

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção**

**Marcelo Barreto Pereira Bezerra**

**MODELO DE REFERÊNCIA PARA O PROCESSO DE  
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS DIRECIONADO À QUALIDADE**

**Dissertação de Mestrado**

**Florianópolis**

**2008**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Marcelo Barreto Pereira Bezerra**

**MODELO DE REFERÊNCIA PARA O PROCESSO DE  
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS DIRECIONADO À QUALIDADE**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção da  
Universidade Federal de Santa Catarina  
como requisito parcial para obtenção  
do grau de Mestre em  
Engenharia de Produção

**Orientador: Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr.**

**Florianópolis**

**2008**

**Marcelo Barreto Pereira Bezerra**

**MODELO DE REFERÊNCIA PARA O PROCESSO DE  
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS DIRECIONADO À QUALIDADE**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção** no **Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção** da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 19 de Agosto de 2008.

---

Prof. Antônio Sérgio Coelho, Dr.  
Coordenador do Programa

---

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Orientador

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Osmar Possamai, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Edson Pacheco Paladini, Ph.D.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Marcelo Gitirana Gomes Ferreira, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

*À minha esposa, Adriana,  
“sol de minha sombra, luz de minha noite”.  
Aos meus irmãos  
e aos meus pais,  
elos fortes da minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Fernando Antônio Forcellini por sua orientação, suporte e apoio prestados, que foram fundamentais nos momentos de incerteza para a definição de um caminho claro, concreto e bem estabelecido para o estudo. Ainda, por todo o conhecimento compartilhado ao longo dos últimos dois anos.

À empresa da qual faço parte pela liberação dos dias de trabalho em que me ausentei em prol da minha formação e capacitação, e pelo suporte à realização da porção prática deste estudo.

A todos os integrantes da equipe de projeto que, direta ou indiretamente, contribuíram com a formatação, conteúdo e experimentação prática do modelo desenvolvido durante esta pesquisa de mestrado.

Aos professores que compuseram a banca avaliadora por aceitarem o convite para analisar esta dissertação e pela valiosa contribuição a uma melhor qualificação do trabalho.

Aos professores e colegas da Universidade Federal de Santa Catarina e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, que contribuíram para o meu desenvolvimento profissional e científico, criando bases sólidas para a realização deste trabalho.

À minha esposa pela paciência, experiência e tranquilidade nos momentos difíceis, quando uma conclusão adequada para o estudo parecia impossível de se concretizar, pelos conselhos, cobrança e por me manter motivado ao longo de todo o curso.

## RESUMO

BEZERRA, M. B. P. **Modelo de processo de desenvolvimento de produto direcionado à qualidade**. 2008. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

O cenário econômico atual de intensa competição e ampla percepção da qualidade por parte dos consumidores tem reforçado às organizações a necessidade de entregar ao mercado produtos que se moldem às necessidades dos clientes. Embora o processo de desenvolvimento do produto (PDP) aflore como uma estratégia para a elevação do nível de qualidade, alguns dos modelos mais usuais de PDP têm demonstrado alguma dificuldade em capacitar de forma plena os times de projeto a identificar e solucionar problemas significativos de qualidade durante os estágios iniciais do desenvolvimento. Reconhecendo nisso um problema, desenvolveu-se este trabalho de pesquisa voltado a responder a questão: como antecipar decisões relacionadas à qualidade do produto para as etapas iniciais do PDP? Diante dessa demanda, formulou-se, a partir de pesquisa bibliográfica e estudo de campo, um modelo de referência que estabelece um meio claro e objetivo de entregar um produto com o nível de qualidade desejado. O modelo foi aplicado experimentalmente no desenvolvimento de um produto inovador de uma empresa fabricante de eletrodomésticos e culminou na estruturação formal do PDP direcionado à qualidade. Este modelo consiste numa seqüência de atividades com foco exclusivo na geração da qualidade, passível de adaptação a outros modelos de PDP mais amplos, que orientem a execução das demais atividades necessárias ao desenvolvimento do produto. Como resultado, obteve-se um modelo de referência capaz de elevar o nível de qualidade do produto ao disponibilizar dados e conhecimento necessários às ações de melhoria da qualidade nos estágios iniciais do desenvolvimento. Além disso, a aplicação prática do modelo evidenciou impactos importantes na criação de uma cultura de qualidade na organização, na qualidade da informação gerada para a tomada de decisão e na produtividade do time de projeto, ao reduzir o grau de retrabalho no desenvolvimento.

**Palavras-chaves:** processo de desenvolvimento do produto, qualidade, modelo de referência.

## ABSTRACT

BEZERRA, M. B. P. Model of a product development process turned to quality. 2008. 157 f. Thesis (Master in Production Engineering) – Production Engineering Graduation Program (PPGEP). Santa Catarina Federal University, Florianópolis, 2008.

The current economic scenario of intense competition and broad perception of quality by consumers has reinforced to organizations the need to deliver products that perfectly attend clients' requirements. Besides the fact that the product development process (PDP) rises as a strategy to increase the quality level, some of the frequently used PDP have evidenced some difficulty to give directions to the project team on how to identify and solve significant quality problems during the first stages of the development. Recognizing this fact as a problem, this research project was developed in order to answer the question: how to anticipate decisions related to product quality to the initial steps of the PDP? To answer it, from a bibliographic research and a field study, a reference model was designed to deliver a product with the required level of quality. The model was experimentally applied to the development of an innovative product of a home appliances producer and culminated in the formal definition of the PDP turned to quality. This model consists of a sequence of activities exclusively focused on quality generation, possible to be adapted to other broader PDP, that guide the execution of the other activities needed to the product development. As a result, a model capable of raising the quality level of the product through making relevant data and knowledge required to taking quality improvement actions in the beginning of the development process was defined. Besides that, the practical application of the model made evident important impact over a quality culture generation within the organization, over the quality of the information gathered to the decision making process, and over project team productivity by reducing the rework level in the development process.

**Keywords:** product development process, quality, reference model.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1: Modelo típico do processo <i>stage-gate</i> de desenvolvimento de produtos (adaptado: COOPER, 1994).....	16
FIGURA 1.2: Classificação da pesquisa. ....	19
FIGURA 1.3: Procedimento de pesquisa adotado. ....	21
FIGURA 2.1: Fluxo de atividades da fase de Planejamento Estratégico de Produtos (adaptado: ROZENFELD et al., 2006).....	27
FIGURA 2.2: Arranjos organizacionais para o projeto de novos produtos (adaptado: ROZENFELD et al., 2006).....	30
FIGURA 2.3: processo de decisão para o desenvolvimento de novos produtos (adaptado: KOTLER, 1998). ....	32
FIGURA 2.4: Processo <i>stage-gate</i> de desenvolvimento de produtos (adaptado: COOPER et al., 2002). ....	36
FIGURA 2.5: Modelo de referência do PDP (adaptado: ROZENFELD et al., 2006). ....	39
FIGURA 2.6: Atividades genéricas do modelo (adaptado: ROZENFELD et al., 2006). ....	40
FIGURA 2.7: Custos incorridos comparados aos custos comprometidos durante o projeto do produto (adaptado: FOX, 1995).....	52
FIGURA 2.8: Modelo de Kano de satisfação do consumidor (adaptado: KANO et al., 1984). ....	55
FIGURA 2.9: Características críticas monitoradas ao longo do PDP e do processo de manufatura (adaptado: FOX, 1995).....	58
FIGURA 2.10: metodologia do DFSS (adaptado: ANTONY, 2002a). ....	60
FIGURA 2.11: Projeto $3\sigma$ . ....	61
FIGURA 2.12: Modelo de quatro fases do QFD (adaptado: CRISTIANO et al., 2000). ....	64
FIGURA 2.13: Etapas de execução do FMEA (adaptado: ONODERA, 1997). ....	65
FIGURA 2.14: Tabela do FMEA. ....	66
FIGURA 2.15: Matriz de Contradição Técnica da TRIZ (adaptado: Altshuller apud SRINIVASAN e KRASLAWSKI, 2006).....	70
FIGURA 2.16: Princípio geral de aplicação da TRIZ (adaptado: STRATTON e MANN, 2003). ....	70
FIGURA 2.17: Representação gráfica de uma contradição física (adaptado: STRATTON e MANN, 2003). ....	71
FIGURA 2.18: Diagramação do FAST e operadores lógicos (adaptado: LAMBERT et al., 1999). ....	72
FIGURA 3.1: Convenção básica para a apresentação do modelo. ....	79

