda não estão bem definidas, costuma-se utilizar a abordagem funcional, como por exemplo, após o término do projeto conceitual. Uma vez que as especificações do produto estejam bem definidas, em geral nas fases do projeto preliminar ou detalhado, é possível empregar a abordagem estrutural. Para este tipo de abordagem, é vital a disponibilidade de: esquemas, desenhos, especificações e outras informações de engenharia.

Para a abordagem funcional, o modo de falha do item é caracterizado como a perda da função, parcial ou total, como exemplificado na Tab. 4.2, para a placa base de fixação do molde de injeção. Neste caso, a não fixação do molde na placa fixa da injetora representa a perda total da função.

Tabela 4.2: Descrição funcional do modo de falha.

Componente	Função	Modo Falha
Placa base fixação do molde	1. fixar conjunto superior do molde na placa fixa da injetora	1.1 não fixa o molde à placa fixa da injetora

Na abordagem estrutural, o modo de falha é descrito a partir enfoque da falha no projeto de engenharia, como por exemplo: corrosão, deformação, torção, entre outros. A Tab. 4.3 apresenta a descrição do modo de falha da mesma placa base de fixação do molde, porém sob perspectiva da abordagem estrutural.

Tabela 4.3: Descrição estrutural do modo de falha.

Componente	Função	Modo Falha
Placa base fixação do molde	1. fixar conjunto superior do molde na placa fixa da injetora	1.1 Empenada 1.2 Corroída

Para sistemas complexos, a combinação dos modos estrutural e funcional deve ser considerada.

### Descrição dos Efeitos da Falha

O desenvolvimento do FMEA prossegue, com a listagem dos efeitos dos modos de falha apresentados. É importante ter bem claro e definido os limites de contorno do sistema com o qual está se trabalhando, e isto deve ser estabelecido no planejamento.

A Fig. 4.6 ilustra o sistema definido para uma análise de FMEA do molde injeção, composto pelo próprio molde, pela máquina injetora na qual o molde está alocado e pelo

componente de plástico produzido. Procedendo-se a análise do FMEA, o modo de falha de um dado componente do molde, por exemplo, o sistema de extração, pode gerar alguma consequência (“efeito do modo de falha”) no sistema pré-estabelecido: molde, componente de plástico injetado ou máquina injetora. Através desse exemplo, fica explicitado a relação que o modo de falha ocorre no componente (sistema de extração) e o efeito é percebido em nível de sistema (molde, injetora ou componente de plástico).

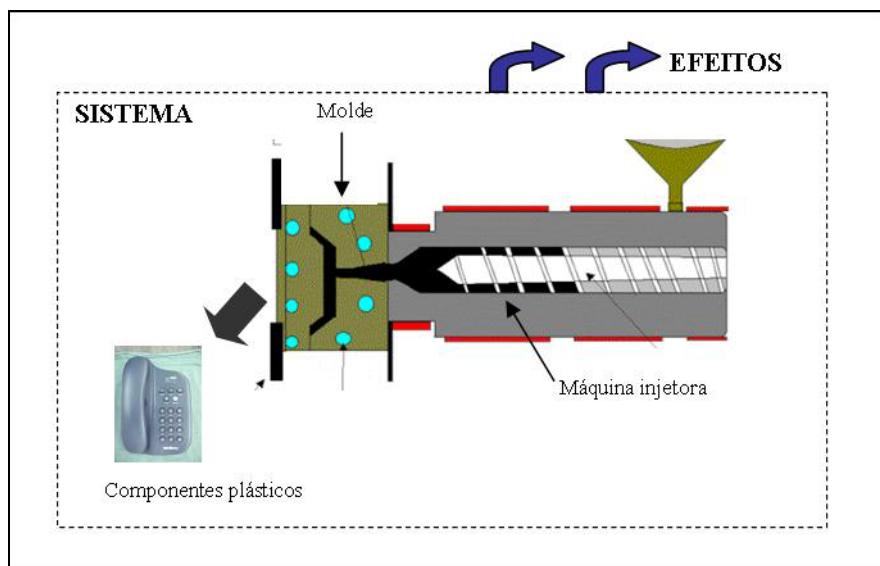


Figura 4.6: Caracterização do sistema para a descrição dos efeitos de falhas.

### Descrição das Causas da Falha

Para a descrição das causas de cada modo de falha, o diagrama Ishikawa fornece suporte para sistematizar a informação para o FMEA, pois possibilita estudar, de uma forma estruturada, a relação causa-efeito. Para o contexto do FMEA, o “efeito” é o modo de falha, enquanto que as “causas” a serem identificadas estão associadas ao projeto do componente de plástico ou ao projeto do molde. Nesse sentido, porém fora do escopo desse trabalho, tem-se a possibilidade de também aplicar uma outra ferramenta similar, o FTA. A diferença fundamental é que o FTA estabelece uma relação de prioridades, a partir do evento topo (neste caso, o modo de falha).

### Escalas de Severidade, Ocorrência e Detecção

A severidade está sempre relacionada aos efeitos da falha, enquanto que a ocorrência e detecção podem ser atribuídas ao modo de falha ou à causa da falha.

Existe disponível na literatura uma grande quantidade de escalas para mensuração para esses índices. Breyfogle III (1999) e Palady (1995) estabelecem que cada organização pode criar e também ajustar a magnitude das escalas de severidade, ocorrência e detecção. A Tab. 4.4 e a Tab. 4.5 representam, como exemplo, a perspectiva de mensuração quantitativa, respectivamente, para os índices ocorrência e severidade.

Tabela 4.4: Escala de ocorrência.

Probabilidade de ocorrência	Chances de ocorrência	Escore
Remota	0	1
Baixa	1/20,000 1/10,000	2 3
Moderada	1/2,000 1/1,000 1/200	4 5 6
Alta	1/100 1/20	7 8
Muito alta	1/10 1/2	9 10

Fonte: SAKURADA, 2001.

Tabela 4.5: Escala de severidade.

Severidade	Escore
O cliente provavelmente não tomará conhecimento	1
Leve aborrecimento	2 - 3
Insatisfação do cliente	4 - 6
Alto grau de insatisfação	7 - 8
Atinge as normas de segurança	9 - 10

Fonte: SAKURADA, 2001.

Uma outra possibilidade, em relação à mensuração desses índices, é a realização de uma avaliação qualitativa, a partir de um diagrama lógico de decisão. Esse diagrama foi desenvolvido inicialmente para suporte à filosofia da Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM), visando avaliar o impacto das falhas e orientar a definição e priorização das ações para a manutenção.

Vinadé (2003) estabelece que o objetivo do diagrama de decisão é classificar as consequências (efeitos) dos modos de falha, em relação à segurança humana, desempenho operacional e economia, além de anteriormente identificar se o modo de falha é oculto ou evidente para os agentes da manufatura. A Fig. 4.7 apresenta um diagrama lógico de decisão, para classificação dos efeitos de modos de falha.

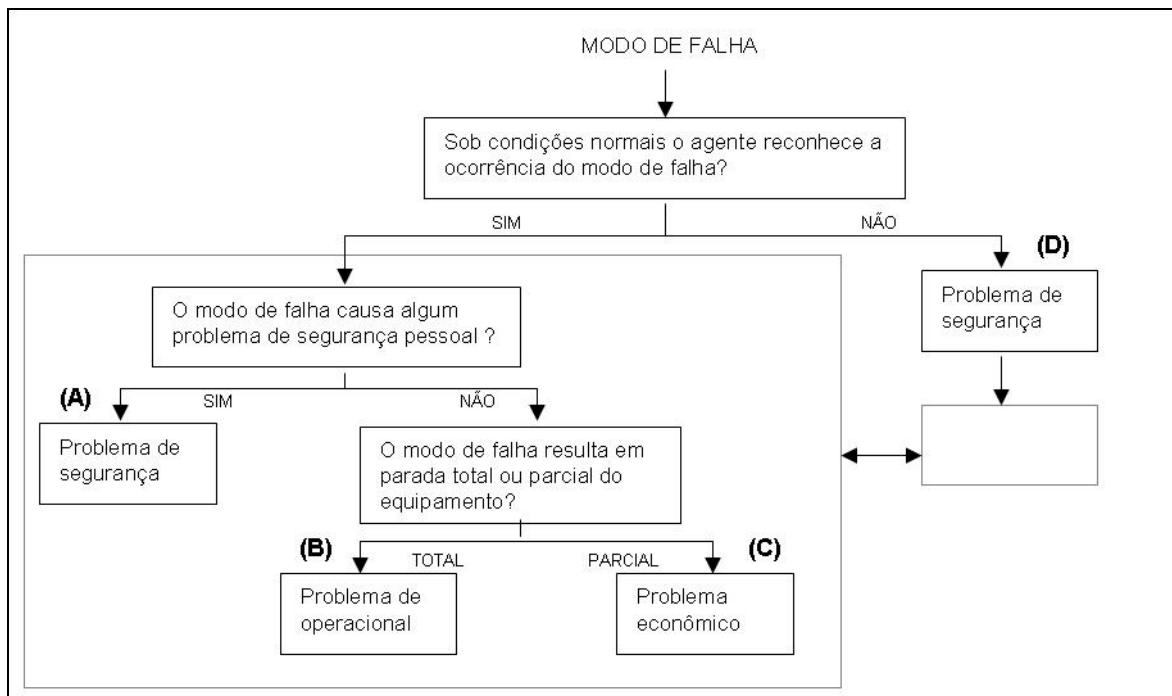


Figura 4.7: Diagrama lógico de decisão. (VINADÉ, 2003).

Como saída resultante desse diagrama, os modos de falha podem ser classificados em:

- A – modo de falha com comprometimento da segurança
- B – modo de falha com comprometimento do desempenho operacional
- C – modo de falha com comprometimento na economia
- D/A – modo de falha oculto com comprometimento da segurança
- D/B – modo de falha oculto com comprometimento do desempenho operacional
- D/C – modo de falha oculto com comprometimento na economia

A partir dessa definição é que se estabelece a prioridade das ações a serem executadas, segundo Smith (1993). Em ordem de importância decrescente, as ações devem ser previstas inicialmente para os modos de falhas (A) e (D/A), depois para (B) e (B/D), e por último, para (C) e (D/C).

## Ações Recomendadas

Após a aplicação das escalas de mensuração das falhas, define-se as ações a serem implementadas para eliminar ou amenizar a ocorrência dos modos de falhas detectados. Para o escopo desta pesquisa, as ações recomendadas são direcionadas e implementadas na fase do processo de projeto.

### 4.4.3 *Tipos de FMEA*

Para a classificação dos tipos de FMEA, encontram-se variações de nomenclatura na literatura. Será adotada, como referência, a conceituação proposta por Stamatis (1995) para os diferentes tipos de FMEA, apresentados a seguir.

FMEA de Sistema – É usado para analisar sistemas e subsistemas nas fases iniciais de concepção e projeto. O FMEA de sistema enfoca os modos potenciais de falha entre as funções do sistema, causada por algumas deficiências do sistema. Ele inclui a interação entre os sistemas e os elementos do sistema.

FMEA de Projeto – É usado para analisar produtos antes que eles sejam liberados para a manufatura. O FMEA de projeto enfoca os modos potenciais de falha causados pelas deficiências do projeto. A aplicação de FMEA no produto “molde de injeção” pode antecipar modos de falha e gerar as respectivas ações contingenciais, na fase de projeto. Uma vez que isso não seja considerado, na utilização desse recurso de produção, os modos de falhas que surgirem afetarão a sua confiabilidade, e por conseqüência, a sua disponibilidade.

Para o FMEA Projeto, pode-se trabalhar com os modos de falha funcional e estrutural.

FMEA de Processo – É usado para analisar os processos de manufatura e montagem. O FMEA de processo enfoca os modos de falhas causados pelas deficiências do processo ou montagem. O FMEA de Processo pode ser utilizado para os diferentes processos de fabricação: soldagem, conformação, fundição, montagem, e o processo de injeção de plásticos.

Conceitualmente, o emprego do FMEA Processo está relacionado com a identificação e resolução de problemas fabris; entretanto, considera-se que uma das causas dos modos de falha do processo é o próprio projeto do processo ou do produto manufaturado. Dentro dessa perspectiva, um erro no projeto do componente de plástico, como, por exemplo, uma nervura mal dimensionada, potencialmente pode ocasionar o aparecimento freqüente de rechupes, durante o processo de injeção.

No FMEA Processo, emprega-se a abordagem funcional para descrever os modos de falha.

FMEA de Serviço – É usado para analisar serviços antes que eles alcancem o cliente. O FMEA de serviço enfoca os modos de falha (tarefas, erros, enganos) causados pelas deficiências do sistema ou processo (STAMATIS, 1995). Dentro dessa visão, algumas aplicações de FMEA de serviço podem ser visualizadas dentro da organização: processar pedidos dos clientes, realizar atendimento pós-vendas, realizar planejamento industrial, entre outros. Para o sistema de manufatura apresentado no item 2.4, pode-se citar: realizar manutenção corretiva e preventiva no molde, programar e controlar a produção, regular as máquinas injetoras e realizar *set-ups* de molde.

No FMEA Serviço, emprega-se a abordagem funcional para descrever os modos de falha.

#### **4.4.4 Porque FMEA Falha**

A implementação de FMEA requer certa dose de esforço e preparação dentro da organização, e isso, por si só, não é garantia de sucesso. A literatura explicita a preocupação com certos aspectos que podem ser decisivos para o sucesso da aplicação da ferramenta, comentados a seguir.

Para Stamatis (1995), o FMEA pode ser de difícil e tediosa aplicação em sistemas complexos que possuem múltiplas funções consistindo de um número grande de componentes. Esta dificuldade ocorre em função da informação detalhada do sistema que deve ser considerada.

Palady (1997) considera que a falta de planejamento é um dos principais erros na implementação do FMEA.

Já para Breyfogle III (1999) o sucesso do FMEA é altamente dependente da oportunidade e da utilidade como “documento vivo”, ou seja, a necessidade permanente de ser realimentado e atualizado.

Dentro do contexto industrial, Souza (1999) comenta da dificuldade de manter aplicação da ferramenta nos novos projetos. Em alguns casos, relata que não houve acompanhamento posterior nas ações recomendadas. Também cita, com uma barreira ao maior êxito na aplicação da ferramenta, a falta de análise detalhada da função dos componentes.

#### **4.5 Diagrama de Ishikawa**

Também conhecido como diagrama de causa-efeito ou espinha de peixe, essa ferramenta é de fácil compreensão e utilização. Segundo Dias (1997 apud SAKURADA, 2001), a ferramenta é uma forma estruturada de estudar um problema técnico.

A Fig. 4.8 apresenta o diagrama de Ishikawa, onde o resultado final (efeito) é alcançado a partir de um conjunto de fatores (causas).

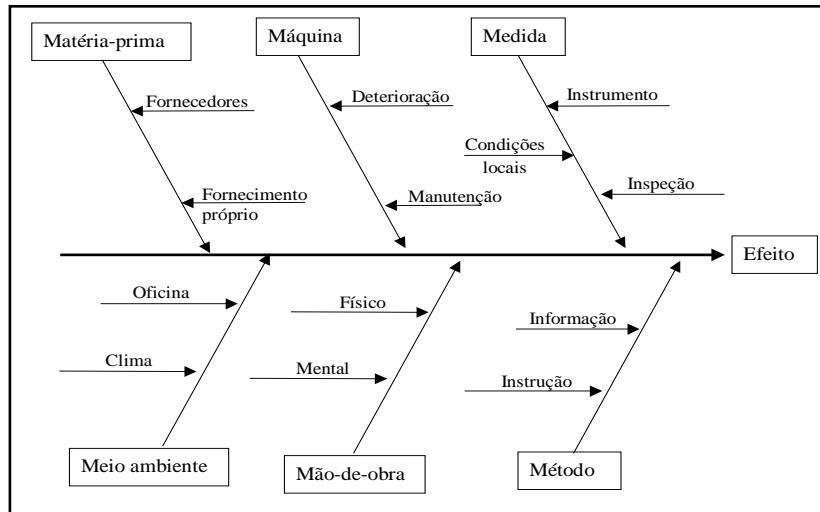


Figura 4.8: Diagrama Ishikawa. (SAKURADA, 2001).

A aplicação dessa ferramenta é simples – inicialmente, identifica-se o efeito a ser alcançado (resultado a ser alcançado ou problema a ser evitado), e na seqüência, levantam-se as causas associadas, categorizando-as adequadamente. A condução do trabalho, para identificação das causas é feita através de *brainstorming*.

Na proposição a ser apresentada, o diagrama de Ishikawa é adaptado para suportar a identificação das causas da falha no desenvolvimento do FMEA, e selecionar aquelas relacionadas ao “projeto do molde” e “projeto do componente”, conforme Fig. 4.9.

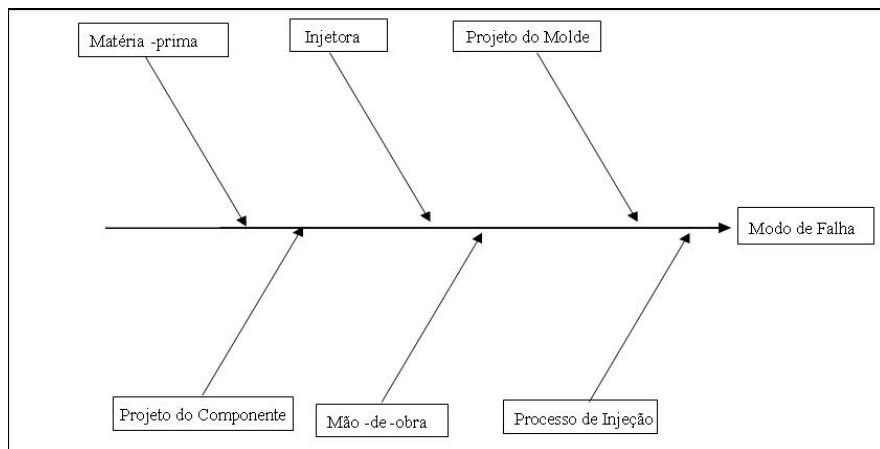


Figura 4.9: Diagrama Ishikawa adaptado.

#### 4.6 Comentários finais

Nesse capítulo, procedeu-se à revisão bibliográfica sobre as ferramentas de projeto, destinadas a suportar a proposição que será descrita a seguir.

Inicialmente, foram apresentados os conceitos pertinentes ao emprego da lista de verificação estruturada, constituída para suportar o processo de revisão do projeto nas fases pré-estabelecidas. Essa ferramenta demonstrou ser de fácil emprego, permitindo uma adequada organização do conhecimento nelas constantes. A complexidade reside em realizar a sua estruturação, de forma que ela possa ser abrangente no seu conteúdo, e ao mesmo tempo possibilite um nível de detalhamento adequado para cada tópico avaliado.

O uso conjunto das ferramentas FAST e FMEA tem por objetivo suportar a aquisição do conhecimento da manufatura. O FAST auxilia na elaboração da descrição funcional do produto/processo, de forma visual, servindo com entrada para o início do desenvolvimento do FMEA. Por sua vez, a aplicação do FMEA permite a definição de ações de prevenção das falhas, a partir de um estudo detalhado dos modos, efeitos e causas das falhas.

As ações recomendadas no FMEA consolidam o conjunto de informações da manufatura, de natureza preventiva, que será formalizado na base de conhecimento, a ser utilizado no processo (revisão) de projeto.

Também foi apresentada, para o FMEA, uma resenha crítica sobre a aplicação da ferramenta, no sentido de desmistificar a aplicação da mesma no contexto organizacional industrial e alertar para as possíveis “barreiras” ao uso e implementação.

O diagrama de Ishikawa, como ferramenta auxiliar no desenvolvimento do FMEA, auxiliará a separação das causas das falhas relacionadas aos projetos do componente de plástico injetado ou do molde de injeção, em relação aos fatores associados diretamente à manufatura.

Para o próximo capítulo, será apresentada a proposição para sistematização do conhecimento da manufatura e, na seqüência, a sua aplicação no processo de desenvolvimento do componente de plástico injetado da empresa apresentada no Capítulo 2.

## CAPÍTULO 5

### PROPOSIÇÃO DO MODELO PARA REVISÃO FORMAL DE PROJETO A PARTIR DA SISTEMATIZAÇÃO DO CONHECIMENTO DA MANUFATURA

Neste capítulo será apresentada a proposta integrada para realização da revisão formal de projeto para o desenvolvimento integrado do componente de plástico injetado, a partir da sistematização do conhecimento da manufatura.

Neste sentido, a proposição fundamenta-se na aplicação de listas de verificação estruturadas na revisão de projeto do componente de plástico e do molde de injeção. O conteúdo dessas listas de verificação é obtido via uma sistemática de aquisição do conhecimento dos especialistas da manufatura, por meio da utilização das ferramentas FMEA, FAST e diagrama de *Ishikawa*.

Em nível de referencial teórico, a proposição está integrada com o modelo para processo de projeto do componente de plástico injetado, proposto por Daré (2001) e apresentado no item 3.3. Na empresa estudada, o processo de projeto não está totalmente detalhado e consolidado, haja vista que a maioria das atividades desse processo ser executada pelos fornecedores contratados (Fig. 2.7). Para esse contexto, a proposição integra-se ao processo de desenvolvimento do componente de plástico através das revisões formais de projeto a serem realizadas ao final das fases de engenharia de produto e projeto de molde.

Portanto estabelece-se, a partir do exposto acima, que esta proposição busca atender os mais diferentes contextos do processo de desenvolvimento do componente de plástico injetado, desde aquelas empresas que tenham o processo de projeto (fases e tarefas) claramente definido e consolidado, até aquelas nas quais grande parte do citado processo é feito pelos parceiros (fornecedores de engenharia de produto, fabricantes de molde) ou não está formalizado.

#### 5.1 Objetivos da Proposição

O objetivo da proposição é realizar a revisão formal de projeto no PDP do componente de plástico injetado, fundamentada no conhecimento da manufatura e visando assegurar que o projeto de produto conte com a produtividade da fábrica. Portanto, a revisão de projeto estará centrada no atributo “produtividade” (conforme Fig. 3.7): manufaturabilidade do componente, confiabilidade e manutenibilidade do molde de injeção. Dentro desse contexto, que visa a

integração da manufatura com o processo de projeto, estabelecem-se dois questionamentos, indicados na Fig. 5.1:

- (1) Como capturar, formalizar e organizar o conhecimento dos especialistas, para posterior utilização no projeto de produto;
- (2) De que modo e em que momento esse conhecimento deve ser aplicado no PDP do componente de plástico injetado.

Dessa forma, a proposição deverá fornecer subsídios metodológicos para, em um primeiro instante, estabelecer o elo de ligação entre a manufatura e a base de conhecimento do PDP componente de plástico injetado, e posteriormente disponibilizar, através de uma ferramenta de revisão, este conhecimento da manufatura ao longo das fases de desenvolvimento do componente.

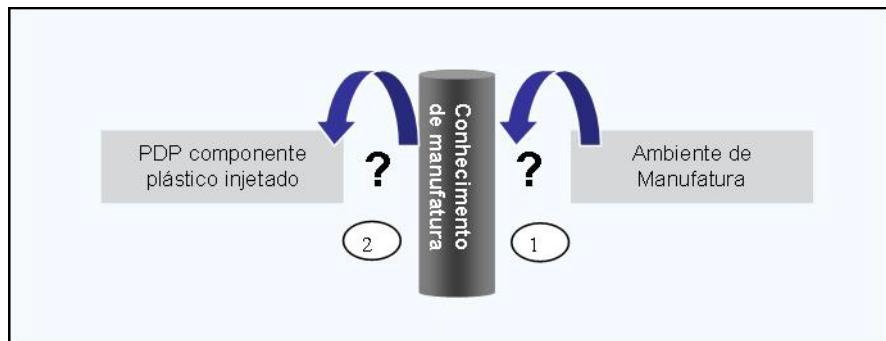


Figura. 5.1: A integração entre o PDP e o ambiente de manufatura.

O ambiente de manufatura pode ser caracterizado pelas principais variáveis que têm influência sobre o resultado final deste processo de fabricação. Entre as diversas variáveis envolvidas no “chão de fábrica”, destacam-se na produção do componente de plástico injetado: molde de injeção, máquina injetora, processo, matéria-prima, ambiente e mão de obra, representadas no lado direito da Fig. 5.2. Nesta mesma figura, o PDP do componente de plástico injetado é caracterizado, a partir da referência teórica apresentada na Fig. 3.1, pelas suas macro-fases: planejamento, projetação e implementação.

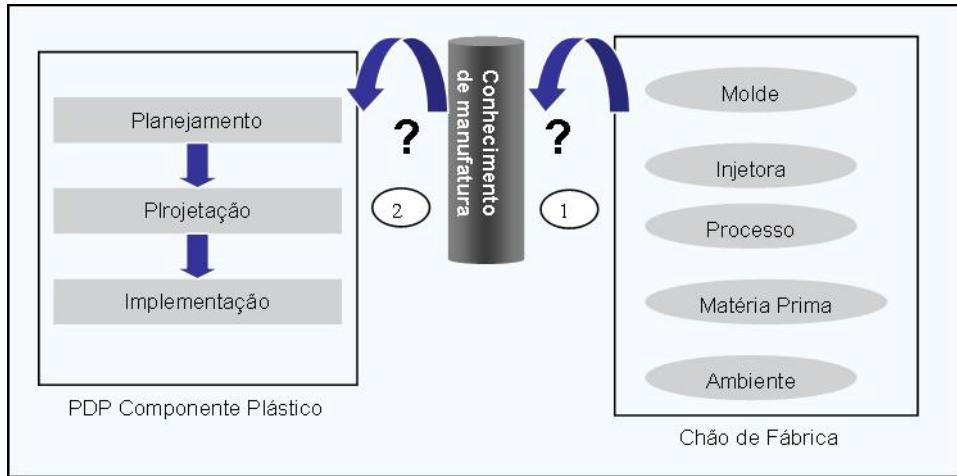


Figura. 5.2: Caracterização do ambiente de manufatura e PDP.

No contexto da empresa estudada, o PDP do componente plástico da empresa subdivide-se em quatro fases principais (conforme detalhado ao longo do item 2.3), representadas no lado esquerdo da Fig. 5.3. Nesta figura, face a perspectiva da presente pesquisa, busca-se responder aos questionamentos (1) e (2) levantados a partir da Fig. 5.1. O questionamento (1) é elucidado a partir do processo formal para sistematizar o conhecimento da manufatura, enquanto que a questão (2) é esclarecida pela definição e emprego de ferramentas de análise (cujo conteúdo é o conhecimento da manufatura) para suportar o processo decisório (“marcos de avaliação”) entre as fases do PDP do componente de plástico injetado. Este processo decisório, entre as possibilidades existentes, será estabelecido como revisão de projeto, realizada pela equipe de projeto da empresa e suportado por ferramentas de análise, nas atividades presentes ao final de cada fase do processo de projeto: avaliação do *mock-up*, avaliação do protótipo funcional, avaliação do projeto do molde e validação do *try-out*. Estas ferramentas de análise, por sua vez, podem ser: *softwares*, documentos, listas de verificação, normas, procedimentos internos, etc..., representadas como as ferramentas F1 à F4 na Fig. 5.3. Também se explicita nessa figura, que ao final de um ciclo de desenvolvimento suportado pela proposição, os novos componentes de plástico e moldes de injeção estarão, respectivamente, sendo produzidos e utilizados na manufatura, estabelecendo a perspectiva de retro-alimentação para a base de conhecimento de projeto a partir de novas informações advindas da manufatura. Esse aspecto, por não estar dentro do escopo da pesquisa, não será aprofundado nessa dissertação.

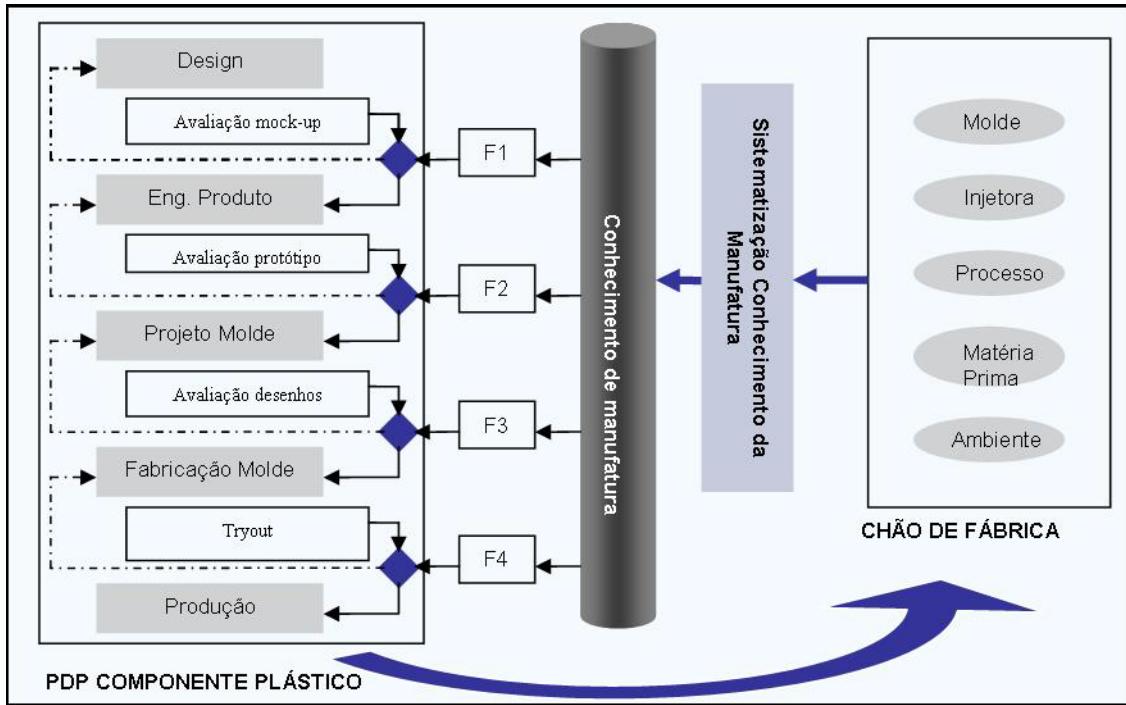


Figura. 5.3: Integração “PDP – Manufatura” através da proposição.

Uma vez contextualizados os processos de manufatura e desenvolvimento de produto, com o intuito de fornecer o claro entendimento da necessidade da integração entre estes processos, apresentar-se-á a seguir a proposição, desdobrada em duas etapas: inicia-se com a sistematização para aquisição do conhecimento da manufatura, e finaliza-se com a formação e aplicação das ferramentas de análise nas revisões de projeto do componente de plástico e do molde de injeção.

## 5.2 Sistematização do Conhecimento da Manufatura

Dentro da necessidade de integrar o conhecimento da manufatura com a base de conhecimento do processo desenvolvimento do componente de plástico e molde de injeção, a proposição estabelece inicialmente uma metodologia formal que visa estruturar a sistematização desse conhecimento disponível no chão de fábrica. A sistematização representa a aquisição, organização, formalização e disponibilização do conhecimento da manufatura para o PDP.

Desse modo, a Fig. 5.4 explicita esquematicamente a metodologia proposta, desdobrada em: fases, tarefas e ferramentas requeridas para realizar a sistematização do conhecimento da

manufatura. As fases, atividades e ferramentas constantes nessa metodologia serão detalhadas a seguir.



Figura 5.4: Sistematização do conhecimento da manufatura.

### 5.2.1 Fase 1 – Aquisição do Conhecimento

O objetivo desta fase é capturar o conhecimento, por meio do emprego de ferramentas, dos diversos especialistas envolvidos no projeto e fabricação do componente de plástico, projeto, operação e manutenção do molde de injeção. A seguir, detalhar-se-a as atividades envolvidas nesta fase.

#### Tarefa 1.1 – Formação e preparação da equipe.

Dada as características e variáveis envolvidas (molde, injetora, processo, matéria-prima) no ambiente de moldagem por injeção, recomenda-se que a equipe seja multi-disciplinar. Para o contexto da indústria de transformação de plásticos, isso representa a participação de: técnicos de manutenção (máquina injetora), ferramenteiros (molde de injeção), projetistas de molde e técnicos de processo (parametrização do processo e matéria-prima).

Com relação a aplicação das ferramentas propostas (FAST, FMEA e diagrama de Ishikawa, conforme referenciado em 4.1), ressalta-se que um dos participantes envolvidos deve ter amplo domínio das ferramentas a serem aplicadas. Outro aspecto salutar com relação à aplicação das ferramentas é o conhecimento prévio, por parte da equipe envolvida, sobre o conceito e características das ferramentas a serem utilizadas. Em tese, entende-se que os participantes não serão os especialistas na utilização e aplicação das ferramentas, porém o

nivelamento do conhecimento sobre as mesmas propicia que o trabalho seja produtivo, evitando-se interrupções para discussão a respeito de aspectos conceituais da ferramenta, conforme observado por Sakurada (2001). Nesse sentido, propõe-se um treinamento, anterior a realização do trabalho, sobre as ferramentas a serem aplicadas, envolvendo todos os participantes do trabalho.

**Tarefa 1.2 – Seleção dos processos e recursos da manufatura.**

A seleção dos processos e recursos da manufatura a serem analisados fundamenta-se no foco da sistemática proposta: a orientação do projeto para a produtividade de fábrica, desdobrada em seus respectivos atributos: a manufaturabilidade do componente e a mantinabilidade e confiabilidade do molde.

As informações que concernem a manufaturabilidade do componente serão obtidas a partir da análise do processo de injeção. A partir do estabelecimento dos modos de falha deste processo de fabricação, buscar-se-á as causas das falhas associadas ao projeto do componente e do molde.

Visando buscar informações que possam orientar o projeto do molde para a mantinabilidade, será executada a análise de como a equipe de ferramentaria realiza a manutenção nos moldes de injeção, para identificação das causas de falha (relacionadas ao projeto da ferramenta) nesta atividade.

Para a confiabilidade, será realizada a análise das características construtivas e funcionais de cada um dos subsistemas do molde de injeção: refrigeração, extração, canais de alimentação e ponto de injeção, entre outros.

**Tarefa 1.3 – Análise dos processos e recursos da manufatura.**

Esta tarefa consiste na aplicação das ferramentas pré-selecionadas (FAST, FMEA e diagrama de *Ishikawa*, apresentadas no Capítulo 4) nos processos e recursos definidos na tarefa anterior. Basicamente, todas as ferramentas selecionadas buscam ou suportam a identificação das falhas nos processos e recursos de manufatura selecionados, finalizando com o estabelecimento de recomendações para o projeto. Deste modo, existe uma relação direta entre as ferramentas a serem empregadas (FAST, FMEA Processo, FMEA Projeto, FMEA Serviço) e os atributos desdobrados da produtividade, face ao objetivo da aquisição do conhecimento. Esta relação e contextualização da aplicação das ferramentas está esquematizada na Fig. 5.5.

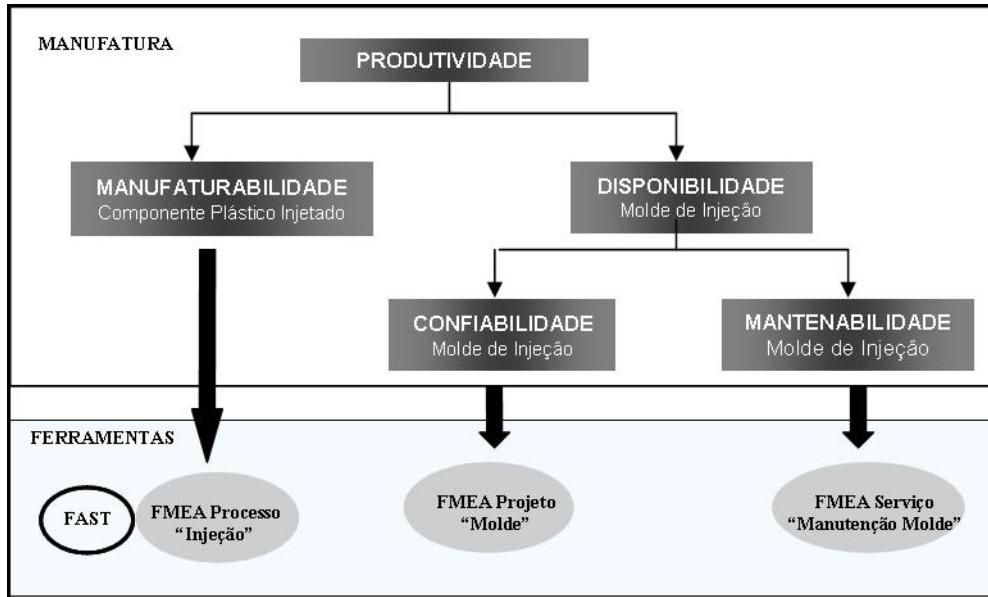


Figura 5.5: Associação dos atributos desdobrados da produtividade às ferramentas selecionadas para análise.

Considerando a manufaturabilidade do componente, o processo de injeção é analisado inicialmente com o emprego do diagrama FAST, objetivando desdobrar funcionalmente o referido processo de fabricação. Cada etapa deste processo tem uma ou mais funções que contribuem e influem no resultado final: a produção do componente. Exemplificando, a Fig. 5.6 representa, a partir da função principal do processo de injeção – “fazer produto injetado”, um dos desdobramentos possíveis para esta, representado pela sub-função “extrair plástico da cavidade” e suas outras funções desdobradas (“abrir molde”, soltar peça da fêmea” e “ejetar peça”).

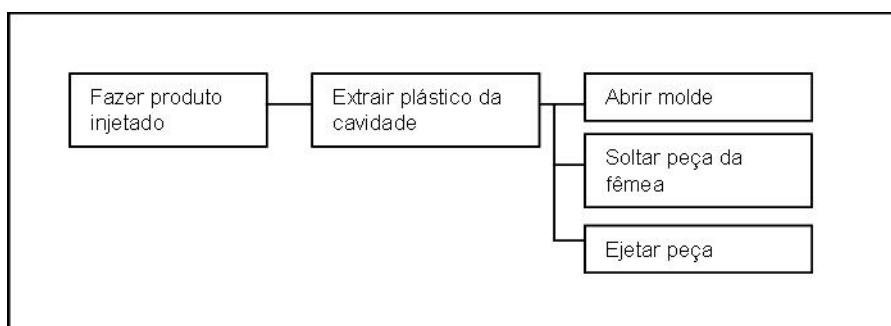


Figura 5.6: Parte do FAST “Processo de Injeção”

Baseado nas funções estabelecidas no diagrama FAST, utiliza-se um FMEA Processo para estabelecer modos potenciais de falha, durante o ciclo de injeção, seus efeitos e causas correlacionadas ao projeto do componente ou do molde. A Tab. 5.1 apresenta uma aplicação do FMEA Processo, para a sub-função “soltar peça da fêmea”. Nesse FMEA Processo trabalha-se com o modo de falha funcional. Para identificação dos efeitos das falhas, define-se como sistema o conjunto formado pelo molde de injeção, componente de plástico e máquina injetora. Ao final da aplicação do FMEA Processo, para cada causa de falha identificada, é estabelecida uma ou mais ações recomendadas (exclusivamente em nível de projeto do componente ou do molde), visando mitigar ou eliminar esta causa durante o projeto.

Tabela 5.1: FMEA Processo “Injeção”.

Função	Modo Falha	Efeito Falha	Causa Falha	Ação Recomendada
1.Soltar peça da fêmea	1.1 o componente de plástico fica preso na fêmea	1.1.1 extração manual do componente	1.1.1.1 ângulos de saída inadequados 1.1.1.2 machos/postiços posicionados na fêmea	* avaliar se o ângulo de saída (paredes internas) está adequado, em função da geometria e textura da peça. * evitar o posicionamento de machos/postiços na fêmea.

Para a manutenabilidade do molde, a análise é feita no serviço “Realizar Manutenção no Molde”. Essa análise é suportada pelos fluxogramas de atividades de manutenção corretiva e preventiva (Anexo A) e uma estrutura em árvore, representando esquematicamente a estrutura do molde, desdobrada em seus subsistemas e componentes (Anexo B). Desta forma, para cada componente da estrutura do molde, os modos de falha potenciais serão avaliados no contexto das atividades apresentadas nos fluxogramas de manutenção.

Para análise da tarefa de manutenção no molde de injeção será adotado o FMEA Serviço. A Tab. 5.2 demonstra a aplicação do FMEA Serviço para a função “desmontar molde” do componente do molde “extratores”. Nesse FMEA Serviço, utiliza-se o modo de falha funcional. Para definição dos efeitos das falhas, o molde de injeção é definido como o sistema, enquanto que as causas das falhas estão relacionadas ao projeto do molde. O resultado da análise do modo de falha “dificuldade de montagem” dos extratores identifica como uma causa os “extratores sem identificação”; tem-se então, como ação recomendada para o projeto do molde a “verificação se há a identificação definitiva nos extratores”.

Tabela 5.2: FMEA Serviço “Manutenção”.

Item	Função	Modo Falha	Efeito Falha	Causa Falha	Ação Recomendada
Extratores	1. Montar extratores	1.1 Dificuldade de montagem	1.1.1 demora excessiva para montagem	1.1.1.1 extratores sem identificação	* verificar se há identificação definitiva nos extratores

Para identificação das falhas que afetam a confiabilidade do molde, utiliza-se a mesma estrutura em árvore utilizada na análise das atividades de manutenção de molde. Na seqüência, para a análise do “produto” molde, emprega-se FMEA Projeto (representado na Tab. 5.3), utilizando os modos de falha estrutural e funcional. Da mesma forma que no FMEA Serviço, os efeitos são percebidos no sistema “molde de injeção” e as causas das falhas são relacionadas ao projeto do molde.

Tabela 5.3: FMEA Projeto “Molde”.

Componente	Função	Modo Falha	Efeito Falha	Causa Falha	Ações Recomendadas
Placa base fixação (superior)	1. fixar conjunto superior do molde na placa fixa da injetora	1.1 não fixa o molde à placa fixa da injetora	1.1.1 não inicia a produção	1.1.1.1 largura do rasgo da placa de fixação insuficiente	* usar espessura mínima de 30 mm da placa de fixação * usar largura mínima de 40 mm da placa de fixação.

O resultado final da aplicação dos diferentes FMEAs é um conjunto de ações recomendadas a serem empregadas pela equipe de projeto durante as fases de desenvolvimento, com o objetivo de eliminar ou mitigar as causas das falhas oriundas a partir do projeto e cujos efeitos são percebidos nas fases de produção e manutenção (ambiente de manufatura). Assim, a Tab 5.4 sintetiza ilustrativamente, a partir das informações dos FMEAs representados nas Tab. 5.1, 5.2 e 5.3, o conjunto de ações recomendadas a serem consideradas no projeto do componente e do molde.