FIGURA 3.2: Visão geral do modelo proposto.....	82
FIGURA 3.3: Exemplo de sobreposição entre as fases do PDP direcionado à qualidade.....	84
FIGURA 3.4: Fluxo de atividades da fase “Identificar vetor Y”.....	85
FIGURA 3.5: Tarefas da atividade “Identificar necessidades dos clientes”.....	87
FIGURA 3.6: Tarefas da atividade “Traduzir necessidades em requisitos técnicos”.....	87
FIGURA 3.7: Tarefas da atividade “Definir funções do sistema”.....	89
FIGURA 3.8: Tarefas da atividade “Desenvolver soluções para o produto”.....	91
FIGURA 3.9: Fluxo de atividades da fase “Determinar $Y=f(x)$ ”.....	92
FIGURA 3.10: Exemplo da atividade “Identificar x’s do produto”.....	94
FIGURA 3.11: Tarefas da atividade “Identificar x’s do produto”.....	94
FIGURA 3.12: Tarefas da atividade “Identificar x’s críticos do produto”.....	95
FIGURA 3.13: Tarefas da atividade “Desenvolver soluções de manufatura”.....	96
FIGURA 3.14: Tarefas da atividade “Identificar x’s do processo”.....	98
FIGURA 3.15: Exemplo da atividade “Identificar x’s do processo”.....	99
FIGURA 3.16: Tarefas da atividade “Identificar x’s críticos do processo”.....	100
FIGURA 3.17: Fluxo de atividades da fase “Melhorar qualidade”.....	101
FIGURA 3.18: Tarefas das atividades “Descriticalizar x’s críticos do produto” e “Descriticalizar x’s críticos do processo”.....	102
FIGURA 3.19: Fluxo de atividades da fase “Padronizar melhoria”.....	103
FIGURA 3.20: Tarefas das atividades “Especificar parâmetros do produto” e “Especificar parâmetros do processo”.....	104
FIGURA 3.21: Tarefas da atividade “Especificar tolerância dos parâmetros do produto”.....	105
FIGURA 3.22: Tarefas da atividade “Desenvolver planos de inspeção e controle”.....	107
FIGURA 3.23: Exemplos de limites de controle estatístico x limites de especificação.....	108
FIGURA 3.24: Tarefas da atividade “Monitorar estabilidade do processo”.....	109
FIGURA 4.1: Visão geral do modelo de referência do PDP utilizado no ambiente de validação.....	116
FIGURA 4.2: Visão geral do PDP genérico adaptado a partir do modelo de PDP direcionado à qualidade.....	117
FIGURA 4.3 – Matriz QFD para o subsistema A: Casa da Qualidade.....	121
FIGURA 4.4 – Mapa funcional do Subsistema A.....	122
FIGURA 4.5 – Mapa de produto do Subsistema A.....	127

FIGURA 4.6 – Ficha padronizada de planejamento de experimentos.....	129
FIGURA 4.7 – Gráfico Normal do experimento 1.....	131
FIGURA 4.8 – Gráfico de Pareto dos efeitos de cada fator do experimento 1.....	132
FIGURA 4.9 – Gráfico de interação para as variáveis A e B do experimento 1.....	132
FIGURA 4.10 – Gráfico de interação para as variáveis B e C do experimento 1.....	133
FIGURA 4.11 – Mapa de processo do processo de fabricação dos componentes do Subsistema A.....	135
FIGURA 4.12 – Mapa de processo do processo de pré-montagem do Subsistema A.....	136
FIGURA 4.13 – Mapa de processo do processo de montagem do Subsistema A.....	137
FIGURA 4.14 – Variação de largura do componente 5.....	140
FIGURA 4.15 – Variação de altura do componente 5.....	140

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1: Ferramentas de suporte ao PDP direcionado à qualidade (adaptado: GIACOMIN, 2007). .....	77
TABELA 4.1 – Substituição e alteração das atividades do modelo de PDP original.....	118
TABELA 4.2 – Principais necessidades dos clientes identificadas.....	120
TABELA 4.3 – Exemplo de FMEA como ferramenta de suporte à identificação dos x's de produto. ....	124
TABELA A.1 – Critério de avaliação de severidade do FMEA .....	155
TABELA A.2 – Critério de avaliação de ocorrência do FMEA .....	155
TABELA A.3 – Critério de avaliação de detecção do FMEA .....	156

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	15
1.1. Importância do processo de desenvolvimento de produtos para a melhoria da qualidade do produto.....	15
1.2. Objetivos .....	18
1.3. Metodologia da pesquisa .....	18
1.3.1. Classificação da Pesquisa .....	18
1.3.2. Procedimentos de pesquisa.....	20
1.4. Estrutura da dissertação .....	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – ESTADO DA ARTE .....	24
2.1. Do processo de desenvolvimento de produtos.....	24
2.1.1. Orientação estratégica.....	26
2.1.2. Gestão do desenvolvimento de novos produtos.....	27
2.1.3. Pessoas .....	28
2.1.4. Informação .....	30
2.1.5. PDP.....	31
2.2. Dos modelos de PDP .....	31
2.2.1. Modelo de PDP segundo Kotler .....	31
2.2.2. Modelo de PDP segundo Cooper .....	35
2.2.3. Modelo de PDP segundo Rozenfeld et al.....	38
2.3. Do conceito da qualidade.....	46
2.4. Do processo de desenvolvimento de produtos voltado à qualidade .....	50
2.4.1. Identificação dos requisitos dos consumidores (Y) .....	53
2.4.2. Identificação e melhoria das características críticas de produto e processo (x) .....	56
2.5. Das ferramentas de suporte ao PDP voltado à qualidade.....	62
2.5.1. Desdobramento da função qualidade (QFD).....	62
2.5.2. Análise dos modos de falha e seus efeitos (FMEA).....	64
2.5.3. Teoria da solução inventiva de problemas (TRIZ).....	67
2.5.4. Técnica de análise funcional de sistemas (FAST) .....	71
2.5.5. Design of Experiments (DOE).....	73
2.5.6. Outras ferramentas de suporte ao PDP direcionado à qualidade .....	76
3. MODELO DE REFERÊNCIA PARA O PDP DIRECIONADO À QUALIDADE.....	78
3.1. Estrutura do modelo .....	80
3.2. Fase 1: Identificar vetor Y .....	84
3.2.1. Identificar necessidades dos clientes .....	86
3.2.2. Traduzir necessidades em requisitos técnicos .....	87
3.2.3. Definir funções do sistema.....	88
3.2.4. Desenvolver soluções para o produto .....	90
3.3. Fase 2: Determinar $Y=f(x)$ .....	91

3.3.1.	Identificar x's do produto .....	93
3.3.2.	Identificar x's críticos do produto .....	94
3.3.3.	Desenvolver soluções de manufatura .....	96
3.3.4.	Identificar x's do processo .....	97
3.3.5.	Identificar x's críticos do processo.....	99
3.4.	Fase 3: Melhorar qualidade .....	100
3.4.1.	Descriticalizar x's críticos do produto e do processo .....	101
3.5.	Fase 4: Padronizar melhoria.....	102
3.5.1.	Especificar parâmetros do produto e do processo.....	103
3.5.2.	Especificar tolerâncias dos parâmetros do produto .....	104
3.5.3.	Desenvolver planos de inspeção e controle.....	105
3.5.4.	Monitorar estabilidade do processo.....	107
3.5.5.	Desenvolver design guides de produto e de processo .....	109
4.	VALIDAÇÃO DO MODELO.....	111
4.1.	Descrição do ambiente de aplicação do modelo .....	113
4.2.	Fase 1: Identificar vetor Y .....	119
4.2.1.	Identificar necessidades dos clientes .....	119
4.2.2.	Traduzir necessidades em requisitos técnicos.....	120
4.2.3.	Definir funções do sistema .....	121
4.2.4.	Desenvolver soluções para o produto .....	122
4.3.	Fase 2: Determinar $Y=f(x)$ .....	123
4.3.1.	Identificar x's do produto .....	124
4.3.2.	Identificar x's críticos do produto .....	128
4.3.3.	Desenvolver soluções para o processo.....	134
4.3.4.	Identificar x's do processo .....	134
4.3.5.	Identificar x's críticos do processo.....	138
4.4.	Fase 3: Melhorar qualidade .....	138
4.4.1.	Descriticalizar x's críticos do produto e do processo .....	138
4.5.	Fase 4: Padronizar melhoria .....	141
4.5.1.	Especificar parâmetros do produto e do processo.....	141
4.5.2.	Especificar tolerâncias dos parâmetros do produto .....	141
4.5.3.	Desenvolver planos de inspeção e controle.....	141
4.5.4.	Monitorar estabilidade do processo.....	142
4.5.5.	Desenvolver design guides do produto e do processo .....	143
4.6.	Considerações finais sobre a validação do modelo .....	143
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	144
5.1.	Análise do modelo proposto .....	144
5.2.	Análise dos resultados obtidos durante a aplicação prática do modelo.....	147
5.2.1.	Mudança de postura do time de projeto quanto à qualidade .....	147
5.2.2.	Foco na geração de informação de qualidade para a tomada de decisão .....	148

5.2.3. Menor nível de retrabalho .....	148
5.3. Sugestões para trabalhos futuros .....	149
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	151

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Importância do processo de desenvolvimento de produtos para a melhoria da qualidade do produto

Ao longo das duas últimas décadas, a solidificação de uma economia global caracterizada pela intensa competição internacional, mercados fragmentados por nichos cada vez mais estreitos de consumidores, e rápida mudança tecnológica provocaram uma nova revolução industrial (CLARK e FUJIMOTO apud CRISTIANO et al., 2000). Esta revolução é, em grande parte, devida às práticas superiores de gestão da qualidade das companhias japonesas, descobertas pelas empresas ocidentais nos anos 80 (COLE apud CRISTIANO et al., 2000).

Como resposta a este movimento, muitas companhias de manufatura do ocidente substituíram as tradicionais técnicas de garantia da qualidade, teste e inspeção, por métodos estatísticos como o controle estatístico de processo (CEP) (BOOKER, 2003; OSBORNE e ARMACOST, 1996). Contudo, de modo geral, as técnicas estatísticas de controle de processo, apesar de promover melhorias consideráveis de curto prazo, logo se demonstraram insuficientes para a melhoria da qualidade dos produtos fabricados, já que os esforços para a qualidade concentravam-se à jusante do fluxo produtivo. Isto fez com que as iniciativas posteriores buscassem formas de tratar as questões da qualidade em estágios anteriores ao processo de manufatura, focando a discussão no processo de desenvolvimento do produto, no qual as oportunidades de influenciar custo e tempo de desenvolvimento de novos produtos são maiores (OSBORNE e ARMACOST, 1996).

O processo de desenvolvimento de produtos (PDP) pode ser encarado como uma série de atividades, incluindo a geração de idéias, o desenvolvimento do produto, sua comercialização, as atividades de acompanhamento do produto após o lançamento e o planejamento e execução da sua descontinuação (ROZENFELD et al., 2006). Abordagens tradicionais ao processo de inovação e desenvolvimento de produtos, como a engenharia seqüencial, por exemplo – uma abordagem em que especialistas trabalham de uma maneira departamentalizada, ou funcional – são lentas e custam muito caro (SHARMA et al., 2006). Por este motivo, muitas empresas estão adotando processos direcionados à abordagem de desenvolvimento multifuncional de produtos, ou engenharia simultânea. Todavia, do ponto de vista da



melhoria da qualidade, esta abordagem não é ainda, em si, suficiente para capacitar as companhias a identificar e solucionar problemas significativos de qualidade com os novos produtos durante os estágios iniciais do processo de desenvolvimento (WILLIAMS e KOCHHAR, 2000). Isto decorre do fato de que dados e conhecimento suficientes não estão disponíveis nestas etapas e de que as previsões dos problemas de qualidade se tornam mais confiáveis somente nos últimos estágios do projeto, muito próximo ou depois do lançamento do novo produto. Se fosse possível para uma empresa avaliar com sucesso a qualidade e a robustez das alternativas de projeto nas fases iniciais do PDP, reduções de custo e melhorias de qualidade significativas poderiam ser feitas (BOOKER, 2003).

Uma das possibilidades de se transgredir esta dificuldade e antecipar as tratativas voltadas à melhoria da qualidade do produto é a definição de um processo formal que ajude a reduzir as incertezas intrínsecas aos programas de criação e lançamento de novos produtos. Blessing (apud CRAIG E HART, 1992) afirma que a qualidade do produto (desempenho do produto no campo) depende fortemente da qualidade do PDP. Por isso, muitas empresas líderes em seus respectivos segmentos, como DuPont, 3M, HP, Procter & Gamble e Black & Decker, desenvolveram um processo sistemático baseado em estágios e momentos de decisão sobre a continuidade ou interrupção do projeto para guiar o desenvolvimento de novos produtos, do nascimento da idéia até o lançamento (COOPER, 1994), conforme ilustra a FIGURA 1.1. Este processo é conhecido como processo *stage-gate* de desenvolvimento de novos produtos.



FIGURA 1.1: Modelo típico do processo *stage-gate* de desenvolvimento de produtos (adaptado: COOPER, 1994).

O processo *stage-gate* é um modelo conceitual aplicado ao PDP que permite o lançamento de um novo produto de forma eficiente e efetiva pela integração das disciplinas de gestão de projetos e dos demais processos necessários ao desenvolvimento de um novo produto (PHILLIPS et al., 1999). Os portões, ou, do inglês, *gates*, de decisão servem como um controle da qualidade do desenvolvimento. Nele, as informações existentes sobre o novo produto, coletadas

durante a execução dos estágios anteriores, são avaliadas no intuito de garantir a minimização de erros e incertezas que possam levar o empreendimento ao fracasso; isto inclui as questões voltadas à qualidade do produto. Por isso, o processo em si é tão efetivo quanto o forem as decisões tomadas durante a sua execução, e tão mais eficiente quanto maior a velocidade com que as informações necessárias para cada decisão sejam disponibilizadas. Bonnet (1986), por exemplo, refere-se ao elevado nível de incerteza no desenvolvimento de novos produtos como devido à falta ou à não completeza das informações técnicas e de mercado.

Negócios rentáveis e times de projeto que desenvolvem produtos de sucesso apresentam uma dedicação intensa à identificação das reais necessidades dos consumidores. Projetos que envolvem estudos preliminares e detalhados de mercado, testes de campo, testes com os consumidores, etc. são recompensados com o dobro das taxas de sucesso e com parcelas de mercado 70% maiores que aqueles projetos que não realizam tais estudos (COOPER, 2006). Entender e escutar o consumidor ajuda a identificar os problemas por ele enfrentados, as necessidades não atendidas e até necessidades ainda não evidentemente expressas.

Por outro lado, capturar as necessidades dos consumidores da forma mais assertiva possível é apenas parte da solução. Para projetar qualidade em um produto, é necessário identificar aquelas características críticas do produto que indicam qualidade e otimizá-las (OSBORNE e ARMACOST, 1996), seja “descriticalizando” essas características através da redução da variação a elas atreladas, ou definindo controles adequados na manufatura.

Apesar de o processo *stage-gate* de desenvolvimento de produtos abordar a necessidade de se resolver questões relacionadas à qualidade do produto nos estágios iniciais do projeto, e esta ser, na verdade, uma de suas finalidades, ele não apresenta uma formalização ou direcionamento direto de como atender a esta necessidade. Na verdade, existe uma dificuldade e complexidade vinculada à indentificação das características críticas para a qualidade do produto, devido à falta de dados e informação suficientes, já mencionada anteriormente, que impedem que as decisões acerca da qualidade sejam tomadas nas etapas iniciais do PDP (BOOKER, 2003). Geralmente, estas decisões só ocorrem em estágios mais avançados, próximos do lançamento do novo produto.

Existe, portanto, uma necessidade proeminente de se desenvolver um modelo complementar ao processo *stage-gate* que permita antecipar as decisões da qualidade do produto para as suas fases iniciais. A proposta deste trabalho é contribuir para a definição deste processo, ao discutir as técnicas atuais de melhoria da qualidade do produto e propor um modelo de processo *stage-gate* de desenvolvimento de produtos direcionado para a qualidade.

## 1.2. Objetivos

Tendo em vista essa necessidade, o estudo ora apresentado, na forma desta dissertação de mestrado, tem por intenção primordial portanto, formalizar um modelo de referência para o desenvolvimento de produtos voltado à qualidade como parte integrante do processo *stage-gate* atualmente difundido. O foco deste modelo é a integração e coordenação de ferramentas da qualidade já existentes de forma a sobrepôr os problemas relacionados à melhoria da qualidade no processo *stage-gate*, apresentados anteriormente.

Para tanto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolvimento de um modelo de processo de desenvolvimento de produtos direcionado à qualidade com vistas à sua aplicação integrada ao processo *stage-gate* de desenvolvimento de produtos atualmente difundido;
- Validação do modelo através da sua aplicação em uma empresa-alvo;
- Avaliação das potencialidades e limitações do modelo empregado.

## 1.3. Metodologia da pesquisa

No presente item, a metodologia da pesquisa será abordada. No tópico 1.3.1 será apresentada a classificação da pesquisa; no tópico 1.3.2 apresentar-se-á as atividades realizadas ao longo do trabalho; e no tópico 1.3.3 serão introduzidos os procedimentos utilizados ao longo do trabalho para levantar as evidências necessárias à conclusão do projeto.