**Tabela 5.4: Síntese de ações recomendadas para o projeto do molde e componente**

Origem	Item	Ações Recomendadas	Aplicação
FMEA Processo	Ângulo de saída	* avaliar se o ângulo de saída (paredes internas) está adequado, em função da geometria e textura da peça.	Projeto do componente
FMEA Processo	Postiços/machos	* evitar o posicionamento de machos/postiços na fêmea.	Projeto do molde
FMEA Serviço	Extratores	* verificar se há identificação definitiva nos extratores	Projeto do molde
FMEA Projeto	Placa base fixação (superior)	* usar espessura mínima de 30 mm da placa de fixação * usar largura mínima de 40 mm da placa de fixação.	Projeto do molde

### **5.2.2 Fase 2 – Formalização do conhecimento**

Nesta fase busca-se organizar e categorizar o conhecimento da manufatura, de forma sistematizada, objetivando facilitar a disponibilidade da informação para o PDP em suas revisões formais. Descreve-se, a seguir, a tarefa requerida para essa fase.

#### **Tarefa 2.1 – Categorização por atributos dos dados obtidos.**

O conhecimento da manufatura, proveniente de diversos especialistas, é capturado por meio de ferramentas (de acordo com a sistemática descrita na fase de aquisição de conhecimento) e sintetizado na forma de ações recomendadas para os projetos do molde e do componente. Entretanto, estas informações obtidas anteriormente necessitam de uma estrutura adequada de organização, visando sua posterior aplicação nas fases do PDP. Neste sentido, propõe-se a utilização de uma estrutura genérica baseada em atributos, representada na Fig. 5.7, para organização e categorização desse conjunto de informações.

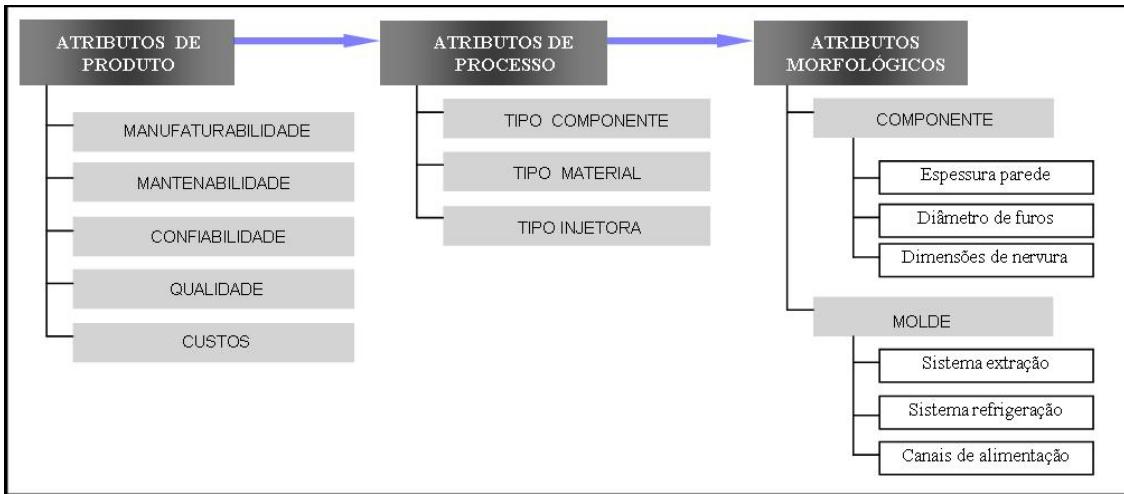


Figura 5.7: Estrutura para categorização dos dados obtidos.

Essa estrutura genérica proposta para organização da base de conhecimento da manufatura estabelece três categorias de atributos: de produto, de processo e morfológicos.

Na categoria “atributos de produto”, a estrutura proposta visa classificar cada ação recomendada obtida nos diferentes tipos atributos de produto. No entanto, dado o escopo específico dessa pesquisa, serão considerados apenas a manufaturabilidade, a mantinabilidade e confiabilidade.

Em “atributos de processo”, a informação é particularizada para um conjunto de variáveis específico do ambiente de manufatura: tipo de componente (pela variação de geometria), tipo de matéria-prima (diversidade de materiais termoplásticos) e tipo de injetora (com características funcionais específicas).

Em “atributos morfológicos”, apresenta-se a forma de classificar a informação conforme a estrutura do componente de plástico (desdobrado nos diferentes elementos geométricos: furos, nervuras, espessura de parede) e do molde (extratores, gavetas, placa de fixação, placa porta-cavidade)<sup>12</sup>.

A Tab. 5.5 exemplifica a utilização da estrutura genérica proposta para categorizar as ações recomendadas oriundas da Tab. 5.4. Assim, a recomendação “avaliar se o ângulo de saída das paredes internas da cavidade está adequado” é registrada como associada ao atributo de produto “manufaturabilidade”. Sequencialmente, efetua-se a classificação para “atributos de processo”, ou seja, a recomendação citada é válida para o contexto da “tampa de telefone”,

12 O desdobramento proposto para “atributos morfológicos”, componente e molde, corresponde e orienta a disponibilização posterior das informações, respectivamente, para as fases de engenharia de produto e projeto do molde.

injetada nas máquinas “IHP 2000” com material “ABS”. Por fim, registra-se essa recomendação como associada ao elemento “ângulo de saída” do molde de injeção, em “atributo morfológico”.

Tabela 5.5: Categorização das Ações Recomendadas

Ações Recomendadas	Atributo de Produto	Atributo de Processo			Atributo Morfológico
		Tipo	Máquina	Material	
* avaliar se o ângulo de saída (paredes internas) está adequado, em função da geometria e textura da peça.	Manufaturabilidade	Tampa do telefone	Injetora IHP 2000	ABS	Ângulo de saída
* evitar o posicionamento de machos/postiços na fêmea.	Manufaturabilidade	Base do monofone	Injetora IHP 1800	ABS	Postiços/ machos
* verificar se há identificação definitiva nos extratores	Mantenabilidade	Todos os componentes	Injetora IHP 2000	ABS	Extratores
* usar espessura mínima de 30 mm da placa de fixação	Confiabilidade	teclados de dupla injeção	Injetora de dupla injeção	ABS	Placa base fixação (superior)

Em resumo, a estrutura de classificação por atributos visa organizar o conhecimento da manufatura, buscando facilitar a recuperação e atualização dos dados na integração com o processo de desenvolvimento do componente e do molde.

### 5.2.3 Fase 3 – Manutenção de conhecimento

Nesta fase, o objetivo é manter permanentemente atualizada a base de conhecimento da manufatura, a partir de uma série de entradas provenientes dos ambientes de desenvolvimento e manufatura.

#### Tarefa 3.1 – Revisão periódica dos dados gerados.

A constante evolução requerida na forma e função dos produtos, associada às novas tecnologias para o ambiente de manufatura, além da retro-alimentação propiciada a partir da entrada de novos componentes e moldes na manufatura, estipula a necessidade de ter a base de conhecimento revisada e atualizada periodicamente. Por não fazer parte do escopo da proposta desse trabalho, esta atividade não será detalhada aqui.

## 5.3 Revisão Formal de Projeto

A revisão formal de projeto, no contexto da presente pesquisa, visa validar formalmente os conceitos apresentados no projeto do componente e do molde, sob ponto de vista da

produtividade da fábrica. Dessa forma, ela será executada a partir da elaboração das listas de verificação estruturadas e sua posterior aplicação na validação das fases do PDP.

Em se tendo todo conhecimento da manufatura devidamente formalizado e categorizado, conforme sistemática apresentada e explorada em 5.2.2, oportuniza-se o seu emprego no PDP por meio das listas de verificação estruturadas. A criação e estruturação destas listas são orientadas por dois fatores principais: o momento em que conhecimento da manufatura deve estar disponível para determinada fase do PDP (“quando”) e qual conteúdo associado a esta fase deve estar disponível (“o que”).

Para o desenvolvimento do componente e do molde contextualizado na Fig. 2.7, as listas de verificação serão utilizadas, no contexto desta pesquisa (escopo restringido dada a disponibilidade de recursos), para a validação das fases (marcos de avaliação) de “engenharia de produto” e “projeto de molde”, respectivamente nas tarefas de “aprovação de protótipo funcional” e “aprovação do projeto/desenho dos moldes”, tal como esquematizado na Fig. 5.3 através das ferramentas F2 e F3.

Para visualizar a interligação entre a sistematização do conhecimento da manufatura e a criação e elaboração das listas de verificação, a Tab 5.6 sumariza as saídas possíveis dos três tipos de FMEAs propostos anteriormente (conforme exemplificado na Tab. 5.4). Assim, o FMEA Processo resulta em recomendações para o projeto do molde e do componente, enquanto que os FMEAs Projeto e Serviço geram recomendações somente para o projeto do molde. Visto de outro modo, ao se analisar a coluna “atributos de produto” na Tab. 5.6 e levando-se em conta as duas fases de revisão (“engenharia de produto” e “projeto do molde”), as recomendações provenientes dos FMEAs e categorizadas como “confiabilidade” e “manutenabilidade” devem suportar a revisão de projeto do molde, enquanto que aquelas classificadas como manufaturabilidade, dependendo do conteúdo em questão (categorização em atributo morfológico de molde ou componente) serão distribuídas parcialmente entre as revisões do projeto do componente e do molde.

Tabela 5.6: Relação entre FMEA, ações recomendadas e atributos de produto.

FMEA	Ações Recomendadas	Atributos de produto
Processo Injeção	Projeto do Molde	Manufaturabilidade
	Projeto do Componente	Manufaturabilidade
Projeto Molde	Projeto do Molde	Confiabilidade
Serviço Manutenção	Projeto do Molde	Mantenabilidade

A Fig. 5.8 apresenta a proposta de formato eletrônico da lista de verificação. A lista possui um cabeçalho, para identificação da fase do projeto, data da verificação, tipo de componente, injetora, entre outros. O conteúdo da lista é organizado na tabela com as seguintes informações: fase do projeto (engenharia de produto ou projeto do molde), item (estrutura do componente/molde), questão a ser avaliada, campo para validação (colunas “sim” e “não”) e observações. A coluna “item” refere-se a categorização de atributo morfológico proposto anteriormente, e é o que confere o caráter de estruturada à lista de verificação.

Para elaboração de uma lista específica a uma fase do projeto, aplica-se o filtro de consulta na planilha eletrônica, selecionando uma das fases a ser avaliada e realiza-se a impressão do formulário (lista de verificação).

Figura 5.8: Lista de verificação estruturada.

Após a elaboração da lista de verificação, pode-se iniciar a revisão de projeto. Para o processo de desenvolvimento do componente de plástico e do molde, conforme referenciado anteriormente, serão realizadas as revisões de projeto ao final das fases de engenharia de produto e projeto do molde por meio das ferramentas F2 e F3 (Fig 5.3.), respectivamente. As revisões aplicam-se ao projeto de qualquer novo componente de plástico e molde de injeção.

Para a realização da revisão de projeto, além das listas de verificação associadas, são requeridos: o protótipo funcional, para a fase de engenharia de produto, e os desenhos e lista de materiais do projeto do molde, na fase de projeto do molde.

A execução da revisão de projeto deve ser realizada como um processo decisório coletivo, envolvendo os especialistas das áreas de conhecimento associado ao desenvolvimento integrado do componente de plástico injetado. Portanto, além do projetista do molde, recomenda-se a participação de técnicos de processo, ferramenteiros e manutentores, não ultrapassando o número máximo de 3 à 4 pessoas.

Outro aspecto fundamental é a definição clara do critério de aprovação do projeto, para o mesmo possa prosseguir para a próxima fase. Esse critério deve ser estabelecido coerentemente com as metas exigidas em relação à produtividade da fábrica, entretanto, dados históricos somados à experiência dos especialistas auxiliam a definir essa métrica.

A revisão de projeto consiste em conferir se o projeto em análise (do componente ou do molde) atende a todas as informações constantes da lista de verificação. A seqüência estruturada de verificação (estabelecida pela categoria “atributo morfológico”) permite que sejam verificados, por exemplo, todos os pontos sobre o item “placa de suporte”, depois as questões referentes à “calço de apoio”, e assim sucessivamente. Em cada item atendido, é assinalado “1” na coluna “sim”, caso contrário, o “1” é assinalado na coluna “não”. Por outro lado, caso a questão em análise não tenha relação com a característica do projeto, deve-se preencher ambas colunas com “NA” (não aplicável). Considera-se que o item somente atende a questão em análise se cumprir integralmente à exigência estabelecida na questão. A Fig. 5.9 exemplifica a seqüência estruturada de execução e o preenchimento da lista de verificação.

	B	C	D	E	F
2	Data: 18/08/04	Lista Verificação		Peça: tampa telefone Injetora: IHP 2000 Material: ABS	
3		Fase: Projeto Molde			
4					
6					
7					
8	Fase	Item	Questão	Sim	Não
158	Projeto Molde	Calço/paralelo(espaçador)	* o cjto "calço e placa de fixação" deve ser fixo por parafuso	1	
159	Projeto Molde	Placa suporte (reforço)	* avaliar se a espessura da placa suporte é adequada		1
160	Projeto Molde	Placa suporte (reforço)	* eliminar o uso, se possível, da placa suporte - deve ser compensado no porta-postiço e usar calço de apoio	1	
161	Projeto Molde	Placa suporte (reforço)	* usar ajuste H7	1	

Figura 5.9: Execução da lista de verificação estruturada.

Para itens cujas questões não atenderam às exigências estabelecidas na lista de verificação, deve-se averiguar o impacto (custo, tempo, risco, entre outros) para implementar a ação requerida (substituição, alteração, reprojeto, entre outros), possibilitando que o referido item esteja conforme.

Ao final da revisão de projeto, deve-se confrontar o resultado obtido, como por exemplo, percentual dos itens atendidos pelo projeto, com a meta pré-estabelecida. O atingimento da meta aprova o projeto em análise. Caso o resultado da revisão ficar abaixo da meta definida, as correções necessárias devem ser implementadas, e ao final, deve ocorrer uma nova revisão de projeto, focada apenas nos itens não atendidos na execução da revisão anterior.

#### 5.4 Comentários Finais

Nesse capítulo apresentou-se a metodologia para a realização da revisão formal de projeto do componente de plástico e do molde de injeção. A Fig. 5.10 apresenta uma visão integrada da proposição apresentada, onde a revisão de projeto é realizada com a utilização de listas de verificação estruturadas representadas pelas ferramentas F1 a F4 (que no entanto, para o contexto desta pesquisa somente serão utilizadas F2 e F3), ao final das fases de engenharia de produto e projeto de molde. O conteúdo dessas listas é o conhecimento da manufatura, obtido por meio de um processo formal de aquisição, formalização e disponibilização desse conhecimento.

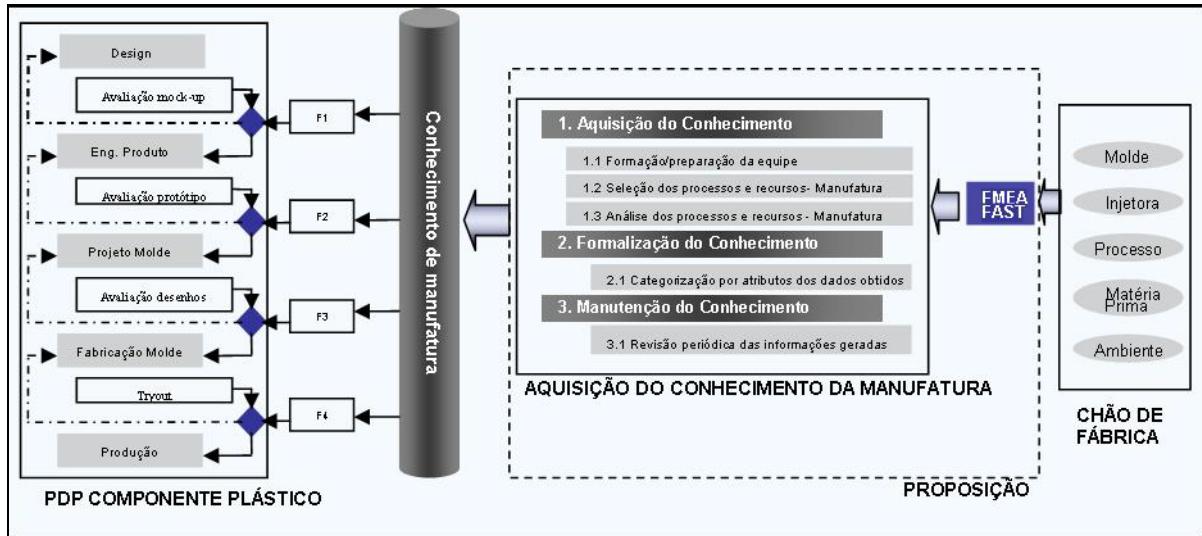


Figura 5.10: Visão integrada do modelo proposto.

O desenvolvimento da proposição, para o domínio de componente de plástico injetado, fundamentou-se em alguns aspectos, dos quais destacam-se: aplicação em organizações que possuam ou não o PDP estruturado, trabalhando em ambiente de engenharia simultânea e que utilizem os marcos de avaliação ao longo do projeto como mecanismo de validação do projeto do componente e do molde; facilidade na implementação e no uso corrente dentro da organização, e por último, a capacidade de sistematizar de modo estruturado o conhecimento da manufatura para o processo de projeto e o emprego de ferramentas que auxiliem a captura e organização do conhecimento dos especialistas.

Para o próximo capítulo, será apresentada a implementação dessa proposição, no contexto do ambiente de manufatura e desenvolvimento de produto da empresa apresentada no Capítulo 2.

## CAPÍTULO 6

### APLICAÇÃO DO MODELO NO DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTE DE PLÁSTICO INJETADO EM INDÚSTRIA ELETRO-ELETRÔNICA

Este capítulo descreve a implementação da proposição apresentada, seguindo os mesmos passos apresentados no Capítulo 5 (e resumidos na Fig. 5.10), no âmbito da empresa apresentada no Capítulo 2.

Essa implementação visa validar o modelo proposto, inicialmente através da aplicação das ferramentas FAST e FMEA para aquisição do conhecimento da manufatura, organizando e disponibilizando esse conhecimento para posteriormente, e através da utilização de listas de verificação estruturadas, empregá-lo na execução da revisão formal de projeto.

A apresentação da implementação da proposição obedece à seqüência cronológica do desenvolvimento das atividades dentro da empresa. Todo o processo de sistematização do conhecimento da manufatura foi realizado integralmente. Por outro lado, houve a necessidade de realizar uma simulação, em relação à execução da revisão formal de projeto, em virtude de não haver nenhum projeto de componente e molde em curso no momento da implementação da proposição dessa pesquisa.

Todo o processo de implementação foi coordenado pelo autor, com auxílio da equipe de trabalho, composta de: 2 técnicos de processo (injeção), 1 técnico de processos (industriais), 2 projetistas de molde, 5 ferramenteiros e 1 manutentor mecânico. A seguir, apresentar-se-á todas as atividades envolvidas na implementação da proposição, bem como uma visão crítica em relação ao processo de implementação e os resultados obtidos.

#### 6.1 Aquisição do Conhecimento

##### Tarefa 1.1 – Formação e preparação da equipe.

A primeira atividade realizada foi a capacitação da equipe sobre as ferramentas a serem utilizadas na proposição (apresentadas no Capítulo 5), para os 11 integrantes da equipe. O autor ministrou curso de FMEA de 3 horas, utilizando como referência para elaboração do material didático os autores: Sakurada (2001), Palady (1997), Stamatis (1995) e Nunes (2001). A maior parte do conteúdo foi referente a FMEA: conceitos, diferença entre abordagem funcional e estrutural e os diferentes tipos de FMEA. Na avaliação do curso feita pelos participantes, foi citado que os exemplos de FMEA apresentados facilitaram o

entendimento de como ocorre o desenvolvimento do FMEA e também a fixação dos conceitos.

O trabalho a ser realizado inicialmente consistia da aplicação de três tipos de FMEA. Em função desse volume de trabalho previsto e considerando a disponibilidade dos profissionais da empresa envolvidos, especialidade requerida e número máximo de seis participantes por FMEA realizado, a equipe foi dividida em dois grupos (denominados, aqui, de G1 e G2<sup>13</sup>). Alguns profissionais participaram dos dois grupos. O autor foi escolhido como o responsável pela condução das aplicações dos FMEAs.

**Tarefa 1.2 – Seleção dos processos e recursos da manufatura.**

A seleção (identificação) dos processos e recursos da manufatura foi feita previamente pelo coordenador. Considerando o desdobramento dos atributos da produtividade, foram escolhidos para análise o processo de injeção, o projeto do molde e as tarefas de manutenção no molde, conforme diretrizes detalhadas no item 5.2.1. Ao final do curso de FMEA, esta “pré-seleção” foi apresentada à equipe, que aprovou a proposta. Nesse contexto, aproveitou-se para realizar os primeiros ensaios de aplicação das ferramentas (FAST e FMEA), propiciando que a equipe pudesse visualizar integralmente todo trabalho a ser desenvolvido.

**Tarefa 1.3 – Análise dos processos e recursos da manufatura.**

O grupo G1 foi alocado para realizar o FMEA Processo “Injeção”, enquanto o grupo G2 ficou responsável em realizar os FMEAs Serviço “Manutenção” e FMEA Projeto “Molde”.

Cada uma das aplicações de FMEA realizadas serão detalhadas a seguir.

### ***6.1.1 FMEA Processo “Injeção”***

O diagrama FAST do processo de injeção foi construído previamente, pelo coordenador e um técnico de processo, e apresentado à equipe G1. A referência para a elaboração do diagrama FAST foi o ciclo de injeção (plastificação do material, injeção, recalque, resfriamento e extração) do referido processo de fabricação e uma abordagem funcional apresentada por Ogliari (1999). A avaliação crítica realizada por G1 determinou alterações no desdobramento das funções existentes, bem como a inclusão de algumas novas funções, como por exemplo, a automação na movimentação das peças plásticas, em função da característica particular da empresa. O referido diagrama FAST encontra-se no Anexo C.