### 1.3.1. Classificação da Pesquisa

A FIGURA 1.2 apresenta a classificação da pesquisa (quadros em vermelho) quanto a diferentes critérios utilizados na área de metodologia da ciência:

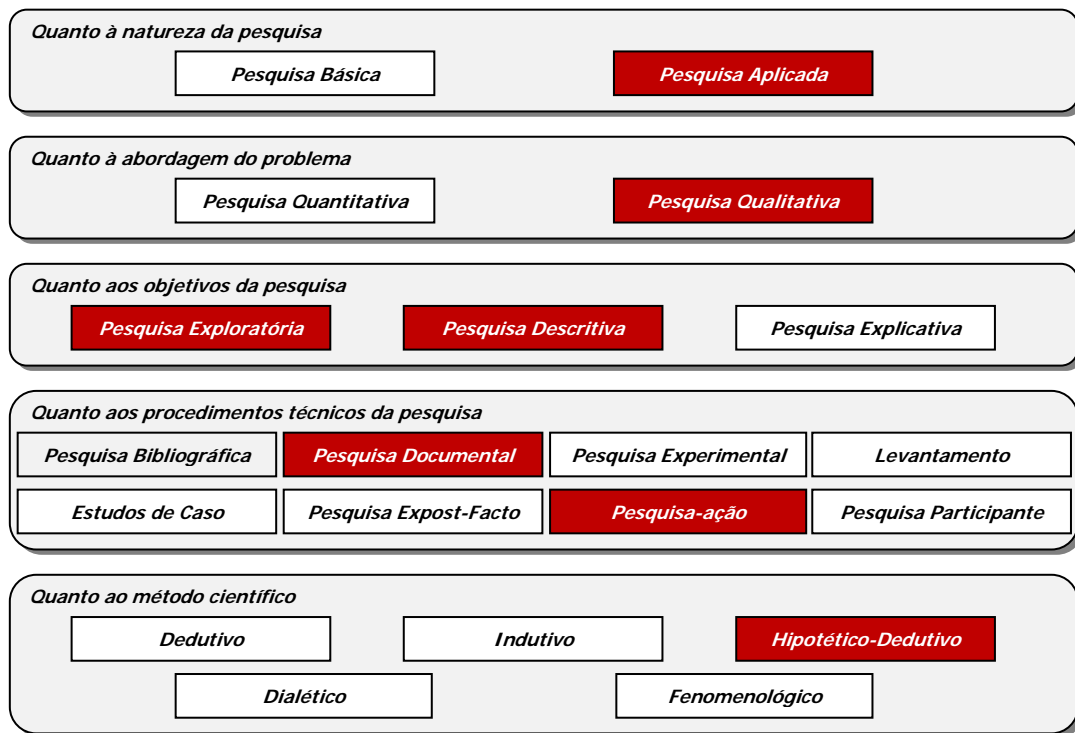


FIGURA 1.2: Classificação da pesquisa.

Pela classificação de Silva e Menezes (2005), o presente trabalho é considerado uma pesquisa aplicada, do ponto de vista da sua natureza. Isso significa dizer que esta pesquisa objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos.

Quanto à forma de abordagem do problema, este trabalho é classificado como pesquisa qualitativa, ou seja, não possui a preocupação de quantificar os resultados obtidos. Por considerar o processo e seu significado os focos principais de abordagem, neste tipo de estudo o pesquisador tende a analisar os seus dados indutivamente, de forma descritiva, por acreditar que há um vínculo indissociável entre o mundo objetivo, real, e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números (Silva e Menezes, 2005).

Do ponto de vista de seus objetivos, segundo Gil (1991), esta é uma pesquisa exploratória. Visto que o objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento de um modelo de referência para a gestão do PDP direcionado à qualidade e este modelo é baseado em extensa pesquisa bibliográfica na qual é realizada uma investigação sistemática dos conteúdos necessários ao modelo direcionado à qualidade,

considera-se que a tipologia básica do trabalho é exploratória. Ela se reflete, seja quando se busca identificar os elementos da teoria de modelagem de empresas que devem estar presentes nos modelos de referência de processos de negócio, seja quando é realizada uma análise da bibliografia de PDP e de ferramentas da qualidade na busca de identificação de modelos de referência aplicáveis ao projeto de produto voltado à qualidade.

No tocante aos procedimentos técnicos adotados, ainda pela classificação de Gil (1991), o presente trabalho é definido como pesquisa documental para o cumprimento dos objetivos exploratórios, e de pesquisa-ação, já que o desenvolvimento do modelo e a sua aplicação acontecem simultaneamente, buscando a resolução de um problema coletivo específico.

Por fim, quanto ao método científico, no presente trabalho utiliza-se a vertente científica hipotético-dedutiva, que pressupõe a realização de uma refutação da teoria desenvolvida (GIL, 1999). Ao invés de comprovar a veracidade de uma afirmação científica, o trabalho do cientista é colocá-la à prova na tentativa de falseá-la. Falsear significa tornar falsas as consequências deduzidas das hipóteses. A tentativa de refutar o postulado resultante de uma tese torna o trabalho mais robusto, delimitando os limites de sua validade ou evidenciando uma refutação.

Do ponto de vista operacional, Dane (1990) sugere que os objetivos da pesquisa científica sejam traduzidos em métodos operacionalizáveis para o levantamento de evidências. Nesse trabalho utilizaram-se procedimentos de pesquisa documental para o cumprimento dos objetivos exploratórios e descritivos e de pesquisa de campo para a realização dos objetivos de caráter ativo. No item 1.3.2 serão apresentados os procedimentos de pesquisa pelos quais a pesquisa documental a pesquisa-ação foram realizadas.

### *1.3.2. Procedimentos de pesquisa*

Nesse tópico serão apresentados os procedimentos de pesquisa adotados ao longo do trabalho. Diferentemente das tipologias classificatórias, os procedimentos de pesquisa assumem um caráter pragmático: eles determinam como a pesquisa deve se desenrolar.

O procedimento geral adotado para o trabalho de pesquisa está representado na FIGURA 1.3 a seguir:

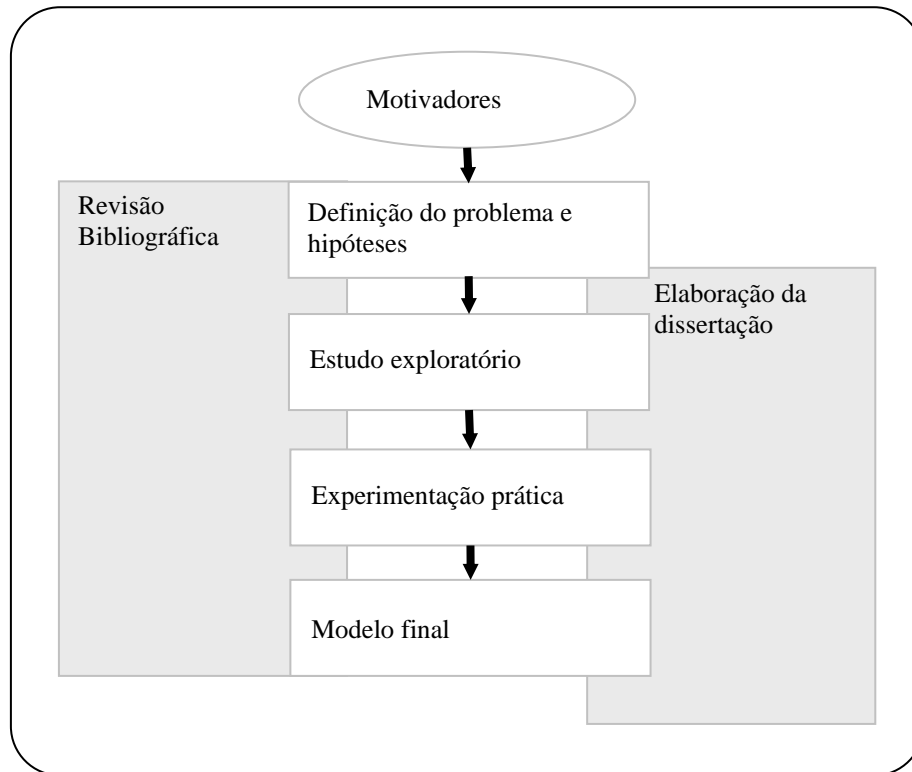


FIGURA 1.3: Procedimento de pesquisa adotado.

Um dos motivadores deste trabalho foi a necessidade de criação de um novo paradigma de qualidade de produtos estabelecida na empresa onde o modelo proposto foi aplicado. A partir dessa necessidade, verificou-se que o caminho mais curto e menos custoso para atendê-la seria estabelecer um novo processo de desenvolvimento de produtos que focasse as questões de qualidade do produto mais intensamente. Esta análise permitiu a formulação do problema e da hipótese principal do trabalho.

A revisão bibliográfica acompanha todo o desenvolvimento deste trabalho. Em um momento inicial, foi feita pesquisa sobre os temas básicos, relacionados à gestão do processo de desenvolvimento de produtos, e ao conceito de qualidade e suas interfaces com o PDP. Três modelos de referência conceituais foram analisados. Em todos eles as atividades relacionadas às questões de qualidade estão inseridas em contextos mais amplos que encobrem a sua importância como um dos fatores principais de sucesso de um novo produto, além de, geralmente, incentivar de forma, aparentemente, não intencional a tomada de decisões relativas à qualidade com base exclusiva na experiência empírica dos membros do time de projeto. De modo geral, segundo estes modelos, o desdobramento da qualidade no novo produto é feito com base no método tentativa-e-erro. Atividades que forneçam base científica

para a tomada de decisão antecipada, nos estágios iniciais do desenvolvimento, e reduzam a incidência de retrabalho em estágios mais avançados, não são contempladas.