Iniciou-se o FMEA pela descrição dos modos de falha possíveis para as funções listadas no FAST, utilizando a abordagem funcional. Percebeu-se que a descrição do modo de falha

---

<sup>13</sup> G1 – 1 técnico industrial, 2 técnicos de processo, 1 projetista de molde, 1 manutentor, 1 ferramenteiro.  
G2 – 5 ferramenteiros, 1 projetista de molde.

foi facilitada através da aplicação da “regra prática” de Palady (1997), de negação da função como forma de explicitar, de modo simples e conciso, a perda da função.

Na descrição dos primeiros modos de falha foi notório a narrativa seqüencial de alguns membros da equipe, onde se verbalizava o modo e causa da falha como uma única sentença. Exemplificando, para a função “travar molde”, a narrativa do modo de falha foi “...o molde não trava **porque** não tem saída de ar no conjunto bucha-pino guia...”. Ao invés de caracterizar o modo de falha, a tendência, nesse contexto, era de enfatizar a causa da falha, em função de não estar consolidado os conceitos de modo e causa de falha.

Em todas as ocasiões que ocorreu tal confusão conceitual, o trabalho era interrompido pelo coordenador, com a seguinte abordagem:

1. Identificação, para o grupo, de que a narrativa continha modo e causa de falha na mesma sentença “...o molde não trava **porque** não tem saída de ar no conjunto bucha-pino guia...”.
2. Citação do conceito de modo de falha. Uma frase simples que foi empregada e de observou-se sua eficiência: “como o especialista tecnicamente vê e descreve a falha”.
3. Separação do modo de falha - “molde não trava” - da sentença.
4. Separação da causa da falha - não tem saída de ar no conjunto bucha-pino guia...”<sup>14</sup>.

Ocorreu também, com menor freqüência, a descrição confundindo o modo de falha com o seu efeito. A intervenção realizada seguia a mesma sistemática citada anteriormente.

Observou-se que, em se listando numa seqüência direta os efeitos e causas para um determinado modo da falha, a tendência inevitável era potencializar a confusão dos conceitos envolvidos no desenvolvimento do trabalho, tornando-o improdutivo. Dessa forma, optou-se por seguir a sistemática tradicional de desenvolvimento do FMEA: listar todos itens a serem trabalhados, identificar suas funções, a seguir estabelecer os modos de falhas possíveis ou predominantes, identificar os efeitos das falhas e, na seqüência, as causas dos modos de falha.

Na descrição dos efeitos dos modos de falha, estabeleceu-se que o sistema era constituído do molde de injeção, máquina injetora e componente de plástico injetado.

---

<sup>14</sup> A condução do trabalho sofreu de algumas adequações: informações importantes citadas, que estavam circunstancialmente fora de escopo em dado momento do trabalho, eram anotadas separadamente. Tal medida foi adotada no transcorrer do trabalho em função da percepção que muitas informações importantes começariam a ser perder, pois no momento em que deveriam ser novamente citadas, os integrantes já não mais recordariam delas.

Com relação à narrativa das causas das falhas, ocorreu novamente confusão conceitual por parte dos integrantes do grupo, onde a descrição na verdade explicitava na verdade o efeito. Mentalmente, a resposta à pergunta: “quais as causas da falha do modo de falha **não travar o molde** ?”, era raciocinada como “o que causa” o modo de falha ao invés de “qual a causa”. O coordenador procedia à intervenção, com mesma abordagem adotada anteriormente. Foi ressaltado que o escopo do trabalho envolvia somente a identificação das causas das falhas associadas aos projetos do componente ou do molde, suportada pela aplicação do diagrama de Ishikawa.

Para facilitar a condução e produtividade do trabalho, seqüencialmente após a identificação da causa já eram estabelecidas as recomendações/ações. Algumas recomendações não puderam ser totalmente detalhadas durante a execução desse FMEA; o complemento da informação foi realizado *a posteriori*.

Na determinação dos modos e efeitos da falha houve debates, ora para estabelecer e nivelar os conceitos inerentes ao processamento de plástico, ora para caracterizar o modo e efeito de falha, fundamentado no consenso do grupo. Entretanto, observou-se que, na identificação das causas, os integrantes interagiam entre si de modo a complementar a identificação das causas. Desse modo, a partir dessa interação complementar (e consensada), o grupo percebeu a potencialidade da ferramenta, visto que a partir desse ponto é que se definiram as ações, em nível de projeto, para minimizar os problemas para a manufatura, quando da produção de um componente novo. Indubitavelmente, a descrição das causas das falhas foi o momento em que se percebeu maior grau de motivação no grupo de trabalho. Toda a execução do FMEA Processo consumiu 14 horas de trabalho, dividido em reuniões diárias de no máximo 2 horas. Constatou-se, nas primeiras reuniões, que acima dessa duração, o trabalho se tornava extenuante e improdutivo.

Após a finalização do FMEA, visando validar a linguagem textual registrada no formulário, procedeu-se uma revisão e análise crítica individual, por parte de cada integrante do grupo.

O trabalho realizado do FMEA Processo “Injeção” encontra-se no Anexo D.

#### **6.1.2 FMEA Projeto “Molde”**

Previamente ao início da aplicação do FMEA Projeto “Molde”, foi elaborada a estrutura em árvore do molde de injeção (disponível no Anexo B), desdobrada em seus subsistemas e componentes. Essa estrutura em árvore foi a entrada para a primeira coluna (“componente”)

do formulário FMEA. Figuras esquemáticas das partes constituintes do molde também foram utilizadas como material de apoio durante o desenvolvimento do trabalho.

O grupo G2 ficou responsável por desenvolver o FMEA Projeto “Molde”.

Inicialmente, foram descritas as funções relativas a cada componente constituinte do molde.

Nessa aplicação de FMEA, trabalhou-se com as abordagens funcional e estrutural para a descrição dos modos de falha. Observou-se que a descrição simultânea de modo de falha funcional e estrutural, para um mesmo componente, criou um grau de complexidade e dificuldade maiores do que observado no FMEA Processo, gerando, inicialmente, uma certa confusão. Para minimizar esse impacto, primeiramente perguntava-se o modo de falha funcional do componente (na maioria das vezes, a caracterização do modo de falha como a negação da função) e após, os modos de falha estruturais. Somente foram registrados os modos de falha (em ambas as abordagens) factíveis. Portanto, os modos de falha dos componentes ficaram caracterizados como: estruturais, funcionais ou estruturais e funcionais.

Durante a descrição dos modos de falha, percebeu-se que alguns componentes do molde deveriam ter sua estrutura constituinte melhor detalhada; caso contrário o processo investigativo das falhas associadas a esses componentes ficaria superficial. Nessa circunstância, possivelmente alguns modos de falhas poderiam não ser facilmente identificados ou até mesmo esquecidos. Um exemplo é apresentado na Fig. 6.1. onde o subsistema “sistema de gavetas” foi desdobrado em: gaveta, pino guia/câmbio, cunhas, guias laterais, pista deslizante e batente/topi.

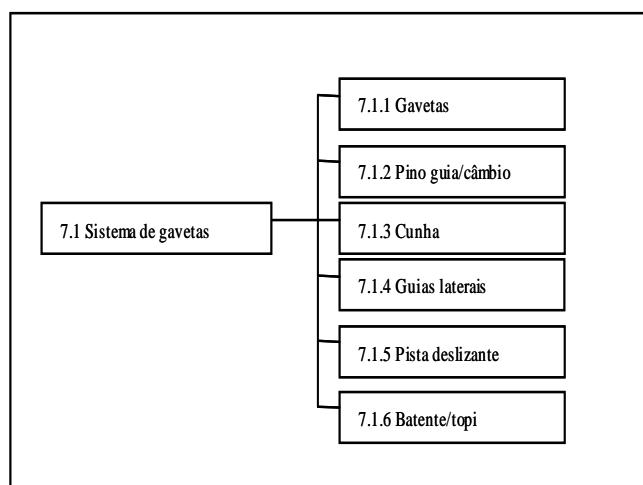


Figura 6.1: Desdobramento da estrutura do molde.

Em relação às confusões conceituais estabelecidas ao longo da aplicação da ferramenta, verificou-se que elas tinham características similares às relatadas no desenvolvimento do FMEA Processo “Injeção”.

Na descrição dos efeitos dos modos de falha, estabeleceu-se que o sistema era constituído do molde de injeção, máquina injetora e componente de plástico injetado.

Para o levantamento das causas dos modos de falha, houve o consenso do grupo para a realização do trabalho na própria ferramentaria. O processo de investigação das causas foi executado a partir da análise *in loco* dos componentes do molde (molde desmontado). Uma vez identificada as causas de determinado modo de falha, imediatamente após registrava-se as ações recomendadas.

As reuniões foram realizadas com duração máxima de 2 horas. Para este grupo, as reuniões foram realizadas com intervalo de 1 à 2 dias entre elas, possibilitando a revisão do formulário FMEA gerado, realizada pelo coordenador do trabalho. Essa revisão se constituiu em uma atividade importante, pois mesmo com toda precaução na condução da aplicação da ferramenta, ainda assim erros de descrição foram localizados e corrigidos. No inicio da reunião seguinte, os erros e dúvidas que foram levantadas eram apresentados ao grupo. A importância dessa revisão reside no fato de evitar que uma informação errada se propagasse ao longo do desenvolvimento do trabalho, o que possibilitaria a perda de alguma informação importante para o componente em questão. O tempo total para a realização desse FMEA foi de 10 horas.

O trabalho realizado do FMEA Projeto “Molde” encontra-se no Anexo E.

#### **6.1.3 FMEA Serviço “Manutenção de Molde”**

O planejamento da execução do FMEA Serviço Manutenção ocorreu conjuntamente com o planejamento do FMEA Projeto Molde. Esse planejamento conjunto foi estabelecido em função da compreensão clara e objetiva que atividade “manutenção em molde” tem relação direta com o projeto do molde. Além disso, foram relevantes para definir esta forma conjunta de trabalho o fato do grupo ser o mesmo designado para as duas tarefas, as informações requeridas para o planejamento serem praticamente idênticas e, principalmente, a proposta de otimizar o tempo disponível dos profissionais da empresa.

Para listar os componentes constituintes do molde, na respectiva coluna do formulário FMEA, foi utilizada a estrutura em árvore do molde de injeção.

O detalhamento das atividades do serviço “realizar manutenção” foi suportado pelo emprego de um fluxograma de atividades (Anexo A). A partir da análise detalhada desse

fluxograma, e utilizando a estrutura em árvore do molde, levantou-se os principais modos de falha funcionais associados à execução das atividades de “realizar manutenção”.

Para racionalização do tempo e recursos disponíveis, as informações (modos de falha) referentes aos componentes do molde que possuíam modos de falhas associados à realização da manutenção, foram transportadas para o formulário FMEA Projeto Molde.

Dessa forma, os FMEA Projeto e Serviço foram conduzidos simultaneamente. A partir desta condução simultânea, para cada componente do molde analisado, poderia haver os modos de falha funcional e estrutural, bem como o modo de falha funcional, dentro do âmbito da realização da atividade de manutenção do molde.

Essa estratégia adotada mostrou-se eficiente para otimizar a realização dos FMEAs. Em se discutindo determinado componente em relação a sua confiabilidade, a discussão foi estendida, nesse contexto, também em relação à manutenibilidade.

O trabalho realizado do FMEA Serviço “Manutenção Molde” encontra-se no Anexo F.

A classificação dos modos e efeitos das falhas, em relação às métricas de mensuração associadas (ocorrência e severidade), apesar de prevista na proposição, não foi realizada para todos os FMEAs efetuados (Processo, Projeto e Serviço), em função da indisponibilidade de tempo dos profissionais da empresa.

## 6.2 Formalização do conhecimento

Após a realização dos FMEAs, teve início a fase de formalização do conhecimento, com a finalidade de estruturar e organizar o conhecimento capturado dos especialistas, a fim de facilitar a consulta, para emprego no processo de projeto, bem como sua posterior atualização e manutenção.

Basicamente, o conhecimento dos especialistas, a partir da análise de falhas desenvolvida com a aplicação dos três tipos de FMEAs, resultou em um conjunto de “ações recomendadas” para o projeto do componente de plástico ou do molde de injeção. Essas “ações recomendadas”, consideradas no processo de projeto, visam eliminar ou mitigar as causas de falhas (associadas ao projeto) ou erros que afetem a produtividade.

### Tarefa 2.1 – Categorização por atributos dos dados obtidos.

A proposta inicial (apresentada na Fig. 5.7) para a categorização do conhecimento da manufatura era subdividida em três atributos: de produto, de processo e morfológico. Em virtude da abrangência limitada da presente pesquisa, essa proposta sofreu pequena adaptação, não considerando na categorização o atributo de processo. Dessa forma, em relação a proposta original apresentada em 5.2.2 e referenciando ao exemplo apresentado na Tab.5.5, a

categorização ficou restrita aos atributos de produto e morfológico, conforme sintetizado a seguir na Tab. 6.1.

Tabela 6.1: Categorização das ações recomendadas em atributos.

Ações Recomendadas	Atributo de Produto	Atributo Morfológico
* avaliar se o ângulo de saída (paredes internas) está adequado, em função da geometria e textura da peça.	Manufaturabilidade	Ângulo de saída
* evitar o posicionamento de machos/postiços na fêmea.	Manufaturabilidade	Postiços/machos
* verificar se há identificação definitiva nos extratores	Mantenabilidade	Extratores
* usar espessura mínima de 30 mm da placa de fixação	Confiabilidade	Placa base fixação (superior)

Para explicitar a relevância da sistematização do conhecimento da manufatura, a Fig. 6.2 apresenta uma ação recomendada para o projeto do molde, mais especificamente, uma gaveta do molde. A ação recomendada proposta, centrada na mantinabilidade (e também custos de manutenção), estabelece que a gaveta do molde deve ter os detalhes de confecção do produto empostiçados e fixados por parafuso (componente do lado direito na Fig. 6.2). Quando do surgimento de uma trinca, devido à solicitação cíclica, e posterior fratura na secção transversal mais crítica (menor), substitui-se rapidamente o postiço quebrado por outro sobressalente, assegurando rápido reestabelecimento da condição operacional do molde. Caso o projeto não conte com esse conceito, além de incorrer mais custos para manutenção, o trabalho e duração da manutenção não planejada são maiores, afetando diretamente a disponibilidade do molde, e por consequência, a produtividade da fábrica.

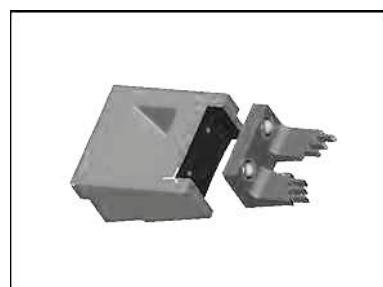


Figura 6.2: Gaveta do molde com detalhe em forma de postiço. (INTELBRAS, 2004).

A estrutura genérica de categorização por atributos foi concebida originalmente para ser suportada, pelo menos, por um banco de dados relacional. Entretanto, como tal ferramenta não se encontrava disponível na empresa, decidiu-se utilizar uma planilha eletrônica, o que demandou maior carga de trabalho. Todas as atividades dessa fase foram desenvolvidas pelo coordenador do trabalho, com duração aproximada de 8 horas.

### 6.3 Revisão Formal de Projeto

A revisão formal de projeto consiste de uma atividade ao final de determinadas fases do processo, objetivando a validação de determinados atributos do projeto. Para o contexto da empresa estudada, foi proposta a execução de duas revisões de projeto: no final das fases “engenharia de produto” e “projeto de molde” (conforme Fig. 2.7). Em função de não haver nenhum desenvolvimento corrente de componente de plástico, estabeleceu-se que as revisões de projeto seriam aplicadas aos produtos e moldes existentes, simulando o ambiente de projeto.

A lista de verificação estruturada foi definida como a ferramenta para suportar a revisão de projeto. Sua elaboração foi realizada a partir das informações disponibilizadas pelos formulários FMEAs, e posteriormente categorizadas por meio da estrutura de atributos. Nesse sentido, todas as “ações recomendadas” foram compiladas em uma única pasta da planilha eletrônica. Nesse momento, criou-se a forma final da lista de verificação, a partir da inclusão das colunas “Sim”, “Não” e “Observações”, apresentada na Fig. 5.8. Para geração da lista de verificação, é necessário simplesmente selecionar a fase do projeto na qual será realizada revisão de projeto. Os Anexos G e H apresentam o conteúdo parcial das listas de verificação do componente e do molde, respectivamente.

Por fim, a execução da revisão de projeto do componente de plástico e do molde de injeção foi realizada por meio da aplicação das listas de verificação estruturadas em componentes e moldes já existentes. A proposta era de, para cada fase avaliada, separar os especialistas em dois grupos. Portanto, para a fase de engenharia de produto um grupo avaliaria o projeto de um componente de plástico reconhecidamente problemático (em relação à produtividade) e o outro grupo aplicaria a lista de verificação à um componente que atende as expectativas em relação à sua produtividade<sup>15</sup>; e da mesma forma para os moldes a serem avaliados.

---

<sup>15</sup> A escolha foi feita a partir da experiência prévia dos especialistas envolvidos nesse trabalho.

Para a execução da revisão de projeto, inicialmente o planejamento foi realizado com a finalidade de disponibilizar todas as informações e recursos necessários, eliminar dúvidas sobre a forma de aplicação da lista e para a subdivisão das equipes.

Na revisão de projeto dos moldes, o grupo determinou que a avaliação seria feita por duas equipes independentes, na ferramentaria, para que o molde a ser avaliado estivesse todo desmontado. A primeira revisão foi feita com dois ferramenteiros e mais o autor (que conduziu a atividade), no horário noturno, no molde 1, denominado “bom”. A duração prevista era de duas horas, porém a atividade foi concluída em uma hora e quarenta e cinco minutos. Durante a aplicação da lista, houve poucas dúvidas em relação ao conteúdo e significado semântico da descrição do que deveria ser avaliado. Nesse sentido, os pontos duvidosos foram identificados para correção posterior.

A segunda revisão foi realizada no molde 2, designado de “ruim”, sendo a equipe composta de 3 ferramenteiros e 2 projetistas de molde, novamente com a coordenação do autor. O tempo de execução da revisão foi de uma hora e meia. Esta revisão foi mais rápida do que a primeira revisão pelo fato de que os problemas observados anteriormente (conteúdo e significado da informação) terem sido corrigidos.

Em ambas aplicações da lista de verificação, caso o item avaliado não estivesse presente no molde, a resposta adotada para o mesmo era “não aplicável” (abreviado como “NA”). Por exemplo, o molde 2 (“ruim”) não possuía articulado, logo, todos os itens a serem avaliados desse componente do molde tiveram como resposta “não aplicável”.

Na revisão de projeto do componente de plástico, decidiu-se avaliar os componentes que eram injetados pelos dois moldes avaliados anteriormente. O molde 1 “bom” injetava dois componentes: tampa de telefone e base de telefone, enquanto o molde 2 “ruim” injetava tampa do monofone. Esses componentes, representando os protótipos funcionais ao final da fase de engenharia de produto, foram disponibilizados para o desenvolvimento desta atividade de revisão.

A aplicação das listas de verificação para os três componentes ocorreu simultaneamente, em função da pouca disponibilidade dos participantes para esse evento. Participaram da atividade: dois técnicos de processo, um projetista de molde, coordenados pelo autor. O tempo total despendido para a finalização dessa revisão de projeto foi de duas horas.

#### **6.4 Avaliação dos Resultados Obtidos**

Com a finalização da atividade de revisão de projeto, pôde-se efetuar uma análise dos resultados obtidos a partir da aplicação das listas de verificação, com intuito de averiguar

quantitativamente se o projeto em questão atendia às necessidades da produtividade da fábrica.

Nesse sentido, o fato das duas revisões terem sido realizadas com produtos e moldes já existentes oportunizou a análise e confrontação destes resultados obtidos com as informações disponíveis no ambiente de manufatura. Essas informações são provenientes da base de dados do controle estatístico de processo e do sistema de gerenciamento da manutenção.

#### **6.4.1 Análise a partir da Revisão de Projeto do Molde**

Objetivando fornecer o resultado final dessas avaliações de maneira sintetizada e representativa do conteúdo da revisão de projeto, os componentes do molde foram agrupados em subsistemas (que representam a estrutura funcional do molde, apresentado no Anexo B, à exceção do subsistema “identificação”). Exemplificando, os itens da lista de verificação do projeto do molde: balancês, articulados e gavetas, entre outros foram categorizados como “Elementos Móveis”; o mesmo princípio de categorização foi estendido para os outros componentes do molde.

A compilação dos resultados das duas revisões de projeto de molde realizadas é resumida na Tabela 6.2. Nessa tabela, “sim” e “não” representam, respectivamente, o atendimento ou não das verificações solicitadas, e “atendimento” apresenta o valor percentual de aprovação atingido do subsistema avaliado. Para o presente trabalho, o percentual mínimo para aprovação de um determinado subsistema é de 80%<sup>16</sup>.

Tabela 6.2: Análise comparativa da revisão de projeto dos dois moldes.

<b>Subsistema</b>	<b>Molde 1 “bom”</b>			<b>Molde 2 “ruim”</b>		
	<b>Sim</b>	<b>Não</b>	<b>Atendimento</b>	<b>Sim</b>	<b>Não</b>	<b>Atendimento</b>
<b>Cavidade</b>	6	1	86%	4	3	57%
<b>Identificação</b>	1	2	33%	0	3	0%
<b>Postiços/Gavetas</b>	22	1	96%	6	9	40%
<b>Saída gases</b>	2	0	100%	1	2	33%
<b>Sistema de Alimentação</b>	14	6	70%	15	4	79%
<b>Sistema Extração</b>	19	7	73%	17	6	74%
<b>Sistema Mecânico</b>	22	3	88%	16	9	64%
<b>Sistema Refrigeração</b>	9	1	90%	8	2	80%
<b>Total geral</b>	95	21		67	38	

<sup>16</sup> Também definido a partir da experiência dos especialistas.

As Fig. 6.3 e Fig. 6.4 apresentam, sob a forma de diagrama radar, os resultados das revisões de projeto para os subsistemas dos dois moldes avaliados, bem como o limite de aprovação pré-estabelecido (representado pela linha tracejada).

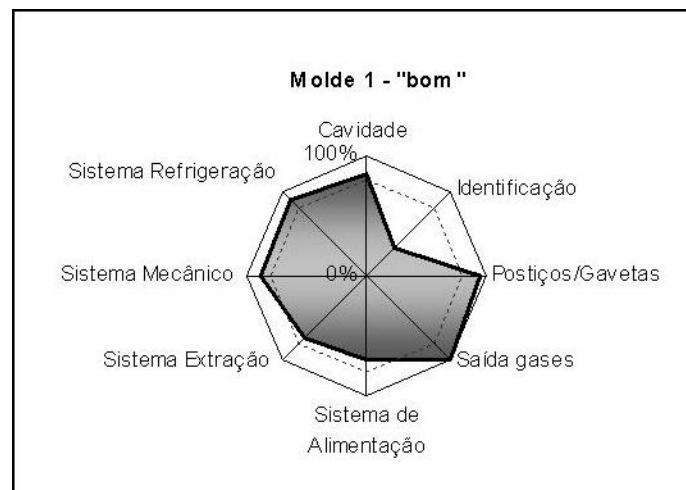


Figura 6.3: Resultado da revisão de projeto – Molde 1 “bom”.

Para o molde 1 “bom”, apenas a parte de identificação do molde (numeração e codificação dos elementos móveis, tais como: gavetas, extratores, etc...) apresentou-se com insatisfatória (33%), enquanto que os sistemas de extração (73%) e alimentação (70%) receberam avaliação muito próxima do valor mínimo de aprovação.

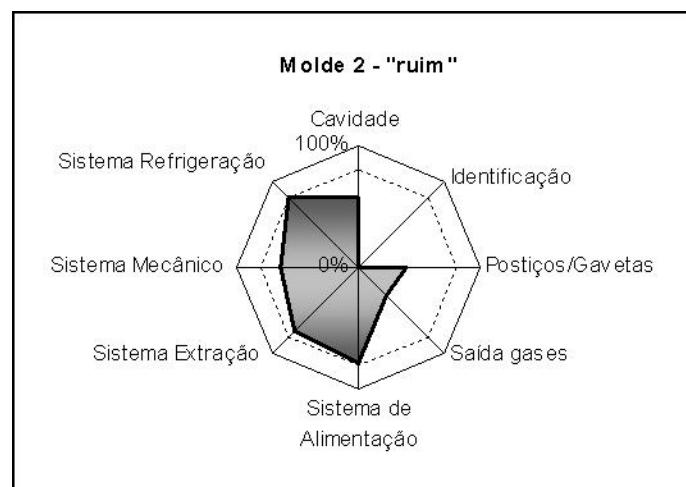


Figura 6.4: Resultado da revisão de projeto – Molde 2 “ruim”.

No molde 2 “ruim”, foram detectados problemas em quase todos subsistemas avaliados, exceto em relação ao sistema de refrigeração do molde (80%); e também os sistemas de alimentação (79%) e extração (74%) obtiveram avaliação muito próxima do limite mínimo.

Tabela 6.3: Análise por atributos da revisão de projeto dos dois moldes.

<b>Atributo</b>	<b>Molde 1 “bom”</b>			<b>Molde 2 “ruim”</b>		
	<b>Sim</b>	<b>Não</b>	<b>Atendimento</b>	<b>Sim</b>	<b>Não</b>	<b>Atendimento</b>
<b>Confiabilidade</b>	43	6	88%	30	15	67%
<b>Mantenabilidade</b>	19	5	79%	12	10	55%
<b>Manufaturabilidade</b>	37	10	79%	29	13	69%
<b>Total</b>	99	21	83%	71	38	65%

Para complementar a análise, foi proposto organizar os dados sob a perspectiva dos atributos desdobrados da produtividade, apresentados na Tab. 6.3. Deste modo, o molde 1 “bom” quase que integralmente atinge o valor referência de 80% para os três atributos desdobrados da produtividade. Já o molde 2 “ruim” apresenta valores bem inferiores em relação ao molde 1 “bom”, com a “mantenabilidade” possuindo apenas 55% dos itens verificados atendidos.

A partir dessa análise final estabelecida para as revisões de projeto realizadas, buscou-se na base de dados do sistema informatizado da manutenção (da área de ferramentaria), apresentado na Fig 2.12, as informações históricas referentes às manutenções corretivas realizadas nos dois moldes. A proposta era de estabelecer uma confrontação direta entre o resultado final da simulação das revisões de projeto e os problemas detectados na operação, através do número de manutenções corretivas, ou seja, não planejadas, e as métricas de desempenho associadas da manutenção. Para o período analisado de 10 meses, referente ao ano em que houve grande utilização da capacidade instalada, as informações estão resumidas na Tab. 6.4.

Tabela 6.4: Dados históricos de manutenção.

	<b>MTTR</b> (horas)	<b>MTBF</b> (dias)	<b>Man. Corretiva</b> (horas)
<b>Molde 1 "bom"</b>	3:52	31,2	23:15
<b>Molde 2 "ruim"</b>	3:46	5,8	120:40

Fonte: INTELBRAS, 2001.

Como comentado ao longo dessa dissertação, a produtividade da fábrica é um aspecto fundamental para a sobrevivência de empresas que atuam no segmento eletro-eletrônico. A produtividade, nesse contexto, depende fundamentalmente dos atributos: manufaturabilidade do componente de plástico, confiabilidade e manutenabilidade do molde de injeção.

A partir da análise das informações das Tabelas 6.2, 6.3 e 6.4, juntamente com as Fig. 6.3 e 6.4, percebe-se que a identificação afeta diretamente a manutenabilidade. Nesse sentido, não é um fator operacional em si, mas sim mantinabilístico. De alguma forma, postiço/gaveta, sistemas de extração, refrigeração e mecânico também influenciam a manutenabilidade do molde.

A análise da Tab. 6.4, demonstra que o tempo médio de reparo (MTTR) é pouco influenciado para os moldes 1 “bom” e 2 “ruim”. Pode-se inferir que esta pouca diferença está associada ao fato de ter-se uma boa gestão de manutenção, bom ferramental, capacitação e experiência dos agentes de manutenção, dado que estas ações que repercutem no tempo médio de reparo são próprias desses agentes. Associa-se a essa análise o resultado de atendimento da manutenabilidade (Tab. 6.3), onde para o molde 1 “bom” obteve 79% dos itens atendidos, contra apenas 55% no molde 2 “ruim”; então, confirma-se que os fatores citados que afetam diretamente o tempo médio de reparo. Logo, as ações implementadas pelos agentes de manutenção no sentido de minimizar os efeitos negativos na manutenção, criados a partir de um projeto não orientado a manutenabilidade, fizeram com que a diferença entre os tempos médios de reparo entre o molde 1 “bom” e 2 “ruim” ficasse praticamente idêntica.

Com relação à confiabilidade dos moldes na operação, observou-se que o tempo médio entre falhas do molde 1 “bom” é quase cinco vezes maior do que no molde 2 “ruim”. Em números absolutos, durante o período de 10 meses, o molde 1 “bom” demandou cerca 23 horas de manutenção não planejada, enquanto que o molde 2 “ruim” necessitou de aproximadamente 120 horas. O resultado apresentado na Tab. 6.3, permite inferir sobre a origem dessa diferença observada nos tempos médios entre falhas dos dois moldes; enquanto

que o molde “bom” conseguiu o atendimento de 83% dos itens da lista de verificação associados à confiabilidade, o molde 2 “ruim” não ultrapassou 65%.

Excetuando-se a identificação, todos os outros subsistemas listados na Tab. 6.2 contribuem para a confiabilidade do molde. Pode-se perceber facilmente que esses subsistemas estão ordenados em série, para efeito da análise de confiabilidade. Assim, a falha de qualquer um desses subsistemas compromete a qualidade do produto que está sendo produzido, ou até mesmo, ocasionar a parada de produção. Ao se considerar que esses subsistemas são compostos de vários componentes, e que face aos aspectos construtivos do molde, todos estão em série, pode-se visualizar a importância de uma ferramenta bem estruturada para realizar a revisão formal de projeto.

A partir dessa análise histórica dos dados de manutenção, a respeito da performance do molde de injeção no ambiente de produção, confrontada com os resultados obtidos para as revisões de projeto realizadas, conclui-se que o modelo apresentado tem consistência e efetivamente propicia um mecanismo para assegurar que os problemas, em nível de projeto, sejam realmente resolvidos antes de alcançarem a manufatura.

#### ***6.4.2 Análise a partir da Revisão de Projeto do Componente de Plástico***

Da mesma forma que procedeu-se para a revisão do projeto do molde, os dados da listas de verificação preenchidas para os componentes de plástico foram organizados em categorias, visando fornecer os resultados sintetizados das revisões de projeto realizadas. Desse modo, os itens da lista foram classificados em diversas categorias, associadas principalmente aos elementos que fazem parte da geometria do componente de plásticos: nervuras, rebaixos, furos, entre outros.

O resultado a partir das listas de verificação é apresentado na tabela 6.5 , onde peça 1 e peça 2 são os componentes de plásticos que são injetados no molde 1”bom”, enquanto peça 3 é produzida pelo molde 2 “ruim”. Nessa tabela, “sim” e “não” representam, respectivamente, o atendimento ou não das verificações solicitadas, e “atendimento” apresenta o valor percentual de aprovação atingido do subsistema avaliado. Novamente, o limite de aprovação pré-estabelecido, para determinada categoria, é de 80%. Caso o componente não possuísse o item avaliado, recebia no mesmo a valoração de 100%, como ocorreu, por exemplo, no item “aletas” na “peça 2” e “peça 3”.

Tabela 6.5: Análise comparativa das revisões de projeto dos componentes.

Item	peça 1			peça 2			peça 3		
	Sim	Não	Atendimento	Sim	Não	Atendimento	Sim	Não	Atendimento
<b>aletas</b>	0	3	0%	0	0	100%	0	0	100%
<b>peça x injetora</b>	3	0	100%	3	0	100%	3	0	100%
<b>ângulo saída</b>	1	0	100%	1	0	100%	1	0	100%
<b>ângulo extração</b>	1	0	100%	1	0	100%	0	1	0%
<b>acab. superficial</b>	1	0	100%	1	0	100%	1	0	100%
<b>esp. de parede</b>	1	2	33%	2	1	67%	1	2	33%
<b>furos</b>	1	1	50%	0	0	100%	0	1	0%
<b>nervuras</b>	2	0	100%	0	2	0%	0	2	0%
<b>rebaixo</b>	1	2	33%	3	0	100%	0	0	100%
<b>torres</b>	0	3	0%	1	2	33%	1	2	33%
<b>travas</b>	0	1	0%	1	0	100%	0	1	0%
<b>Total</b>	11	12	48%	13	5	72%	7	9	44%

As Figuras 6.5, 6.6 e 6.7 representam de forma visual, através do diagrama radar, os resultados expressos na Tab. 6.5. onde a linha tracejada circunscrita representa o limite de aprovação definido.

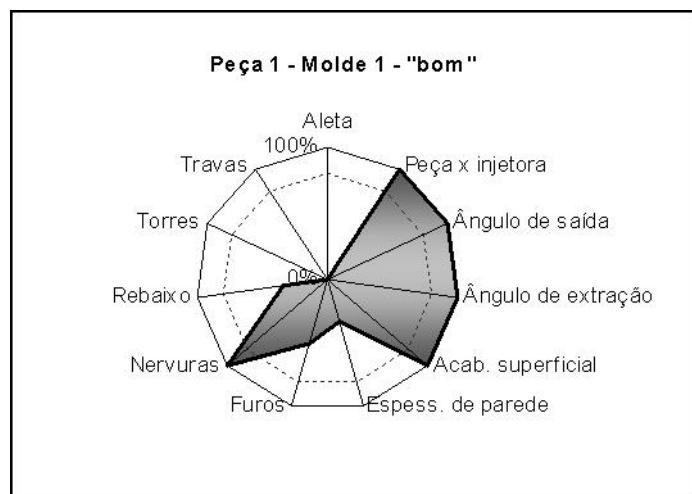


Figura 6.5: Resultado da revisão de projeto – Peça 1 – Molde 1 "bom".

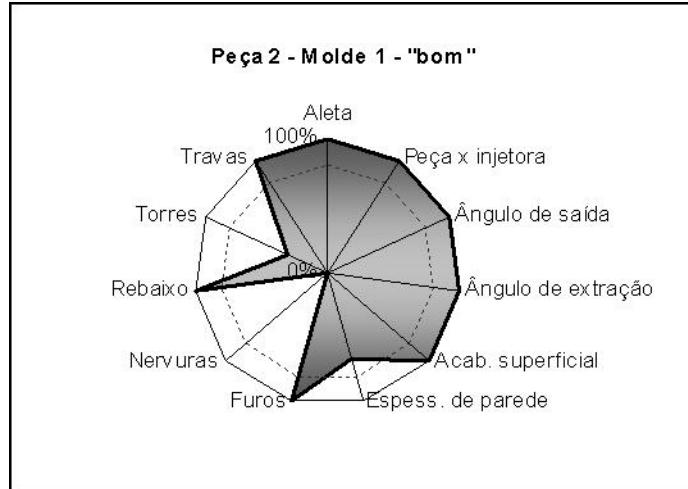


Figura 6.6: Resultado da revisão de projeto – Peça 2 – Molde 1 ”bom”.

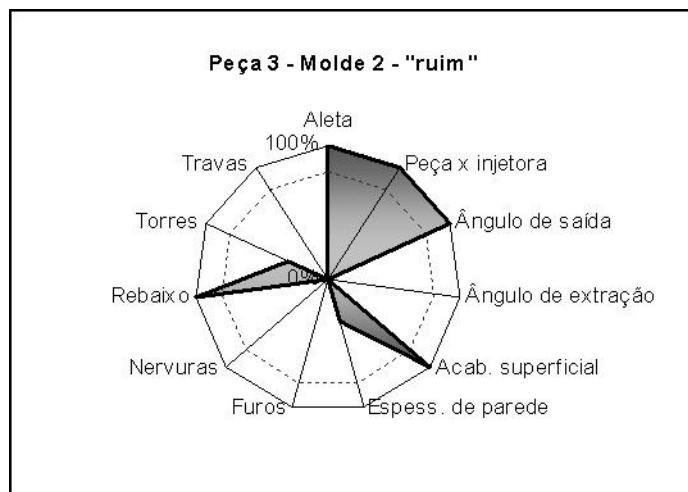


Figura 6.7: Resultado da revisão de projeto – Peça 3 – Molde 2 ”ruim”.

Na Fig. 6.5 nota-se que, para a “peça 1- molde 1 bom”, que não foram atendidos: espessura de parede, furo, rebaixo, torres, travas e aletas. Já na Fig 6.6, percebe-se que a peça 2 do mesmo molde (1 “bom”), somente os itens: espessura de parede, nervuras e torres não foram atendidos. Para o outro molde (2 “ruim”) a peça 3 (Fig. 6.7) só aprovou os itens aletas, alocação peça x injetora, ângulo de saída, acabamento superficial e rebaixos.

Para realizar a confrontação da informação oriunda da revisão de projeto dos componentes com os dados sobre o desempenho operacional para produção dos componentes analisados, foi realizada uma pesquisa na base de dados do controle estatístico de produção (CEP). A proposta era de estabelecer uma confrontação direta entre o resultado final da simulação das revisões de projeto e os problemas detectados na operação, por meio do

percentual de refugo correspondente aos componentes analisados. Para o período analisado de 4 meses, o qual também faz parte do intervalo de tempo no qual os dados históricos da manutenção dos respectivos moldes foram levantados, as informações estão resumidas na Tab. 6.6.

Tabela 6.6: Dados do controle estatístico de processo.

	Componentes	% Refugo
<b>Molde 1 "bom"</b>	peças 1 e 2	3,24%
<b>Molde 2 "ruim"</b>	peça 3	4,04%

Fonte: INTELBRAS, 2001.

Para os itens avaliados da lista de verificação, apresentados na Tab. 6.5, apenas “peça x injetora” pode afetar a mantinabilidade do molde, os demais itens, estão todos associados ao atributo manufaturabilidade do componente. A partir dos dados apresentados na Tab. 6.6, nota-se uma diferença de 0,8% entre o refugo gerado pelo molde 2”ruim” em relação ao molde 1”bom”. Infere-se que, em se considerando igual, para ambos os moldes, a condição ambiental, o estado da matéria-prima, a parametrização de processo e o estado de operação da máquina injetora, essa diferença estabelecida está potencialmente associada ao projeto do componente. Nesse sentido, os percentuais médios de aprovação para cada componente avaliado (apresentado na linha “total” da Tab. 6.5) auxiliam a dar consistência a essa inferência: peça 1(48%), peça 2 (72%) e peça 3 (44%).

Nesse contexto, novamente explicita-se a importância da aplicação das listas de verificação estruturadas, dentro da revisão de projeto, como um mecanismo para filtrar os problemas de projeto que afetam a manufaturabilidade, antes que eles cheguem à fábrica.

## 6.5 Avaliação da Proposição

Uma vez apresentada e implementada a proposição, definiu-se pela realização de uma avaliação, objetivando averiguar o atendimento dos objetivos propostos nessa dissertação, apresentados no item 1.2.

As questões foram elaboradas a partir da sistemática de avaliação apresentada e proposta por Romano (2003), fundamentada em critérios, tais como: escopo, exatidão, profundidade, competência, clareza, generalidade, entre outros. As questões formuladas para proceder a avaliação são apresentadas na Tab. 6.7.

Tabela 6.7: Questões para avaliação da proposição.

Questões
1. a proposta apresentada assegura que a produtividade da fábrica será considerada no projeto ?
2. a proposta é de fácil aplicação ?
3. os passos para execução da proposta são detalhados o suficiente?
4. a proposta é clara no seu objetivo e passos a serem executados ?
5. a proposta consegue evitar que problemas de projeto cheguem na fábrica?
6. a proposta pode ser aplicada a qualquer projeto de peça plástica e molde?
7. a proposta integra as áreas de conhecimento da injetora (manutenção molde e máquina, processo)?
8. em relação ao resultado apresentado, os resultados foram consistentes/coerentes?
9. a proposta permite a sua expansão para novas situações não previstas inicialmente?
10. a proposta disponibiliza toda informação da fábrica para o projeto do molde e da peça plástica?

Cada pergunta poderia ter como resposta um valor numérico, com as alternativas descritas a seguir:

- 0 (zero): sem resposta.
- 1 (um): não atende a questão.
- 2(dois): atende muito pouco a questão.
- 3 (três): atende parcialmente a questão.
- 4(quatro): atende quase integralmente a questão.
- 5(cinco): atende integralmente a questão.

O grupo selecionado para realizar essa avaliação era composto pelos gestores e especialistas com envolvimento direto no processo de desenvolvimento do componente de plástico e molde de injeção e no processo de manufatura (operação e manutenção): 2 técnicos de processo, 2 projetistas de molde, 1 técnico industrial, 1 gerente de P&D, 1 gerente de Qualidade, 1 supervisor de Manutenção. Previamente a entrega do questionário, foi realizada uma apresentação sobre a pesquisa desenvolvida, visando estabelecer o mesmo nível de informação entre os participantes.

Para o estabelecimento do grau de atendimento de cada questão da avaliação, foi procedido o cálculo, a partir do somatório das notas individuais, e na sequência, dividindo-se este valor pelo produto do número de participantes e a nota máxima (cinco). O resultado final da avaliação está disponibilizado na Tab. 6.8.

Tabela 6.8: Resultado da avaliação da proposição.

Questão	Nota
1. a proposta apresentada assegura que a produtividade da fábrica será considerada no projeto ?	93,3%
2. a proposta é de fácil aplicação ?	80,0%
3. os passos para execução da proposta são detalhados o suficiente?	86,7%
4. a proposta é clara no seu objetivo e passos a serem executados ?	83,3%
5. a proposta consegue evitar que problemas de projeto cheguem na fábrica?	66,7%
6. a proposta pode ser aplicada a qualquer projeto de peça plástica e molde?	100,0%
7. a proposta integra as áreas de conhecimento da injetora (manutenção molde e máquina, processo)?	93,3%
8. em relação ao resultado apresentado, os resultados foram consistentes/coerentes?	86,7%
9. a proposta permite a sua expansão para novas situações não previstas inicialmente?	86,7%
10. a proposta disponibiliza toda informação da fábrica para o projeto do molde e da peça plástica?	70,0%

Ao se analisar a Tab 6.8, constata-se que 80% das perguntas obtiveram nota superior 80%. Alguns comentários feitos pelos participantes, reforçam esta percepção positiva em relação a sistemática proposta:

“Esse trabalho é de fundamental importância, pois nos projetos anteriores já concluídos não houve envolvimento das áreas afins, gerando transtorno no processo produtivo, quanto a qualidade do produto e quantitativamente. Entretanto, com essa ferramenta, temos como apontar possíveis mudanças no concepção do projeto visando os melhores recursos internos e suas limitações de modo que possíveis problemas sejam previstos e solucionados ainda na concepção.” (Técnico de processos).

“Sem dúvida, esse trabalho é de grande valia para a Intelbras, pois irá proporcionar que erros não se repitam e que experiências sejam reconhecidas e bem aproveitadas.” (Gerente de P&D).