Para a resolução do problema proposto, um modelo foi desenvolvido a partir de uma pesquisa exploratória com base na bibliografia disponível e a partir da observação pessoal do pesquisador em situações reais vivenciadas nas empresas em que já trabalhou. O modelo foi aplicado a uma situação real de desenvolvimento de produto. O pesquisador foi integrado à equipe de projeto de uma empresa de grande porte, fabricante de eletrodomésticos, durante a execução do desenvolvimento de um novo produto inovador. Esta aplicação permitiu definir o resultado final, um modelo de referência conceitual para o processo de desenvolvimento de produtos direcionado à qualidade.

#### **1.4. Estrutura da dissertação**

Este documento de apresentação da dissertação está estruturado em cinco capítulos, a saber:

- (1) Introdução;
- (2) Revisão bibliográfica – estado da arte;
- (3) Modelo de referência para o PDP direcionado à qualidade;
- (4) Validação do modelo;
- (5) Conclusões e Recomendações.

Neste primeiro capítulo, a Introdução, foi apresentado o escopo geral da dissertação, onde destacam-se a origem da proposta, o tema da pesquisa, os objetivos pretendidos e a metodologia empregada.

O capítulo 2, Revisão bibliográfica, faz um estudo sobre o processo de desenvolvimento de produtos e alguns de seus principais modelos de referência, sobre o conceito da qualidade, sobre o processo de desenvolvimento de produtos direcionado à qualidade e sobre algumas das mais importantes ferramentas de suporte ao PDP direcionado à qualidade. Estas constituem as áreas de conhecimento que forneceram as bases teóricas para a realização desta dissertação.

No capítulo 3, Modelo de referência para o PDP direcionado à qualidade, é dedicado a expor o modelo de referência desenvolvido. Inicialmente é introduzido o conjunto de premissas e diretrizes que nortearam a sua concepção e, em seguida, é

feita sua descrição geral, onde são abordados os seus elementos constitutivos e o detalhamento de cada uma das fases, atividades e tarefas.

O capítulo 4 seguinte, Validação do modelo, expõe a aplicação do modelo no estudo de caso realizado em uma empresa multinacional de grande porte. Nele está descrita a execução de cada uma das fases e atividades do modelo, à imagem do capítulo 3, realizada durante a sua experimentação prática.

O último elemento textual do documento é o capítulo 5, Conclusões e recomendações, em que é feita uma avaliação geral do modelo proposto e são apresentadas as conclusões sobre os resultados obtidos a partir da sua aplicação prática. Ainda, neste capítulo, são sugeridas algumas recomendações e considerações gerais para apoiar futuras pesquisas nesta área do conhecimento.

Completando o documento, após o capítulo 5 são apresentadas as referências bibliográficas e o anexo A, que contém os critérios de pontuação dos FMEAs.

Com esta descrição da estrutura deste documento, encerra-se o capítulo introdutório.

Seguindo a ordem apresentada, na sequência consta o capítulo 2, que trata da fundamentação teórica do trabalho.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – ESTADO DA ARTE

O objetivo deste capítulo é discorrer sobre a teoria acadêmica vigente que fundamentou o estabelecimento de forma e conteúdo do modelo proposto nesta dissertação. Para tanto, inicialmente, apresenta-se a contextualização e os fundamentos básicos acerca do processo de desenvolvimento de produtos, seguindo-se uma breve revisão de alguns dos principais modelos de PDP desenvolvidos e apresentados pela academia. A seguir aborda-se os conceitos relacionados à qualidade, tornando, então, possível a apresentação conceitual do PDP direcionado à qualidade e de alguns de seus modelos mais conhecidos. Por fim, são relacionadas e discutidas algumas das principais ferramentas de suporte ao PDP direcionado à qualidade, aplicadas posteriormente no modelo desenvolvido neste trabalho.

### 2.1. Do processo de desenvolvimento de produtos

Peter Drucker proferiu certa vez a seguinte afirmação: “Existem apenas duas funções importantes nos negócios: *marketing* e inovação – tudo o mais é custo”. Ou seja, para Drucker, somente estas funções promovem efetivamente vantagem competitiva para a sobrevivência do negócio. Se as práticas de *marketing* dão à empresa melhores condições de competir, a inovação, conceito que envolve o desenvolvimento de novos produtos e mercados, permite seu aperfeiçoamento e sobrevivência em longo prazo.

A noção de que o desenvolvimento de novos produtos é uma atividade crucial para a sobrevivência e para a prosperidade corporativa tem sido cada vez mais amplamente reconhecida. Diante de um ambiente externo altamente volátil, caracterizado por ciclos de vida de produtos cada vez mais curtos, da globalização dos mercados e da competição, e de um ritmo frenético de avanços tecnológicos, as empresas encontram-se em uma posição em que o desenvolvimento de novos produtos já não é uma opção, mas uma necessidade (CRAIG e HART, 1992).

Por desenvolvimento de entende-se: “um conjunto de atividades por meio das quais se busca, a partir das necessidades do mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas, e considerando as estratégias competitivas e de produto da empresa, chegar às especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo. O desenvolvimento de

produto também envolve as atividades de acompanhamento do produto após o lançamento para, assim, serem realizadas as eventuais mudanças necessárias nessas especificações, planejada a descontinuidade do produto no mercado e incorporadas, no processo de desenvolvimento, as lições aprendidas ao longo do ciclo de vida do produto.” (ROZENFELD et al, 2006). Portanto, uma vez que processo é formalmente definido como um grupo de atividades realizadas em uma seqüência lógica com o objetivo de produzir um bem ou um serviço que tem valor para um grupo específico de clientes (GONÇALVES, 2000), o processo de desenvolvimento de produtos (PDP) pode ser entendido como um modelo formal que guia o projeto de um novo produto do estágio da idéia ao lançamento no mercado e além numa seqüência lógica que busque minimizar custos e o tempo de desenvolvimento, garantindo qualidade e desempenho técnico do produto adequados aos olhos do cliente.

O PDP apresenta algumas características que o diferencia dos demais processos de negócio ou administrativos, a saber: alto grau de incerteza e risco nas atividades e resultados; decisões importantes devem ser tomadas no início do processo, quando as incertezas são ainda maiores; dificuldade de mudar as decisões iniciais; as atividades básicas seguem um ciclo iterativo do tipo projetar-construir-testar-otimizar; manipulação e geração de alto volume de informações; as informações e atividades provêm de diversas fontes e áreas da empresa e da cadeia de suprimentos; multiplicidade de requisitos a serem atendidos pelo processo, considerando todas as fases do ciclo de vida do produtos e seus clientes (ROZENFELD et al, 2006). Por estas características, o PDP representa uma das empreitadas mais arriscadas das organizações modernas e a sua gestão é uma das mais difíceis tarefas em qualquer corporação (ALMEIDA e MIGUEL, 2007).

Craig e Hart (1992) relacionaram, com base em uma extensa pesquisa bibliográfica, cinco fatores críticos de sucesso para o desenvolvimento de um novo produto:

- Orientação estratégica;
- Gestão do desenvolvimento de novos produtos;
- Pessoas;
- Informação;
- PDP.

Cada um destes cinco fatores será discutido a seguir.

### 2.1.1. *Orientação estratégica*

Segundo Craig e Hart (1992), a relação entre a estratégia corporativa e a atividade de desenvolvimento de novos produtos influencia diretamente o resultado do PDP. Para que o desenvolvimento de novos produtos obtenha sucesso ele deve estar alinhado com os objetivos corporativos, isto é, deve ser derivado da estratégia corporativa. Isso pressupõe que seja desenvolvida uma estratégia específica para novos produtos. Esta estratégia garantirá que a inovação de produtos seja encarada como uma porção central das estratégias da organização, que objetivos sejam estabelecidos e que as áreas mais deficitárias, com relação àquela estratégia, desenvolvam-se adequadamente.

Cooper e Kleinschmidt (2006) vão mais além ao afirmar, com base em um amplo estudo envolvendo 161 diferentes corporações, que a existência de uma estratégia para novos produtos é um dos principais fatores para o sucesso do desenvolvimento de novos produtos. De acordo com a sua pesquisa, puderam-se identificar quatro ingredientes mais relevantes de uma boa estratégia para novos produtos que, quando aplicadas conjuntamente, incrementam positivamente o desempenho do processo de desenvolvimento:

- Definição de metas e objetivos para o esforço organizacional de desenvolvimento de novos produtos, por exemplo, qual o percentual das vendas e lucro total da companhia deverão advir do lançamento de novos produtos;
- Comunicação clara a toda organização do papel que os novos produtos desempenham no atendimento das metas de negócio;
- Definição clara das áreas de foco estratégico (arenas estratégicas) para dar direção aos esforços de desenvolvimento de novos produtos do negócio;
- Foco e visão de longo prazo da iniciativa de desenvolvimento de novos produtos da organização, incluindo alguns projetos de mais longo prazo (em oposição a projetos incrementais, de curto prazo).

A estratégia para novos produtos é geralmente consolidada na forma de um planejamento estratégico de produtos (PEP). O objetivo do PEP é obter um plano contendo o portfólio de produtos da empresa a partir do planejamento estratégico do negócio (ROZENFELD et al., 2006). Isso significa dizer que o desenvolvimento de novos produtos deve ser um mecanismo para ajudar a empresa a atingir as metas

estratégicas do negócio. O fluxo de atividades para o planejamento estratégico de produtos proposto por Rozenfeld et al (2006) pode ser visto na FIGURA 2.1:

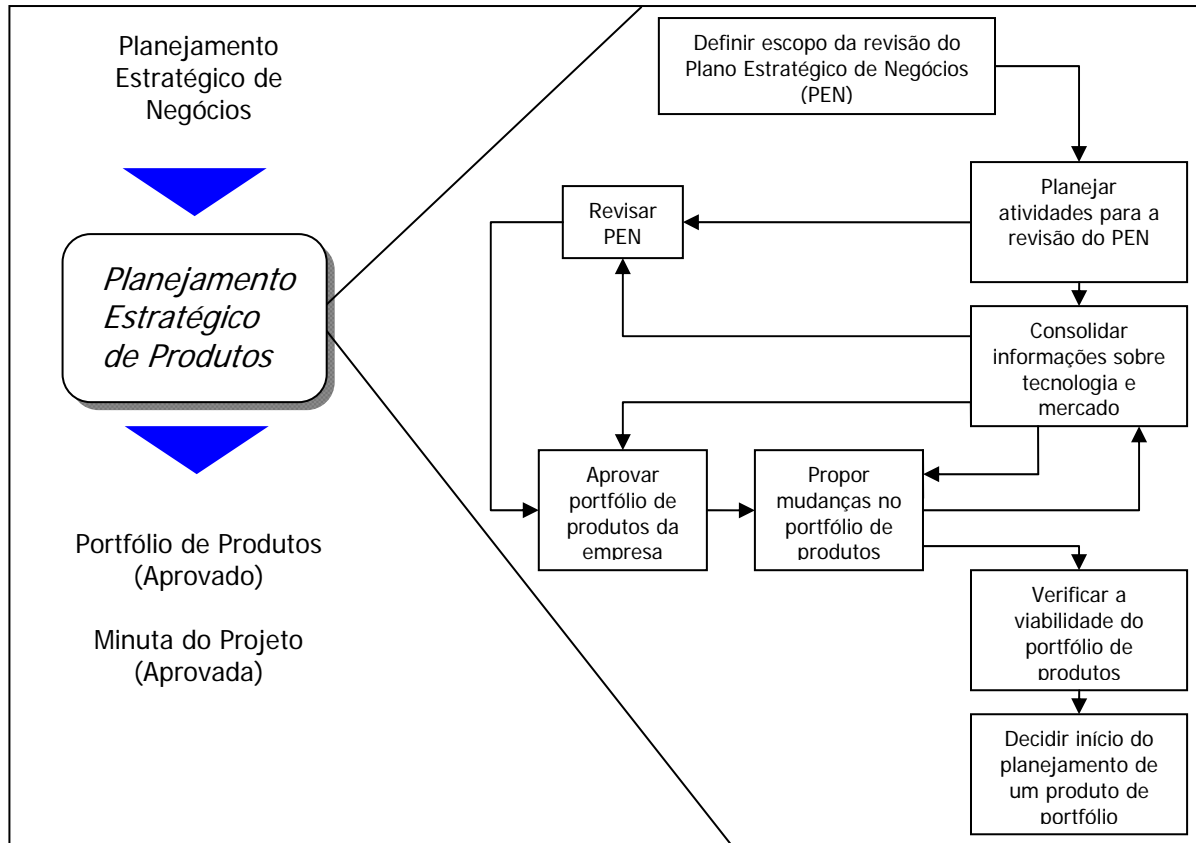


FIGURA 2.1: Fluxo de atividades da fase de Planejamento Estratégico de Produtos (adaptado: ROZENFELD et al., 2006).

### 2.1.2. Gestão do desenvolvimento de novos produtos

Alguns autores afirmam que o suporte da alta gerência é um fator significativo ao sucesso de novos produtos. Cooper e Kleinschmidt (1995) consideram o comprometimento da direção à inovação o quarto fator mais crítico para o sucesso do desenvolvimento de novos produtos. Segundo eles, companhias bem sucedidas possuem uma gestão fortemente comprometida com a estratégia de novos produtos, que devota os recursos necessários para cumpri-la e que está intimamente envolvida nas decisões relacionadas aos projetos de novos produtos.

O papel que a alta direção da empresa pode desempenhar como catalisadora do desenvolvimento de novos produtos foi tema de estudo de diversos pesquisadores (MAIDIQUE e ZIRGER, 1984; HART e SERVICE, 1988; JACOBS e HERBIG, 1998; COOPER, 2000). Uma variedade de itens foi considerada nestes estudos, incluindo quais as orientações gerenciais mais adequadas, qual a melhor

forma de garantir o envolvimento dos gestores no desenvolvimento de produtos e as funções que a alta gerência pode executar para melhorar os resultados provindos do PDP (CRAIG e HART, 1992). Estes itens são apresentados a seguir:

- Orientação gerencial – ao que afirmam Hart e Service (1988), uma gestão com orientação balanceada que combina o comprometimento técnico com os *inputs* de *marketing* está fortemente relacionada com um desempenho competitivo superior, em se falando de desenvolvimento de produtos.
- Envolvimento da alta gerência – considerando qual a melhor forma de garantir o envolvimento da alta direção no desenvolvimento de novos produtos, alguns autores entenderam que encarar as inovações como uma escolha estratégica fará com que a alta e a média lideranças estejam diretamente envolvidas na definição de metas e na alocação de recursos aos projetos de produto (CRAIG e HART, 1992; COOPER, 1999).
- Papéis da alta gerência – um dos principais papéis que a alta gerência tem que cumprir é a de fomentar um clima organizacional que favoreça a inovação de produtos (CRAIG e HART, 1992; COOPER, 1999; COOPER e MILLS, 2005; ROZENFELD et al., 2006). Alinhada à noção de catalisação do clima está a responsabilidade que a alta gerência tem com toda a estrutura organizacional, gerindo a forma como pessoas e funções relacionam-se entre si e onde deve estar localizada a autoridade por determinadas decisões (CRAIG e HART, 1992). Ainda, além de criar o clima e a estrutura organizacionais que suportam a inovação, a alta gerência deve também estar envolvida com os projetos de novos produtos no nível operacional, influenciando o rumo do projeto, monitorando o seu progresso e promovendo uma cultura de inovação. (COOPER, 2000).

### 2.1.3. Pessoas

Muitos estudos referem-se às pessoas envolvidas no PDP e o modo como estas pessoas estão organizadas como fatores críticos de sucesso para o resultado do desenvolvimento de novos produtos (MAIDIQUE e ZIRGER, 1984; BENTLEY, 1990; COOPER, 1999; ROZENFELD et al., 2006). É importante que aqueles envolvidos na inovação de produtos estejam organizados de forma a facilitar a sua integração.

A estrutura organizacional opera em dois níveis: a estrutura num nível mais amplo, de toda a organização e a estrutura de projetos em específico. A estrutura organizacional no nível operacional (de projetos) reflete a estrutura no nível estratégico. Enquanto a alta gerência, como previamente mencionado, tem a responsabilidade por toda a organização no nível estratégico, o gerente de projeto é responsável pelo desenho organizacional do projeto (CRAIG e HART, 1992).

Rozenfeld et al. (2006) sugerem três tipos de arranjos organizacionais para o projeto de novos produtos, a saber: estrutura funcional, estrutura por projetos e estrutura matricial. Na estrutura funcional, o projeto é dividido em segmentos cuja responsabilidade é delegada a determinadas áreas ou grupos funcionais, coordenados pelos gerentes funcionais. Neste caso, a ligação entre os indivíduos acontece primeiro entre aqueles que realizam funções similares. Na estrutura por projeto, essa ligação acontece preferencialmente entre aqueles que estão trabalhando em um mesmo projeto. Neste tipo de arranjo organizacional, um gerente de projeto é posto no comando de um time composto por um grupo de pessoas originariamente de diversas áreas funcionais. Os gerentes funcionais não têm nenhum envolvimento formal. Já a estrutura matricial, pode ser vista como um tipo de organização híbrida que apresenta características da estrutura funcional e da estrutura por projeto. Os indivíduos estão ligados a outros tanto por meio de suas áreas funcionais quanto por meio de um ou mais projetos. Nesse contexto, o indivíduo normalmente tem dois superiores hierárquicos: um da organização funcional e outro referente ao projeto (FIGURA 2.2).