“Muito importante termos registrado e sendo utilizado o conhecimento e informação que irão gerar melhores resultados para a execução do projeto, ganhando competitividade no mercado. É essencial termos no projeto com menor custo; inclusive custos de retrabalhos e minimizar as perdas produtivas, para alcançar os objetivos de produtividade.” (Técnico de Processos).

“Todas as ferramentas usadas para evitar falhas serão bem vindas.” (Projetista de molde).

Na Tab. 6.8 verifica-se que as maiores preocupações residem na efetividade da sistemática proposta em resolver os problemas (pergunta 5) e na capacidade dela prover toda informação necessária para o ambiente de desenvolvimento de produto (pergunta 10). De certo modo, estas constatações concernem ao fato de que a implementação foi realizada em

produtos já existentes e sobre a necessidade de informatização, para continuidade do trabalho, conforme as observações registradas:

“Para que a proposta possa evitar que os problemas cheguem na fabrica é preciso primeiro aplicar em um projeto novo, pois somente com a experiência é que podemos afirmar com certeza.” (Gerente P&D).

“É importante estabelecer uma sistemática de manutenção das informações da avaliação, incluindo os itens que forem observados ao longo do tempo e que não fazem parte da proposta” (Gerente P&D).

“A informatização vai ajudar na forma de aplicação da ferramenta de acordo com o tipo de projeto/peça em análise, pois nem todos os pontos se aplicam a todos os projetos.” (Coordenador de Projetos).

“É importante lembrar que quanto à generalidade existem particularidades em moldes que fogem ao que é usual à Intelbras e que podem ser acrescentados.” (Projetista de molde).

## 6.6 Comentários Finais

Este capítulo foi destinado a dissertar sobre a implementação da proposição. Foi descrita a forma de realizar a aquisição e categorização do conhecimento da manufatura, visando utilizá-lo no processo de projeto. Detalhou-se também toda a realização da revisão de projeto suportadas por listas de verificação estruturadas, a partir de moldes e componentes de plásticos existentes.

A análise comparativa apresentada, obtida a partir da aplicação da lista de verificação em dois moldes e seus componentes de plástico associados, buscou validar a consistência da sistemática proposta. Dessa forma, os especialistas aplicaram as listas a dois moldes, um com boa produtividade e outro que não atendia os objetivos. Os resultados obtidos permitem afirmar que a lista de verificação, em função da abrangência e profundidade, consegue estabelecer um filtro para evitar que eventuais problemas de projeto possam repercutir na produtividade da fábrica. Visto de outro modo, as listas de verificação contemplam e formalizam quase todos modos de falhas com probabilidade de ocorrência no componente de plástico e no molde.

Por fim, com intuito de validar toda a formulação e implementação da proposição na empresa, procedeu-se uma avaliação junto aos especialistas e o corpo gerencial na qual, apesar de uma satisfatória aceitação, foram constatadas algumas preocupações com relação à efetividade da sistemática.

No último capítulo, apresentar-se-á as conclusões relevantes desse trabalho de pesquisa realizado e as recomendações para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Dado o cenário de concorrência no mundo dos negócios e considerando o desdobramento da estratégia empresarial em seus diversos processos (Fig. 7.1), associados à relevância da performance das operações para atingir as expectativas pré-estabelecidas, ao longo dessa dissertação procurou-se desenvolver e validar uma proposição que integrasse o conhecimento disponível na interface entre o processo de manufatura (“chão de fábrica”) com o processo de desenvolvimento do componente de plástico e do molde de injeção.

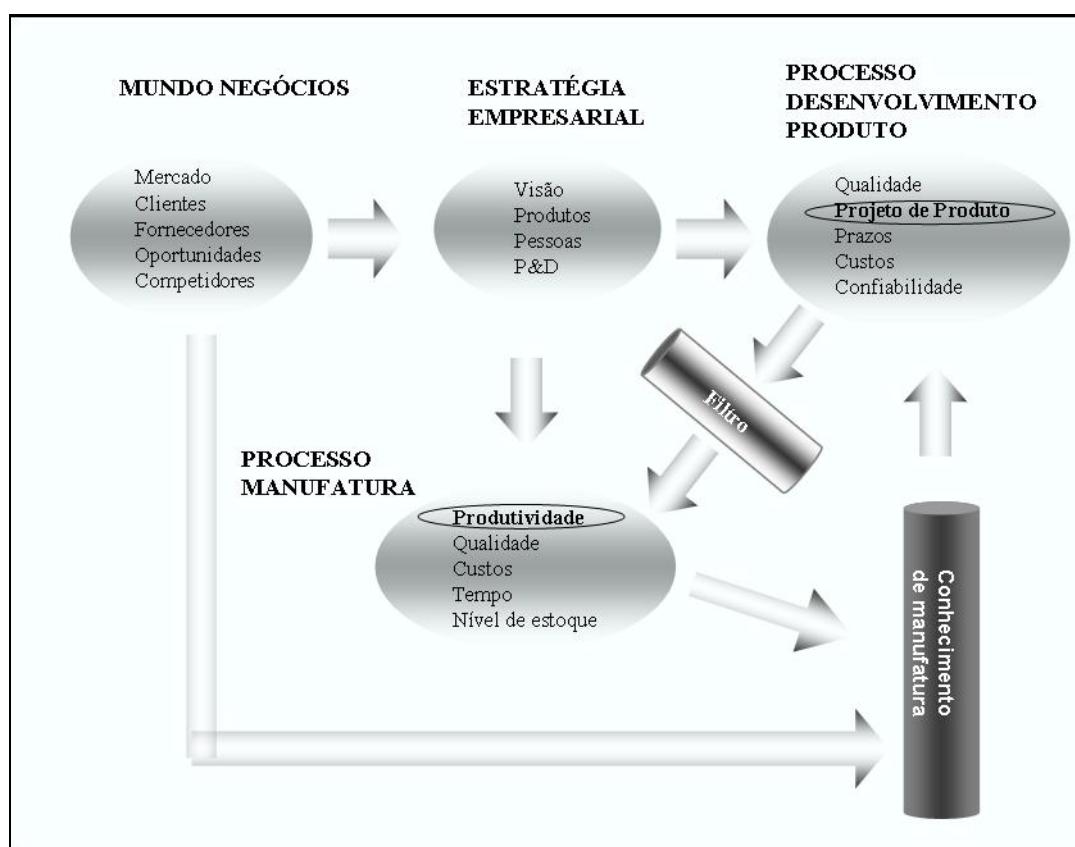


Figura 7.1: Desdobramento da estratégia orientada para a produtividade e qualidade de produto na indústria eletro-eletrônica.

O objetivo principal desta proposição era de minimizar ou eliminar os problemas que freqüentemente são encontrados ao longo de todo processo de desenvolvimento, derivados da falta de integração entre o projeto e a manufatura, e que culminam com sérios problemas para a manufatura ao final do projeto, tais como: alto índice de refugos dos componentes de

plástico, alto índice de falha do molde de injeção, dificuldade para realizar uma manutenção eficiente no molde, baixa confiabilidade de componentes do molde, entre outros. A ocorrência desses eventos afeta diretamente a qualidade e os custos do produto final, o que por sua vez pode acarretar, dentro do contexto gerencial, em paradas da linha de montagem, atrasos na entrega dos pedidos dos clientes e a perda de lucratividade da empresa. Então, do ponto de vista estratégico, a conjunção de todos esses fatores mencionados leva a um cenário no qual as organizações potencialmente perdem competitividade.

Para contribuir na solução desse problema e cumprir o objetivo preconizado no capítulo 1, haveria que se ter então uma proposição para geração do conhecimento e o meio pelo qual esse conhecimento devesse ser empregado, sob forma de filtros, na interface mencionada (Fig. 7.1).

Para o desenvolvimento da solução, entre outros aspectos, essa proposição deveria estar alicerçada nos fundamentos metodológicos sobre o tema, disponíveis na literatura científica, ao mesmo tempo que viabilizasse sua implementação e posterior utilização dentro das organizações, considerando também as características estruturais (ambiente de desenvolvimento fragmentado) inerentes ao setor de transformação de plásticos. Nesse sentido, a intenção foi que a sistemática proposta pudesse se tornar prática corrente dentro das organizações, como o meio de eliminar os problemas citados anteriormente, justamente por promover a integração formal entre manufatura e projeto. Visto por outro ângulo, a proposição subsidia o processo decisório no âmbito do projeto de produto. Assim, os agentes de projeto possuem um conjunto e nível de informações suficiente para, entre outros atributos correlacionados ao projeto de produto, fazer as escolhas adequadas que contemplem também a produtividade da fábrica.

A proposição foi desenvolvida, a partir do referencial teórico e dos problemas e características encontradas na empresa estudada, para ter aplicação abrangente. Dessa forma, a mesma poderia ser empregada em empresas cujo processo de desenvolvimento de componente de plástico e molde é integrado, está claramente definido e consolidado, em relação as fases e tarefas do processo, e que não utilizam a ferramenta “lista de verificação estruturada” para realizar uma revisão formal do projeto. Por outro lado, aquelas empresas em que não existe o formalismo em relação ao PDP, a proposição estabelece uma perspectiva de auferir um resultado relativo muito mais significativo, haja vista a tendência, nesse contexto, de que a integração com o processo de projeto seja praticamente nula. Então, a revisão formal, conforme apresentado na Fig.7.1 na interface entre os processos de desenvolvimento de produto e manufatura, atua como um mecanismo, ou melhor, um filtro para evitar que

problemas e falhas (a partir do projeto de produto) já conhecidos, e que afetam a produtividade da fábrica, possam reincidir nos novos e futuros desenvolvimentos de produtos.

Para a implementação bem sucedida da proposição, antes de qualquer iniciativa há que se ter uma disposição da organização em priorizar a qualidade e a produtividade do processo produtivo. Para que isso efetivamente ocorra, existe a necessidade de realizar investimento em qualificação pessoal, através de um processo de capacitação. A partir desse ponto, a decisão de estudar o processo produtivo para capturar e gerar o conhecimento que deverá ser disponibilizado para as atividades de avaliação nos processos formais de revisão de projeto pode seguir, basicamente, duas opções. A primeira opção é a realizar a implementação durante o processo de desenvolvimento, o que demandaria mais recursos para sua execução ou sobrecarga nos recursos já disponíveis, considerando-se que as atividades são realizadas em ambiente de engenharia simultânea. A segunda opção é realizar a aplicação da proposição independente de haver um processo de desenvolvimento em curso, o que possibilitaria uma melhor organização e disponibilidade dos recursos da empresa, para a execução das atividades definidas na proposição. Particularmente, a implementação nessa dissertação foi de acordo com a segunda opção. Nesse sentido, observou-se que o fato do trabalho desenvolvido não estar diretamente ligado a um projeto de produto em andamento, cria-se maior flexibilidade em relação ao prazo para conclusão da implementação. Isso é um aspecto crucial, principalmente em relação à sistematização do conhecimento da manufatura, onde durante a aplicação das ferramentas pode gerar a necessidade de uma discussão mais abrangente, demandando mais tempo.

## 7.1 Sistematização do Conhecimento da Manufatura

O objetivo da sistematização do conhecimento da manufatura era capturar o conhecimento dos especialistas no chão de fábrica, e organizá-lo, de modo a propiciar o seu emprego no processo de projeto. Para isso, os meios de suporte foram as ferramentas FAST, FMEA e diagrama de Ishikawa, aplicadas de forma integrada e usando planilha eletrônica.

A aplicação do FAST, previamente ao uso do FMEA, realmente auxilia na realização da análise funcional. Da forma que a informação está disposta, permite uma rápida visualização e o entendimento necessário para as funções desdobradas.

Na realização dos FMEAs, o fato do autor (enquanto coordenador do trabalho) ter experiência profissional prévia na área de processamento de plástico (o que não é obrigatório) auxiliou de sobremaneira a gerenciar os conflitos intrínsecos durante a aplicação da ferramenta. Dessa maneira, as discussões foram abreviadas e o desenvolvimento do trabalho

prosseguiu de modo produtivo. Assim, para o desenvolvimento dessa aplicação das ferramentas FMEA e FAST deve ficar explícito a importância da interação efetiva entre um líder dos especialistas e o coordenador do trabalho. Essa interação deve começar já na fase de planejamento da aplicação, onde é muito importante o detalhamento (e algumas simulações preliminares do uso da ferramenta) para assegurar que o trabalho tenha êxito.

Outro ponto fundamental para o desenvolvimento bem sucedido dos diferentes tipos de FMEAs foi o curso ministrado previamente. Além de desmistificar o uso da ferramenta, na execução do trabalho foi notório como os participantes tinham o claro entendimento dos conceitos envolvidos. Isso refletiu positivamente, tanto para a condução do trabalho, quanto para a externalização do conhecimento dos próprios especialistas de uma forma estruturada.

A participação efetiva dos especialistas é outro ponto primordial. Apesar de não ter sido possível na realização desse trabalho, recomenda-se também a participação de representantes dos diferentes fornecedores envolvidos ao longo do processo de desenvolvimento.

O desenvolvimento do FMEA proporciona a geração e o compartilhamento do conhecimento dos especialistas de modo estruturado. Nesse sentido, apresenta-se o comentário feito por um dos profissionais que participou do trabalho (responsável internamente pelo projeto do componente e do molde), com larga experiência, porém com menos de um ano de trabalho na área de produtos para telecomunicações. Segundo esse especialista, o desenvolvimento do trabalho suportado pela utilização do FMEA, propiciou uma visão bem abrangente acerca dos diversos problemas que ocorrem na produção dos componentes de plástico e na manutenção dos moldes, bem como as características técnicas diferenciadas dos grupos de máquinas injetoras. Isso proporcionou a ele uma aceleração no processo de aprendizado sobre as características da manufatura dentro da organização.

No final da aplicação do FMEA Processo “Injeção”, algumas recomendações não foram apresentadas; houve necessidade de realizar uma pesquisa para buscar a informação. Assim, o uso do FMEA explicita uma deficiência coletiva em relação a um determinado tópico ou assunto. O grupo não dominava as denominadas “regras práticas de projeto” para o componente de plástico, fartamente disponíveis na literatura e *websites* de fornecedores de matéria-prima. Em tese, deveriam não saber, pois esse é um domínio de conhecimento pertencente aos agentes de projeto que, geralmente, estão localizados externamente à empresa. Entretanto, os agentes de manufatura, a partir da capacitação nesse conhecimento inerente ao projeto, podem contribuir construtivamente, por exemplo, visualizando os impactos no processo de injeção, na injetora e no molde, de uma nervura de dois milímetros de espessura posicionada na parte anterior de uma tampa de telefone.

Em relação à variável humana na execução do FMEA, observou-se na maior parte do tempo que houve pró-atividade e interesse dos especialistas, com bom nível de interação e discussão conceitual dos problemas. Certamente, isso facilitou a condução do trabalho. Nesse contexto, o grupo com no máximo seis pessoas mostrou ser adequado.

## 7.2 Revisão Formal de Projeto

A revisão formal de projeto visa assegurar o cumprimento de determinadas características associadas aos diferentes atributos requeridos pelo produto. Para o presente trabalho, foi estabelecido como atributo prioritário a produtividade.

A lista de verificação demonstrou ser uma ferramenta de análise que prima pela praticidade e simplicidade. A sua estruturação é fundamental; isso proporciona que o seu conteúdo tenha a abrangência (várias categorias) e profundidade (várias verificações na categoria) suficientes para sua contribuição como ferramenta de aprovação de fase do processo de projeto. Dentro dessa visão é que a sua aplicação, no presente trabalho, permitiu que os modos de falha do molde de injeção, em relação a sua operação ou manutenção, fossem formalizados, por exemplo, em aproximadamente 120 itens de verificação em relação a seu projeto, sendo avaliados em cerca de uma hora e meia.

A lista de verificação tem caráter preventivo, fundamentado principalmente na experiência prévia do processo e dos especialistas, em relação aos problemas e falhas ocorridos na operação e manutenção. Entretanto, não deve ser utilizada de forma dogmática, de modo a coibir o processo de inovação que se faz necessário, face à pressão por competitividade dos processos de produção e desenvolvimento de produto, e por consequência, da organização.

Há que se considerar, e recomenda-se, como pré-requisito para aplicação das listas na revisão formal de projeto, que as fases e tarefas associadas estejam claramente definidas, para potencializar os benefícios advindos da revisão de projeto.

A implementação trouxe outro benefício – anteriormente o protótipo funcional, ao final da fase de engenharia de produto, era validado de modo informal pela equipe de manufatura, a partir da observação do mesmo. Com a implementação da proposição, criou-se a cultura de analisar os elementos geométricos do componente e avaliar, considerando sua forma e suas dimensões, como ocorrerá, por exemplo, o fluxo de preenchimento de injeção e suas possíveis restrições e defeitos. Dessa forma, salienta-se que não é somente a lista de verificação que possibilita a aprovação do projeto na revisão de forma consistente, mas sim a cultura criada de processo decisório coletivo, de caráter preventivo e sistêmico, relevando as diferentes

especialidades do domínio de componentes plásticos. Nesse sentido, existem alguns autores que propõem listas de verificação para revisão do projeto de molde, mas não é explicitado como se chegou ao conteúdo da lista. Então, nessa situação o “como” se chegou na lista, ou dito de outra maneira, “o método”, é na verdade uma “caixa preta”, indisponível e inacessível para os especialistas.

A revisão de projeto centrada na produtividade estabeleceu uma divisão de atribuições e responsabilidades clara e nítida. Anteriormente, o projetista responsável pelo projeto da peça e do molde tinha a incumbência de aprovar ambos projetos desenvolvidos pelos fornecedores contratados. Nesse sentido, por pressão de prazo do projeto e pelo foco do trabalho do projetista ser muito mais funcional (integração do *hardware* do produto com os componentes de plásticos e da visão estrutural em relação ao projeto do molde) do que relacionado com as características do ambiente de manufatura (particularidades da especificação técnica de máquina injetora e seus recursos técnicos disponíveis, especificação de matéria prima, etc...), a consideração e contemplação das necessidades da fábrica praticamente não existiam.

A partir da implementação da revisão de projeto, essa responsabilidade de aprovação passa a ser compartilhada, com a participação dos agentes da manufatura nesse processo decisório. A carga de trabalho tende a ficar mais distribuída e delegada aos especialistas que tem melhor capacidade de contribuição.

As listas de verificação preenchidas constituem uma referência importante para própria validação do conhecimento sistematizado, por meio da análise posterior do desempenho do novo produto na manufatura confrontada com o conteúdo dessas listas. Então, para um novo componente, o seu projeto aprovado pela equipe de desenvolvimento por meio da lista de verificação estruturada poderá conter distorções. Estas são detectadas posteriormente, por meio da análise da performance do processo de injeção, medido a partir de índices de produtividade para fabricação do componente. Isso leva necessariamente a revisão ou manutenção dessa base de conhecimento, visando torná-la adequada e atualizada em relação às características da manufatura.

Identificou-se, durante a implementação, que as listas podem ser utilizadas também como uma documentação de referência no início de cada fase (engenharia de produto e projeto de molde), indicando aos fornecedores selecionados quais serão os critérios adotados para aprovação do projeto a ser desenvolvido, em relação à produtividade. A principal vantagem é de minimizar retrabalho e correções no projeto, caso os itens da lista de verificação não forem atendidos. Assim, minimiza-se essa possibilidade.

A revisão de projeto mostrou ser um evento importante e indispensável do processo de projeto. Considerando os resultados obtidos e comentados ao final do capítulo 6, nos quais um molde considerado “bom” possui uma disponibilidade absoluta de cerca de 100 horas (no período de 10 meses) a mais do que o molde “ruim”, infere-se, nesse contexto, que uma hora e meia dispendida para executar uma revisão de projeto de um molde pode assegurar aproximadamente 360 horas de disponibilidade (ao longo de um ciclo de vida de 3 anos para o molde). Visto de outra forma, esse ganho de disponibilidade significa, para um tempo médio de ciclo de injeção de quarenta e cinco segundos num molde de 2 cavidades, a produção adicional de 57.600 componentes.

A revisão de projeto também propicia um aprendizado didático e progressivo, para os agentes de projeto, acerca da necessidade de produtividade no chão de fábrica. Nesse sentido, a medida que a revisão de projeto torna-se prática corrente, mais o conhecimento da manufatura se consolida na base de conhecimento do processo de projeto. Entende-se que, por essa via, ocorre uma migração e disponibilização do conhecimento da manufatura para as fases iniciais do projeto de produto.

Em relação à utilização de outras ferramentas no desenvolvimento do componente de plástico, notadamente a ferramenta CAE para simulação do fluxo de injeção, para aprovação do conceito estabelecido pelo processo de projeto, entende-se que há complementaridade entre a proposição dessa pesquisa e essa ferramenta CAE. A lista de verificação possui, em seu conteúdo semântico, o conhecimento tácito dos especialistas, já a ferramenta de simulação fundamenta-se em modelos matemáticos; em comum, pode-se afirmar que ambas são dependentes do conhecimento dos especialistas. Entretanto, é muito provável que os especialistas que utilizem CAE não tenham o seu conhecimento formalizado, dada a sua experiência. A complementariedade pode ser então caracterizada pelo exemplo a seguir.

Exemplificando, a definição da malha para o modelamento geométrico do componente estabelece a necessidade de eliminar raios de arredondamento na superfície do componente, então, se somente essa ferramenta é utilizada para suportar o processo decisório, existe o risco de o projeto do componente ser aprovado (passar desapercebido) com esses “cantos vivos” (fazendo que ocorra, durante o preenchimento da peça no ciclo de injeção, turbulência no fluxo de material). Por sua vez, em um dos seus itens de avaliação, a lista de verificação propõe que avalie a existência de cantos vivos, tanto na superfície externa, como na superfície interna.