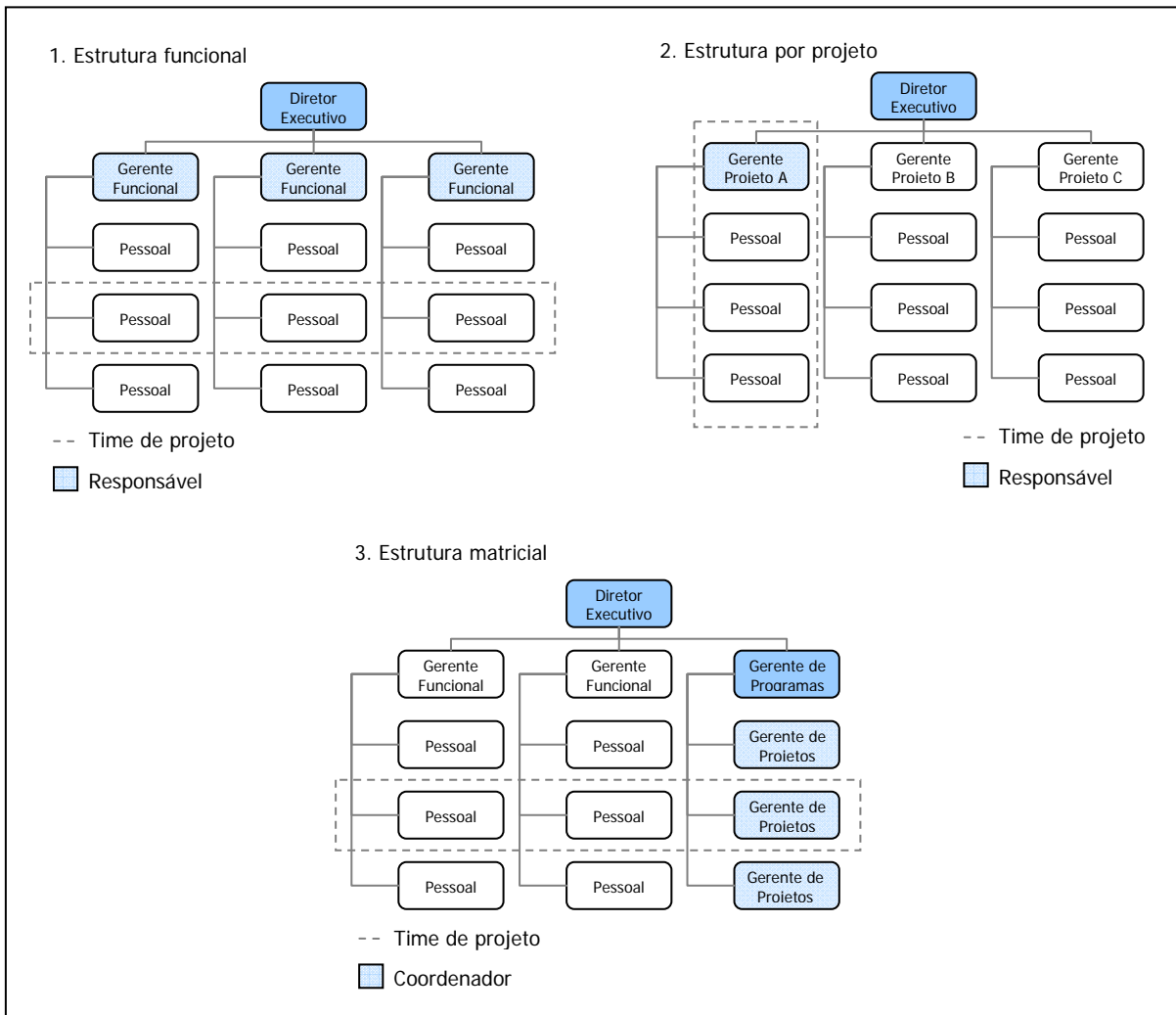


FIGURA 2.2: Arranjos organizacionais para o projeto de novos produtos (adaptado: ROZENFELD et al., 2006).

#### 2.1.4. Informação

A noção de que o principal objetivo das atividades de desenvolvimento de projetos é reduzir as incertezas e os riscos é reiterada na literatura disponível. Bonnet (1986), por exemplo, afirma que o alto nível de incertezas envolvidas no desenvolvimento de produtos é devido à não completude das informações técnicas e de mercado. Portanto, desde que a informação está intimamente associada à redução das incertezas, as atividades de projeto podem ser consideradas como atividade de processamento de informações discretas que objetivam a redução do grau de incerteza do projeto. A informação é a moeda base do PDP, a força motriz; informação de qualidade é crucial e toda informação deve ser eficientemente transferida para facilitar a comunicação.

### 2.1.5. PDP

A liderança e os times de projeto de algumas companhias não entendem de maneira clara o que é necessário para se desenvolver produtos de sucesso. Na verdade, eles não possuem uma perspectiva completa e balanceada de quais são as atividades e eventos importantes de um projeto bem executado (COOPER, 1999). Por isso o processo pelo qual as empresas desenvolvem seus novos produtos tem sido identificado como um fator crítico de sucesso para o projeto de produtos (CRAIG e HART, 1992).

Por outro lado, segundo Fiod Neto (1993), o PDP de uma empresa que deseja manter-se competitiva no mercado não deve ser uma atividade intuitiva, empírica e de tentativa e erro, mas deve ser desenvolvido e apoiado em um processo sistêmico com forte embasamento científico. Nesse aspecto, entende-se por processo sistêmico um processo organizado e suportado por métodos, técnicas e ferramentas que estruturam o PDP. Assim, uma adequada estruturação do PDP pode se tornar decisiva para o aumento da competitividade das empresas.

A literatura evidencia uma série de trabalhos, dos mais diversos domínios (marketing, administração, *design* e engenharia), que apresentam modelos descritivos e normativos de PDP (KOTLER, 1998; COOPER, 2002; ALMEIDA e MIGUEL, 2007). A seção seguinte desta dissertação apresenta alguns dos principais modelos desenvolvidos ao longo da história do desenvolvimento de novos produtos.

## 2.2. Dos modelos de PDP

### 2.2.1. Modelo de PDP segundo Kotler

Do domínio do *marketing*, Kotler (1998) sugere um processo de desenvolvimento seqüencial composto por oito grandes estágios: geração de idéias, triagem de idéias, desenvolvimento e teste de conceito, desenvolvimento da estratégia de marketing, análise comercial, desenvolvimento de produto, teste de mercado e comercialização. A FIGURA 2.3 ilustra o modelo, que será discutido nos tópicos seguintes.



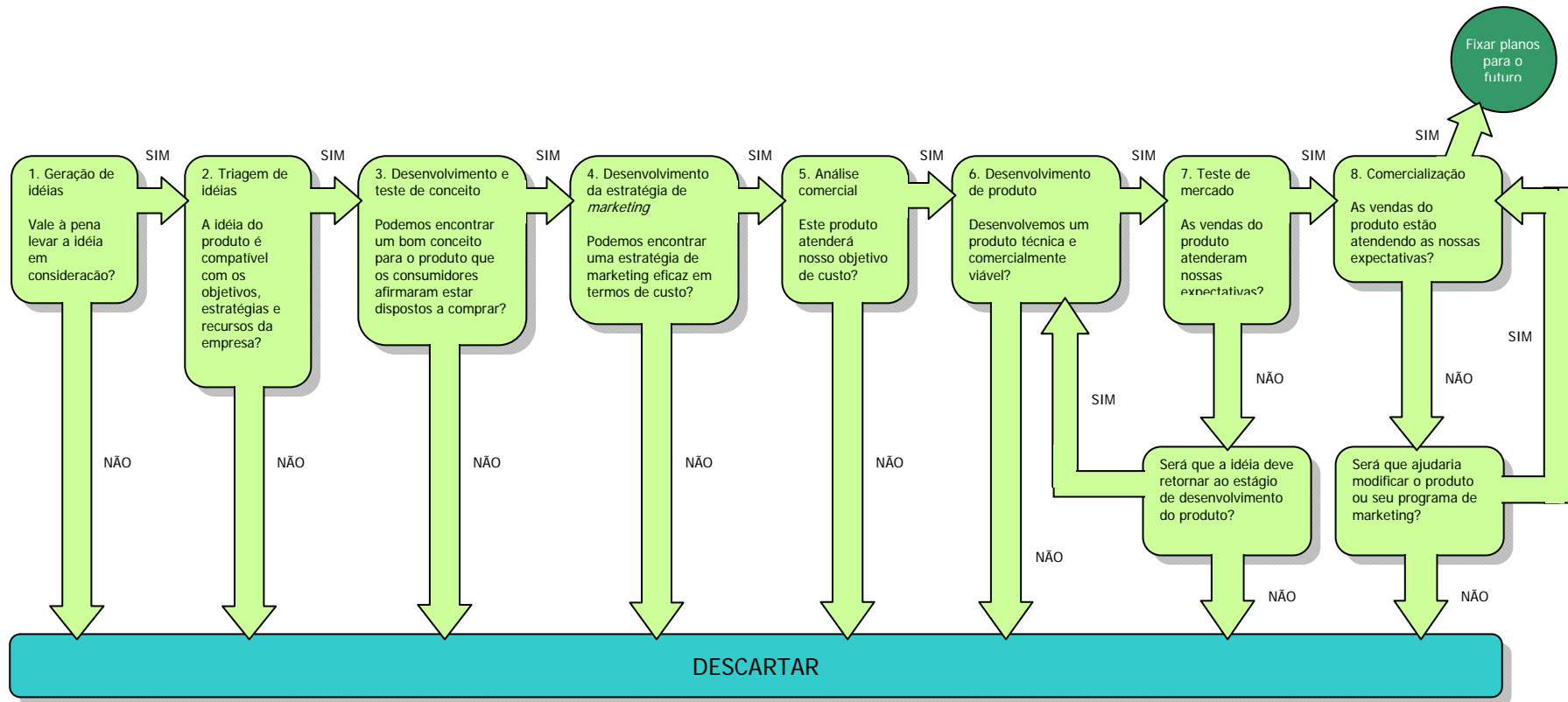


FIGURA 2.3: processo de decisão para o desenvolvimento de novos produtos (adaptado: KOTLER, 1998).