### 7.3 Proposta Integrada do Conhecimento no PDP

O objetivo dessa dissertação era formular e implementar uma proposição para a revisão formal de projeto, a partir da sistematização do conhecimento da manufatura, aplicada ao desenvolvimento integrado do componente de plástico injetado em uma indústria eletro-eletrônica.

A relação entre o processo de manufatura e o processo de desenvolvimento de produto é permeado por uma série de dificuldades (explicitadas a partir da Fig. 1.1), face o contexto setorial, onde vários fornecedores atuam, cada qual com seus interesses específicos, estabelecendo barreiras de idioma, tecnológicas e a mais fundamental, a falta de cultura para formalizar o conhecimento e utilizá-lo de forma adequada, racional e habitual.

Conforme comentado anteriormente, a solução estaria alicerçada sob forma de filtros na interface projeto e manufatura (Fig. 7.1). Esses filtros, nessa dissertação, são representados pelas listas de verificação estruturadas, utilizadas na revisão formal de projeto, (indicadas na Fig. 5.10, como ferramentas F1 e F2). Sob esta perspectiva, no contexto da empresa estudada, o processo de projeto é basicamente estruturado a partir das atividades de revisão ou verificação do desenvolvimento dos parceiros externos dos componentes plásticos e moldes de injeção (Fig. 2.7).

Com estas expectativas e sob um viés abrangente, a Fig. 7.2 detalha a seqüência de ações e os métodos que foram utilizados para a obtenção do conhecimento da manufatura. Deve-se destacar que esse processo requer, além de conhecer cada um dos métodos e ferramentas, apoio gerencial, visando construir um diferencial competitivo para a organização, em termos de produtividade das operações.

Ao se desenvolver um pouco mais análise da produtividade, a partir dos resultados apresentados na Tab. 6.4, pode-se fazer a seguinte inferência:

- (considere-se que) o molde “bom” é o ideal, representando o limite em termos de confiabilidade e mantinabilidade.
- uma empresa, nesse campo industrial, tem centenas de moldes
- não há um método apropriado para a análise, logo a possibilidade de sucesso no projeto é de 50%.

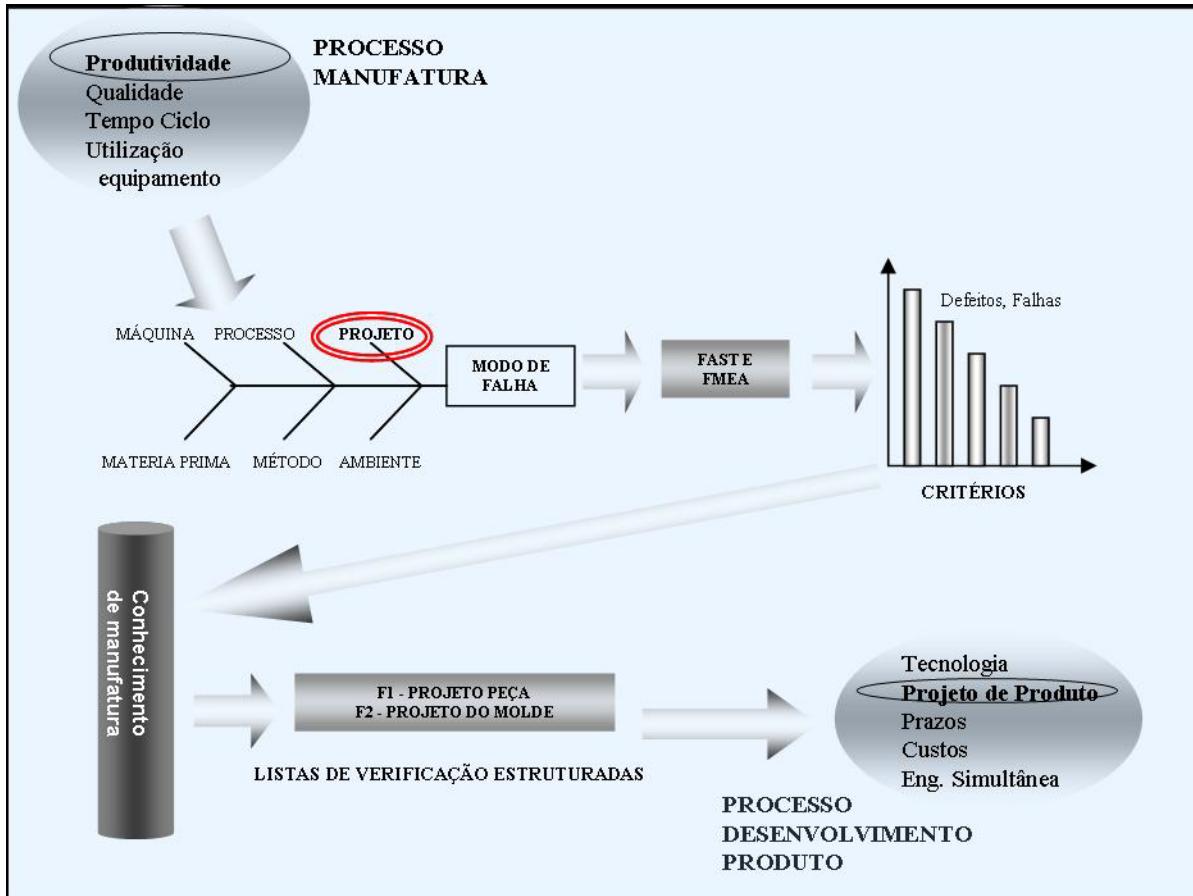


Figura 7.2: Sequência para aquisição e formalização do conhecimento da manufatura para construção de filtros aplicados na revisão formal de projeto.

Ou seja, se entre o molde ideal e a pior situação for assumido sua representação na forma de uma distribuição normal, então no período a ser considerado de trabalho, pode-se ter em média 70 horas de manutenção para cada molde, o que significa ter em torno de 5.000 horas de manutenção a mais para o conjunto de cada 100 moldes, em relação ao molde considerado ideal. Essa inferência está apenas considerando o molde de uma forma genérica. Ao se associar a essa análise a perda de produtividade e qualidade (já que, muitas vezes, até que a falha se torne explícita muitas peças defeituosas já foram produzidas); adiciona-se ainda os gastos de manutenção.

Considerando a repercussão disso na produção, montagem e algumas vezes, o que isso gera no mercado, ou seja, no cliente final, pode-se concluir que o empenho demandado nessa proposição por certo não resolve todos os problemas apontados, mas é um passo importante para gerar uma cultura de contabilizar as consequências decorrentes da falta de formalização ou ausência da revisão de projeto, no âmbito do processo de projeto.

## 7.4 Recomendações para Trabalhos Futuros

A grande dificuldade encontrada ao longo da realização dessa pesquisa foi o trabalho operacional para registrar, organizar e revisar o conhecimento gerado. Além disso, a falta de recursos apropriados, em nível de sistemas informatizados, pode acarretar em erros na formalização da informação. Considerando que a proposição tem o intuito de tornar-se prática corrente nas organizações, conclui-se que a falta dessa estrutura tecnológica de suporte pode acarretar em dificuldade para a continuidade dessa proposição. Nesse sentido, e visando disponibilizar a base de conhecimento da manufatura de modo prático, propõe-se o desenvolvimento de um banco de dados relacional, para atender as seguintes necessidades:

- possibilitar o acesso dos agentes de projeto em qualquer fase ou tarefa do processo de projeto que se faça necessária, para consulta ou suporte ao processo decisório.
- permitir a manutenção e atualização periódica da base de conhecimento da manufatura, através de lições aprendidas ou de novas informações fornecidas pelos especialistas.
- particularizar as informações para contextos específicos de componentes de plástico, molde de injeção, máquina injetora e matéria-prima.

Outra possibilidade visualizada é o desenvolvimento de um sistema especialista, a partir da base de conhecimento gerada. Esse sistema especialista suportaria os agentes de projeto na tomada de decisão, no desenvolvimento integrado do componente de plástico injetado.

Recomenda-se, pela estruturação apresentada nesse trabalho e em função de similaridade de características entre os processos de fabricação, implementar esse modelo em outros domínios de processo de fabricação.

A aplicação da ferramenta estatística de Delineamento de Experimentos pode auxiliar na análise resultante da aplicação da ferramenta CAE (simulação de injeção), na fase de engenharia de produto, e também suportar a aprovação do *try-out*, após a fabricação do molde. Nesse sentido, propõe um estudo para definir procedimentos formais para aplicação efetiva e integrada dessa ferramenta no processo de projeto e na manufatura, suportando: a análise da aplicação da ferramenta CAE e a aprovação, no *try-out*, da fabricação do molde.

Esse trabalho teve como foco assegurar a produtividade da fábrica já a partir de ações em nível de projeto de componente de plástico injetado e do molde de injeção. Entretanto, considerando a característica multidisciplinar do processo de transformação de plástico, no qual vários fatores convergem de modo integrado para a produtividade (molde de injeção,

parâmetros de injeção, matéria-prima, máquina injetora, meio ambiente, entre outros), cria-se a perspectiva de desenvolver e estabelecer também um estudo para assegurar a produtividade da fábrica a partir do processo de projeto e aquisição de máquinas injetoras, visto que também são fatores causais, em relação à produtividade.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

AMARAL, Claiton Emilio do. **Sistematização da gestão do conhecimento técnico na geração de princípios de solução na fase de reprojeto conceitual de produtos**. 2001. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ALVES, Giovani Pereira. **Um sistema de informação na gestão de projetos num ambiente de engenharia simultânea, em uma indústria de equipamentos de telecomunicações**. 2003.130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ARAÚJO, Rodrigo Hermes de. **Decomposição de conhecimentos para projetos de produto**: abordagem para estruturar sistema especialista como sistema auxiliar de informações em projetos de engenharia simultânea. 2000. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

BACK, Nelson. **Metodologia de projeto de produtos industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983. 389p.

BAKERJIAN, R. **Tool and manufacturing engineers handbook**. fourth edition, V. VI, design for manufacturability. Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 1992. paginação irregular.

BLANCHARD, B.S. and FABRICKY, W.J. **Systems engineering and analysis**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc., 1981. 703 p.

BLANCHARD, Benjamin S.; VERMA, Dinesh; PETERSON, Elmer L. **Maintanability**: a key to effective serviceability and maintenance management. United States: John Wiley & Sons, Inc., 1995. 536 p.

BOOTHROYD, Geoffrey; DEWHURST, Peter; KNIGHT, Winston. **Product design for manufacture and assembly**. United States: Marcel Dekker, Inc., 1994. 538 p.

BREYFOGLE III, Forrest W. **Implementing six sigma**: smarter solutions using statistical methods. United States: John Wiley & Sons, Inc., 1999, 791 p.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC** : controle da qualidade total (no estilo japones). 2.ed. Belo Horizonte: UFMG, Escola de Engenharia, Fundação Christiano, 1992. 220p.

CLAUSING, Don. **Total quality development**: a step-by-step guide to world-class concurrent engineering. New York: ASME, 1995.

COELHO, Edgar. **Sistema de informações para o auxilio no desenvolvimento de novos produtos**. 1998. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CORBETT, John; DOONER, Mike; MELEKA, John; PYM, Christopher. **Design for manufacture**: strategies, principles and techniques. Great Britain: Addison-Wesley Publishers Ltd., 1991. 357 p.

CSILLAG, João Mário. **Análise do valor**: metodologia do valor. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1995. 370 p

DARÉ, Giovani. **Proposta de um modelo de referência para o desenvolvimento integrado de componentes de plástico injetado**. 2001. 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DIAS, Acires. **Metodologia para análise da confiabilidade em freios pneumáticos automotivos**. 1996. 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

\_\_\_\_\_, Acires. **Projeto para confiabilidade e mantinabilidade**. Disciplina de Confiabilidade. 2002. Curso de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DUFOR, Carlos Alvarado. **Estudo do processo e das ferramentas de reprojeto de produtos industriais como vantagem competitiva e estratégia de melhoria constante.** 1996. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FERRARI, F.M; TOLEDO, J.C. **Ferramentas do processo de desenvolvimento de produto como mecanismos potencializadores da gestão do conhecimento.** Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, 3, Florianópolis *Anais...* Florianópolis:UFSC, 2001. 8p. CD-ROM:il.

FERREIRA, Cristiano Vasconcellos. **Metodologia para as fases de projeto informacional e conceitual de componentes de plástico injetados integrando os processos de projeto e estimativa de custos.** 2002. 330 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FERREIRA, H.S; TOLEDO, J.C. **Metodologias e ferramentas de suporte à gestão do processo de desenvolvimento de produto (PDP) na indústria brasileira de auto-peças.** Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, 3, Florianópolis *Anais...* Florianópolis:UFSC, 2001. 8p. CD-ROM:il.

FONSECA, Antonio Jorge. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional.** 2000. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FOWLER, Theodore C. **Value analysis in design.** United States: Van Nostrand Reinhold, 1990. 302 p.

HUBKA, Vladimir; EDER, Ernest W. **Design science:** introduction to needs, scope and organization of engineering design knowledge. 2. ed. Great Britain: Springer-Verlag London Limited, 1996. 251 p.

ICHIDA, Takashi. **Product design review: a method for error-free product development.** United States: Productivity Press, 1996. 274 p.

INSTITUTO EVALDO LODI DE SANTA CATARINA. Florianópolis: FIESC, 2003. <[www.iel.org.br](http://www.iel.org.br)>. Acesso em agosto de 2004.

KIMURA, F.; ARIYOSHI, H.; ISHIKAWA, H.; NARUKO, Y.; YAMATO, H. **Capturing expert knowledge for supporting design and manufacturing of injection molds.** Manufacturing Technology, United States, **CIRP Annals...**United States, 2001. Vol. 53 Issue 1. p 147-150.

LAFRAIA, João Ricardo. **Manual de confiabilidade, manutenabilidade e disponibilidade.** Rio de Janeiro: Qualimark:Petrobrás, 2001. 374 p.

MAGRAB, E. **Integrated product and process design e development: the product realization process.** CRC Press LLC, 1997.

MARIBONDO, Juscelino de Farias. **Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares aplicada a unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares.** 2000. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MASCARENHAS, Wesley Novaes. **Sistematização do processo de obtenção do leiaute dimensional de componentes de plástico moldados por injeção.** 2002. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MATOS, Frederico Freire de Carvalho. **Metodologia para planejamento e estruturação de sistemas de manutenção de frota automotiva.** 1999. 180 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MENGES, Georg; MOHREN, Paul. **How to make injection molds.** Germany: Carl Hanser Verlag, 1995. 540 p.

**MIL-STD-1626A. Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis.** Military Standard, Naval Ship Engineering Center, Washington D.C., 1980.

MOHR, R.R. **Failure modes and effects analysis.** Disponível em: <http://www.sverdrup.com/safety/fmea.pdf>. Acesso em agosto de 2004.

MOSS, Marvin A. **Applying TQM to product design and development.** United States: Marcel Dekker, Inc., 1996. 412 p.

MOUBRAY, John. **RCM II: Manutenção centrada em confiabilidade.** Tradução de Kleber Siqueira. São Paulo: SPES Engenharia de Sistemas Ltda, 2000. 426 p.

MOURA, Eduardo. **As 7 ferramentas gerenciais da qualidade**. São Paulo: Makron Books, Inc., 1994. 118 p.

NUNES, Enon Laércio. **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**. 2001. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

OGLIARI, André. **Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetado**. 1999. 349 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

O'CONNOR, Patrick D. T. **Practical reliability engineering**. 2. ed. Chichester: J. Wiley, c1985. 398 p.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang. **Engineering design: a systematic approach**. 2. ed. Great Britain: Springer-Verlag London Limited, 1996. 544 p.

PALADY, Paul. **FMEA: análise dos modos de falha e seus efeitos**. São Paulo: Instituto IMAM, 1997. 270 p.

PARSAEI, Hamid R. and SULLIVAN, Willian G. **Concurrent engineering: contemporary issues and modern design tools**. London: Chapman & Hall, 1993. 497 p.

PORTRER, Michael E. **Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1986. 454 p.

REES, Herbert. **Mold engineering**. Germany: Carl Hanser Verlag, 1995. 621 p.

REICHE, Hans. **Maintenance minimization for competitive advantage**. United States: Gordon and Breach Science Publishers, 1994. 190 p.

ROMANO, Leonardo Nabaes. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. 2003. 265 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SAKURADA, Eduardo Yuji. **As técnicas de análise dos modos de falhas e seus efeitos e análise da árvore de falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos.** 2001. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS, Célio Teodorico dos. **O design no desenvolvimento de produtos: uma análise e prospecção de princípios e métodos utilizados.** 1998. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS, Manoel de Queiroz Cordova. **Sistematização para aplicar o projeto de experimentos na melhoria da confiabilidade de produtos.** 2001. 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SILVA, Jonny Carlos da. **Expert system prototype for hydraulic system design focusing on concurrent engineering aspects.** 1998. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SILVA, Sérgio Luis; ROZENFELD, Henrique. **Proposta de uma ferramenta de diagnóstico da gestão do conhecimento no processo de desenvolvimento de produto.** Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, 3, Florianópolis Anais... Florianópolis:UFSC, 2001. 8p. CD-ROM:il.

SMITH, Anthony M. **Reliability centered maintenance.** Boston: McGraw-Hill, 1993. 216p.

SPOORMAKER, Jan L. **The role of failure analysis in establishing design rules for reliable plastic products.** 1995. Microelectronic Reliability, Vol. 35, N°s 9-10, p. 1275-1284.

SORS, Lazlo; BARDOCZ, Lazlo; RADNOTI, Istvan. **Plásticos, moldes e matrizes.** São Paulo: Hemus, 2000. 490 p.

SOUZA, Rubens Antônio de. **Confiabilidade e falhas em campo:** uma metodologia para suporte ao projeto. 1999. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis:** FMEA from Theory to Execution. United States: ASQC Quality Press, 1995. 494 p.

TOBIN, William J. **Troubleshooting injection molded parts.** United States: WJT Associates, 1996. 81 p.

ULRICH, Karl T.; EPPINGER, Steven D. **Product design and development.** United States: McGraw-Hill, Inc., 1995. 289 p.

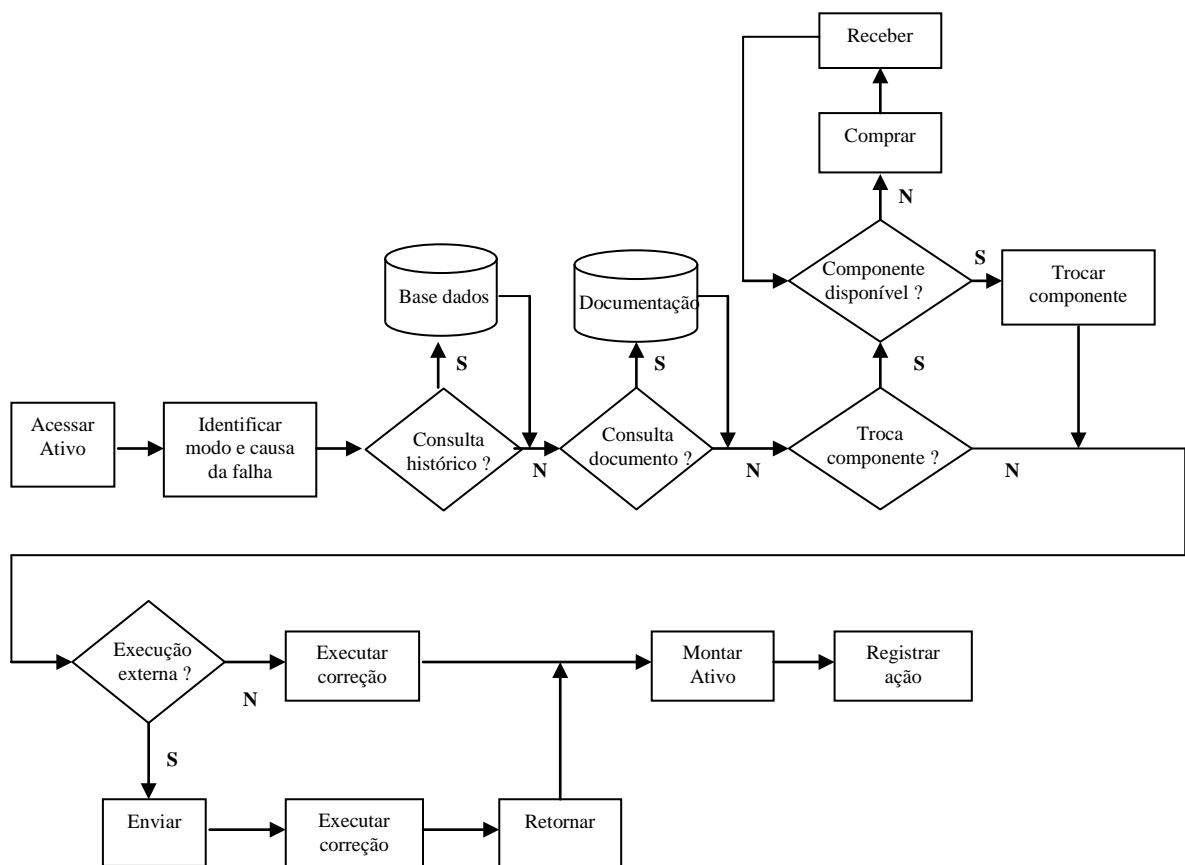
VILAROUCA, Marcelo Grijó. **Fabricabilidade de peças termoplásticas injetadas.** Trabalho da disciplina Projeto para Manufatura. 2001. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

\_\_\_\_\_, Marcelo Grijó. **Projeto para mantinabilidade aplicado a moldes de injeção.** Trabalho da disciplina Confiabilidade e Mantenabilidade. 2002. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

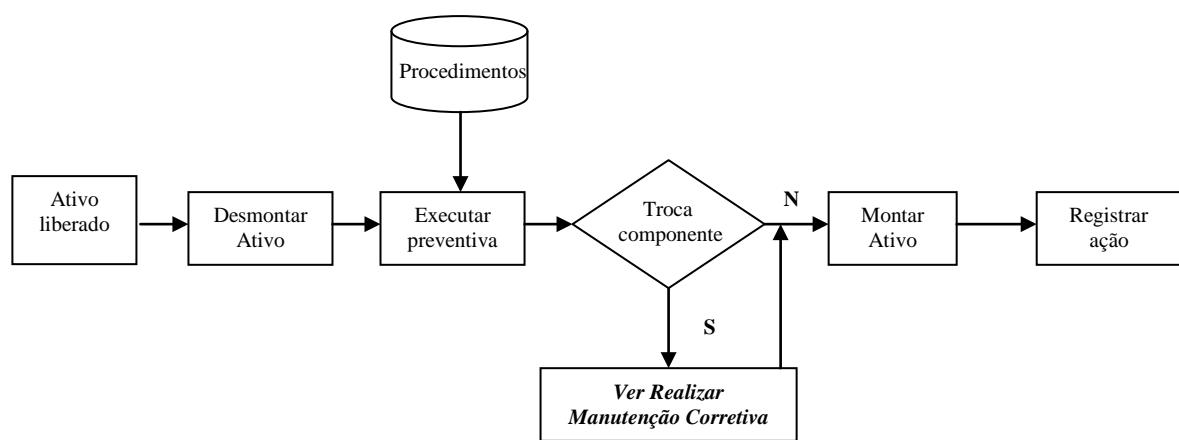
VINADÉ, Cesar Augusto do Canto. **Sistematização do processo de projeto para confiabilidade e mantinabilidade aplicado a sistemas hidráulicos e implementação de um sistema especialista.** 2003. 217 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

**ANEXOS**

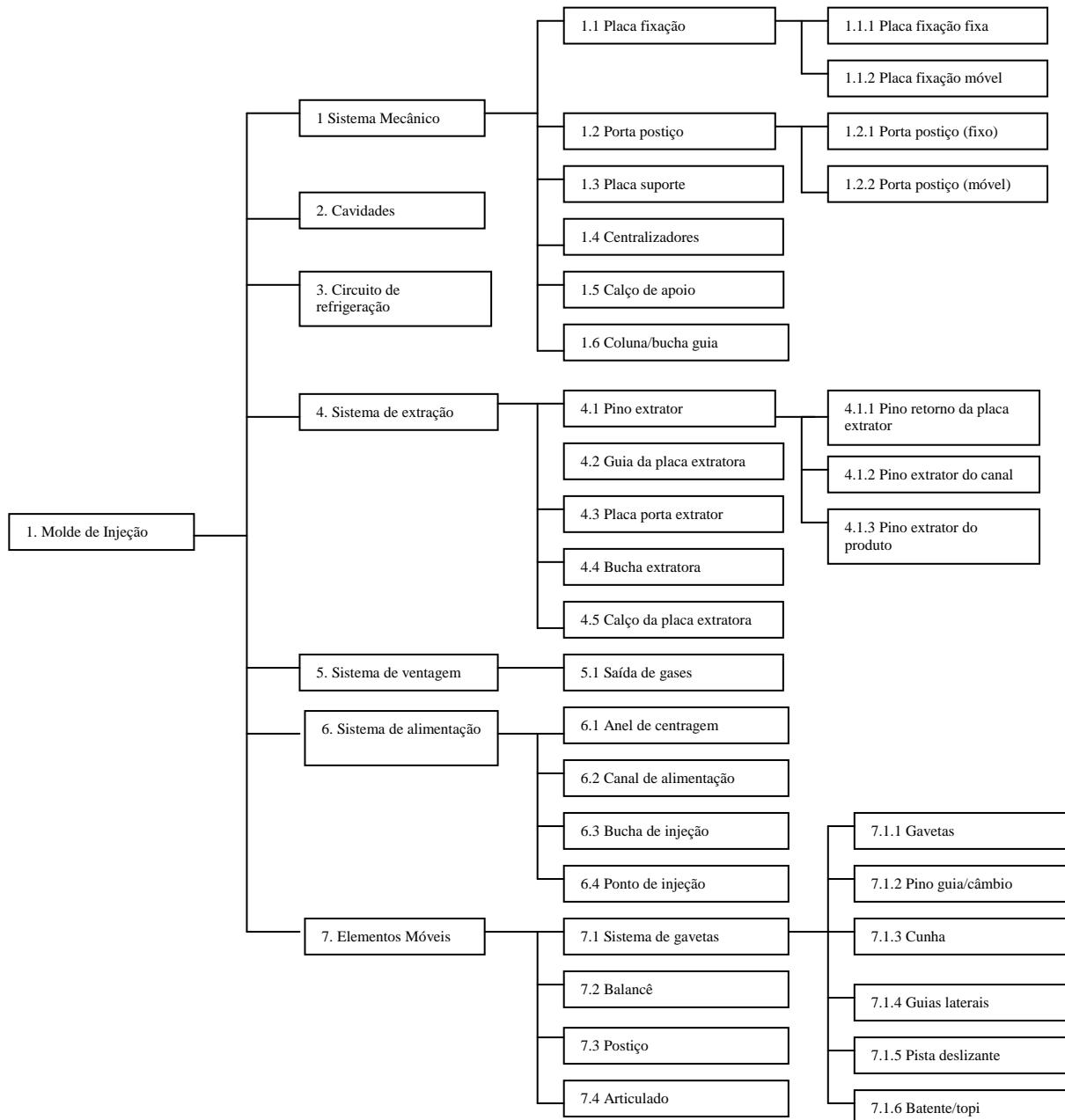
## ANEXO A – Fluxograma de atividades de manutenção corretiva



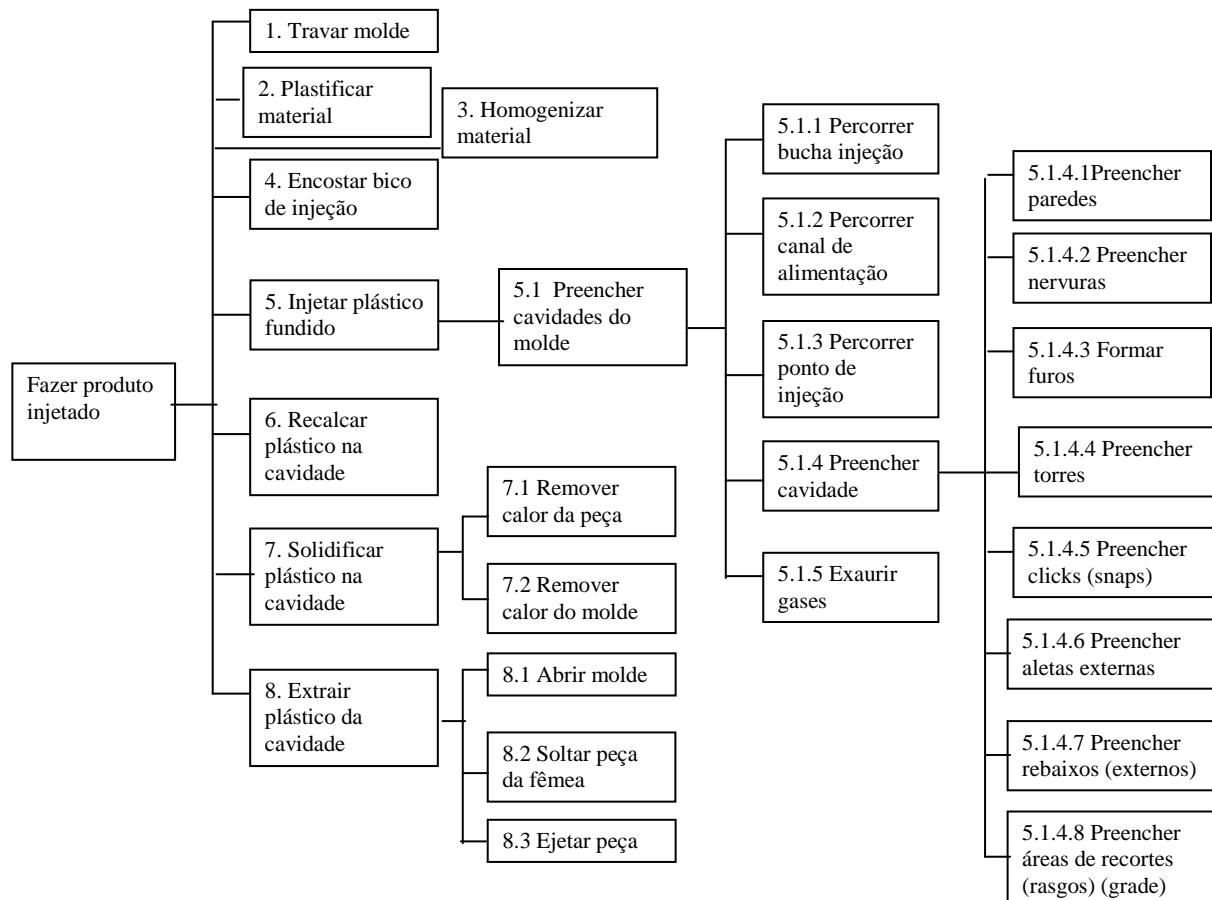
## ANEXO A – Fluxograma de atividades de manutenção preventiva



## ANEXO B – Estrutura do Molde de Injeção



## ANEXO C – Diagrama FAST do Processo de Injeção



## ANEXO D – FMEA Processo de Injeção

FMEA PROCESSO		Membros Carla, Sidnei, Roberto, Wilson, Grijo, Luiz	Documentos	Data Aprovações
				3/8/2004 Marcelo Grijo
Função	Modo Falha	Efeito Falha	Causa Falha	Ação
1. Travar molde				
	1.1 não travar molde	1.1.1 não inicia ciclo de injeção	1.1.1 deslocamento da gaveta sem limitação de curso	* o molde deve possuir fím de curso para gavetas
			1.1.2 pino guia do molde muito comprido	* avaliar se o comprimento do pino guia é maior do que a altura do macho
			1.1.3 alojamento do pino guia sem saída de ar	* localizar saídas de ar na bucha/pino guia
			1.1.4 excesso de atrito no pino guia/bucha	* já definido no FMEA PROJETO
			1.1.5 peça pressa no curso de extração	* a região do curso de extração do molde deve estar enclausurada
			1.1.6 furo único para extrator da injetora	* utilizar, no mínimo, 3 furos para fixação dos pinos guias de retorno do molde
			1.1.7 placa extratora "atravessada"	* para inj 1800, utilizar no mínimo 6 pinos guia de retorno do molde
			1.2.1 rebarba	1.2.1 utilização de molde em injetoras com força de travamento menor do que requerido
				1.2.2 utilização de molde em injetoras com força de travamento menor do que requerido
2. Plastificar material			2.1.1 material não plastificado	2.1.1 especificação inadequada da resína
			2.1.2 desgaste/riscos na rosca/forno	2.1.2 MP com tempo de residência alto
				?
			2.2.1 peça incompleta	2.1.3 a capacidade de plastificação da injetora não é adequada ao molde utilizado
			2.2.2 desgaste/riscos na rosca/forno	sem causa no PROJETO
				?

## ANEXO E – FMEA Projeto de Molde de Injeção

FMEA PROJETO	Moldé	Membros Ronaldo, Juan, Moacir José e Adriano	Documentos	Data Aprovações	10/9/2004 Marcelo Grijó
Componente	Função	Modo Falha	Efeito Falha	Causa Falha	Ação
1.1.1 Placa fixação (parte fixa)	1.1.1.1 fixar o molde na placa fixa da injetora	1.1.1.1 não fixa molde na injetora	1.1.1.1.1 não inicia ciclo de injeção	1.1.1.1.1 largura do rasgo insuficiente da placa fixação (colocação do grampo de fixação)	* usar altura mínima 30 mm (espessura placa fixação) Obs: nas duas extremidades
1.1.2 Placa fixação (parte móvel)	1.1.2.1 fixar o molde na placa móvel da injetora	1.1.2.1 não fixa molde na injetora	1.1.2.1.1 não inicia ciclo de injeção	1.1.2.1.1 largura do rasgo insuficiente da placa fixação (colocação do grampo de fixação)	* usar altura mínima 30 mm (espessura placa fixação) Obs: nas duas extremidades
1.2.1 Porta postiço (parte fixa)	1.2.1.1 alojar postiço inferiores 1.2.1.2 alojar buchas guias 1.2.1.3 conter sistema de refrigeração	1.2.1.1.1 deformado 1.2.1.1.2 postiço	1.2.1.1.1 pç rebatida 1.2.1.1.2 pç fora de dimensão 1.2.1.1.3 quebra do postiço 1.2.1.1.4 trinca do postiço 1.2.1.1.5 vazamento de água	1.2.1.1.1 material inadequado 1.2.1.1.1.1 material inadequado	* usar E 420/P20/Stammax(SOCEM) (nº mínimo aço 1045)
1.4 centralizadores	1.4.1 guiar o encaixe das partes fixa e móvel do molde	1.4.1.1 não guia	1.4.1.1.1 desalinhamento dos elementos fixos e móveis do molde	1.4.1.1.1 geometria e/ou posicionamento inadequado dos centralizadores	* afast. Mínimo de 15 mm entre fundo do postiço e a placa de fixação
					* os centralizadores devem ser posicionados no sentido vertical (evitar "abertura" do postiço)
		1.4.1.2 desgaste 1.4.1.3 quebra	1.4.1.2.1 desalinhamento dos elementos fixos e móveis do molde	1.4.1.2.1 material inadequado (dureza alta/quebração)	* usar geometria circular ou retangular
					* usar P20/VC//8620 tratado superficialmente

## ANEXO F – FMEA Serviço Manutenção

FMEA SERVIÇO	Manutenção Molde	Membros Ronaldo, Juan, Moacir José e Adriano	Documentos	Data Aprovações	10/9/2004 Marcelo Grijó	
					Componente	Função
1.1.1 Placa fixação (parte fixa)	1.1.1.2 facilitar manutenção (pinos guia)	1.1.1.2.1 dificuldade em desmontar a placa de fixação	1.1.1.2.1.1 demora na montagem da placa fixação	1.1.1.2.1.1 falta do pino guia	1.1.1.2.1.2 pino guia com encaixe "pesado"	* o molde deve possuir pino guia para as placas de fixação
1.1.2 Placa fixação (parte móvel)	1.1.2.2 facilitar montagem/desmontagem	1.1.2.2.1 assimetria do porta posteiro	1.1.2.2.1.1 demora na montagem	1.1.2.2.1.1 ajuste pesado	1.1.2.2.1.2 deslizamento com folga)	* usar ajuste H7
1.2.2 Porta posteiro (parte móvel)	1.2.2.5 facilitar montagem/desmontagem	1.2.2.5 assimetria do porta posteiro	1.2.2.5.1 demora na montagem	1.2.2.5.1 ajuste pesado	1.2.2.5.1 ajuste pesado	* usar ajuste H7
4.3 Placa porta extrator	4.3.2 facilitar montagem/desmontagem	4.3.2.1 desencaixe "pesado"	4.3.2.1.1 demora na montagem da placa porta extratora	4.3.2.1.1 ajuste pesado	4.3.2.1.1 ajuste pesado	* usar ajuste H7
4.2 Guia da placa extratora	4.2.2 facilitar montagem/desmontagem	4.2.2.1 desencaixe "pesado"	4.2.2.1.1 demora na montagem da placa porta extratora	4.2.2.1.1 posicionamento inadequado do pino guia da placa extratora	4.2.2.1.1 posicionamento inadequado do pino guia da placa extratora	* os pinos guia da placa extratora devem ser posicionados no porta-posteiro
1.3 Placa suporte (reforço)	1.3.2 facilitar montagem/desmontagem	1.3.2.1 desencaixe "pesado"	1.3.2.1.1 queda das peças	1.3.2.1.1 ajuste pesado	1.3.2.1.1 risco de acidente	* usar ajuste H7
1.5 Calço de apoio	1.5.2 facilitar montagem/desmontagem	1.5.2.1 dificuldade de desmontagem (fixo na placa fixação móvel)	1.5.2.1.1 queda das peças	1.5.2.1.1 sem fixação	1.5.2.1.2 risco de acidente	* usar parafuso para fixar calços de apoio na placa de fixação móvel
2. Cavidades	2.2 facilitar montagem/desmontagem	2.2.1 ajuste inadequado	2.2.1.1 demora na montagem	2.2.1.1.1 ajuste pesado	2.2.1.1.2 engripamento superfície do calço/furo	* usar ajuste H7
7.3 Postiços	7.3.2 facilitar montagem/desmontagem	7.3.2.1 ajuste inadequado	7.3.2.1.1 demora montagem	7.3.2.1.1 ajuste pesado	7.3.2.1.2 risco de acidente	* usar ajuste H7
3. circuito de refrigeração	3.2 facilitar limpeza/manutenção	3.2.1 acesso difícil pontos do circuito	3.2.1.1 demora limpeza	3.2.1.1.1 demora limpeza	3.2.1.1.2 obstrução/entupimento dos canais de refrigeração	3.2.1.1.3 riscos de acidente
7.1 Sistema de gaveta	7.1.2 facilitar montagem/desmontagem	7.1.2.1 desencaixe "pesado"	7.1.2.1.1 demora manutenção	7.1.2.1.1 ajuste pesado/deslizante	7.1.2.1.2 risco de acidente	* usar ajuste H7
7.2 Balancê	7.2.2 facilitar montagem/desmontagem	7.2.2.1 dificuldade em desmontar	7.2.2.1.1 demora montagem	7.2.2.1.1 sistema de fixação com muitas peças	7.2.2.1.2 sem identificação das peças	* verificar se a qtd de peças para fixação é minima * verificar se há identificação das peças

**ANEXO G – Lista de Verificação Estruturada**  
**Projeto do Componente Plástico**

<b>Data:</b>	<b>Lista Verificação</b>			<b>Peça:</b> Injetora: Material:		
	<b>Fase</b>	<b>Item</b>	<b>Questão</b>	<b>Sim</b>	<b>Não</b>	<b>Observações</b>
Eng Produto	aletas		evitar transições bruscas de espessura na região das aletas			
Eng Produto	aletas		* as aletas devem estar posicionadas no sentido paralelo de preenchimento do fluxo de injeção			
Eng Produto	aletas		definir relação "espessura x profundidade" adequadas para as aletas externas - FIG 9			
Eng Produto	aletas		definir afastamento mínimo entre aletas - FIG 1			
Eng Produto	alocação peça x injetora		* realizar planejamento e cálculo "Área projetada x Força travamento x injetora"			
Eng Produto	alocação peça x injetora		* especificar resina com compatível com as características operacionais das injetoras			
Eng Produto	alocação peça x injetora		* analisar/verificar, antes iniciar projeto do molde, se a capacidade de plastificação é adequada ao tipo de peça			
Eng Produto	alocação peça x injetora		* projeto deve respeitar o tempo máximo de residência de 5-8 minutos ( $\mu$ s - abs) (Volume injetado/ciclo x Volume do forno)			
Eng Produto	alocação peça x injetora		* estabelecer relação adequada entre: volume injetado por ciclo e o volume do forno			
Eng Produto	ângulo de saída		avaliar se os ângulos de saída da superfície externa da peça estão adequados, em função da textura e geometria de peça.			
Eng Produto	ângulo de extração		avaliar se os ângulos de extração da superfície interna da peça estão adequados, em função da textura e geometria de peça.			
Eng Produto	cavidades - acabamento superficial		definir grau de rugosidade permissível na superfície da peça (FERRAM)			
Eng Produto	espessura de parede		* evitar cantos vivos na geometria da peça			
Eng Produto	espessura de parede		* evitar transição brusca de seção na peça			

**ANEXO H – Lista de Verificação Estruturada**  
**Projeto do Molde de Injeção**

<b>Data:</b>	<b>Lista Verificação</b>			<b>Peça:</b> Injetora: Material:		
	<b>Fase</b>	<b>Item</b>	<b>Questão</b>	<b>Sim</b>	<b>Não</b>	<b>Observações</b>
Projeto Molde	cavidades - layout	* não utilizar molde familiar ( ou usar com difusor - só para acessórios)				
Projeto Molde	circuito de refrigeração - entradas/saídas	* usar "manifold" com engate rápido na conexão do molde com o circuito de água da injetora				
Projeto Molde	alinhamento - coluna e bucha guia	* as ranhuras de lubrificação devem estar posicionadas nos pinos guia (pelo menos, 2 ranhuras)				
Projeto Molde	alinhamento - coluna e bucha guia	* usar H 13/mat específico				
Projeto Molde	alinhamento - pino guia	* avaliar se o comprimento do pino guia é maior do que a altura do macho				
Projeto Molde	alinhamento - pino guia	* localizar saídas de ar na bucha/pino guia (FERRAM)				
Projeto Molde	anel de centragem	* molde deve ser fornecido com anel de centragem				
Projeto Molde	anel de centragem	* definir "padrão de furação" da placa fixa das injetoras (alojamento do anel de centragem) - FIG 2 Se trabalhar em 2 tipos inj-> vir com anel externo				
Projeto Molde	Articulado	* material H13 VC				
Projeto Molde	Articulado	* ter ranhuras na superfície da articulado				
Projeto Molde	Articulado	* trat termico superficial nitretação				
Projeto Molde	Balancé	* peça de reposição (balancês)				
Projeto Molde	bico de injeção	* utilizar bico de injeção: cônicas 45º (injeção simples) e esféricas (dupla injeção)				