#### 2.2.1.1. Geração de idéias

Segundo o modelo de Kotler (1998), o PDP começa com a busca de idéias. Nesta fase, a alta gerência deve definir os produtos e mercados a enfatizar e declarar os objetivos da empresa em relação aos novos produtos. Devem também definir o esforço a ser destinado ao desenvolvimento de produtos inovadores, à modificação de produtos existentes e ao desenvolvimento de produtos similares aos dos concorrentes.

Para a geração destas idéias, as empresas devem buscar informações na mais variadas fontes: consumidores, cientistas, concorrentes, funcionários, intermediários, alta administração, inventores, detentores de patentes, laboratórios universitários e comerciais, e outros.

#### 2.2.1.2. Triagem de idéias

Qualquer empresa pode atrair boas idéias ao organizar-se apropriadamente (KOTLER, 1998). Por isso é importante que a organização escolha, dentre todas que surgirem, quais idéias vale a pena serem desenvolvidas e seguirem no processo de desenvolvimento de novos produtos. O propósito da triagem, portanto, é eliminar as idéias fracas o mais cedo possível. A razão é que os custos de desenvolvimento de produtos elevam-se substancialmente a cada estágio sucessivo do PDP.

Contudo, nesta fase, dois erros principais devem ser evitados: o erro de descarte, quando uma idéia que parece promissora é descartada, e o erro “vá em frente”, que ocorre quando a empresa permite que uma idéia fraca siga para o desenvolvimento e a comercialização do produto ou serviço. Por isso a escolha por uma ou outra idéia deve ser bastante criteriosa e deve estar alinhada com as necessidades e estratégia da organização.

#### 2.2.1.3. Desenvolvimento e teste de conceito

Nesta fase do PDP proposto por Kotler (1998), as idéias atraentes, selecionadas na etapa anterior, devem ser aperfeiçoadas em conceitos de produtos testáveis. Por conceito de produto entende-se: “uma versão elaborada da idéia, expressada em termos significativos para o consumidor” (KOTLER, 1998).

O autor, neste ponto, sugere que vários conceitos sejam trabalhados. Os conceitos desenvolvidos devem então ser testados com um grupo apropriado de consumidores-alvos, cujas reações devem, posteriormente, ser avaliadas. Com base neste resultado a empresa avalia se cada um dos conceitos tem apelo amplo e forte para o consumidor e, eventualmente, escolhe um dos conceitos, ou uma mistura deles, para avançar à próxima fase.

#### 2.2.1.4. Desenvolvimento da estratégia de marketing

Após a fase de teste, um plano estratégico de marketing preliminar para lançar o novo produto no mercado deve ser desenvolvido. Esta estratégia passará por aperfeiçoamentos nos estágios seguintes.

O plano estratégico de marketing consiste em três partes. A primeira parte descreve o tamanho, estrutura e comportamento do mercado-alvo, o posicionamento planejado do produto e as vendas, participação de mercado e metas de lucro esperada para os primeiros anos. A segunda delinea o preço previsto para o produto, a estratégia de distribuição e o orçamento de marketing para o primeiro ano. A terceira parte descreve as metas de vendas e de lucros em longo prazo e o composto de marketing no período.

#### 2.2.1.5. Análise comercial

Tendo entregues os produtos das fases anteriores de desenvolvimento do conceito do produto e da estratégia de marketing, quais sejam, respectivamente, o conceito selecionado do novo produto e o plano estratégico de *marketing*, é possível à alta administração avaliar a atratividade do negócio proposto. Para tanto, é preciso preparar as projeções de vendas, custos e lucros para determinar se o projeto atende aos objetivos a que se propõe. Em caso positivo, o conceito de produto pode passar para o estágio de desenvolvimento, propriamente dito, do produto. À medida que o projeto progride e novas informações são coletadas, a análise comercial deve ser revisada e expandida.

#### 2.2.1.6. Desenvolvimento do produto

A próxima etapa no modelo apresentado por Kotler (1998) é o desenvolvimento do produto propriamente dito, onde o conceito do produto, que até o momento existiu somente sob a forma de descrição verbal, de

desenho ou de protótipo, é transformado em produto físico. Neste estágio, a empresa determinará se a idéia de produto pode ser transformada em um produto técnica e comercialmente viável. O autor sugere que as atividades componentes desta fase sejam realizadas pelo departamento de P&D e/ou engenharia.

#### 2.2.1.7. Teste de mercado

Uma vez desenvolvido o produto com desempenho funcional adequado, ele deve ser testado em condições normais de uso pelo consumidor. O propósito do teste é saber como consumidores e revendedores reagem ao manuseio, utilização e repetição de compra do produto real e qual o tamanho do mercado. Algumas técnicas sugeridas para o teste de mercado são a pesquisa de flutuação de vendas, o teste de marketing simulado, o teste de mercado controlado e os mercados-teste.

#### 2.2.1.8. Comercialização

Com as informações obtidas do teste de mercado, a organização deve, enfim, decidir pela comercialização ou não do produto. O processo de comercialização envolve decisões quanto ao momento do lançamento, à estratégia geográfica (onde vender o produto), a quem são os consumidores potenciais no mercado-alvo e, por fim, à estratégia de lançamento do produto no mercado (como vender).

#### 2.2.2. *Modelo de PDP segundo Cooper*

O modelo de PDP proposto por Cooper et al. (2002) remonta ao modelo de desenvolvimento de produtos desenvolvido pela NASA nos anos 60. O modelo, conhecido por Planejamento do Projeto em Fases (ou, do inglês, *Phased Project Planning* – PPP), dividiu o processo de desenvolvimento em fases discretas. Ao final de cada fase existiam momentos de revisão: a disponibilidade de verba para a fase seguinte estava condicionada ao atendimento de alguns pré-requisitos, tipicamente que todas as tarefas previstas para aquela fase tivessem sido completadas de modo satisfatório. Portanto, o método era uma espécie de metodologia de medição e controle, desenvolvido para assegurar que o projeto fosse executado conforme planejado e que todas as suas atividades fossem completadas no tempo

adequado. Contudo, o processo era fundamentalmente orientado a engenharia, ou seja, tinha o foco exclusivo no projeto e desenvolvimento físico do produto (o pessoal de *marketing*, por exemplo, não era envolvido), e ele foi planejado para tratar dos riscos técnicos do projeto, apenas; os riscos para o negócio não eram avaliados. Além disso, era um processo moroso; restrito, por lidar apenas com a fase de desenvolvimento, não com todo o PDP, da idéia ao lançamento e além; e altamente funcional, com o escopo tão amplo quanto os aspectos técnicos de engenharia do projeto.

A evolução natural deste processo é o modelo batizado por Cooper (1990) de processo *stage-gate* de desenvolvimento de produtos. Ele consiste de estágios discretos precedidos por pontos de revisão, chamados de *gates*, assim como no PPP. Porém, por outro lado, o processo *stage-gate* (PSG) caracteriza-se pela multifuncionalidade, já que em todos os estágios as atividades e decisões são concernentes a todas as funções da organização e, por isso, é um sistema muito mais orientado para o mercado e lida não apenas com os riscos técnicos do projeto, mas também com os riscos para o negócio. Além disso, o PSG é um processo mais holístico por capturar todo o fluxo desde a idéia até o lançamento, não apenas o estágio intermediário de desenvolvimento; e apóia-se no conceito do desenvolvimento paralelo ou engenharia simultânea, em que as atividades deixam de ser seqüenciais para serem executadas paralelamente por diversas áreas funcionais. Uma representação deste modelo está disponível na FIGURA 2.4 abaixo:



FIGURA 2.4: Processo stage-gate de desenvolvimento de produtos (adaptado: COOPER et al., 2002).

#### 2.2.2.1. Descoberta

O estágio de Geração de Idéias, também chamado de Descoberta, é o primeiro do PSG. É nesta fase em que as idéias para futuros produtos são geradas. Aqui se encontram todas as atividades de pesquisa e desenvolvimento de tecnologia da companhia. Uma vez capturadas as idéias, elas deverão ser avaliadas no *gate* 1 quanto à sua continuidade ou não no processo de desenvolvimento. Se aprovada, tem início o processo de desenvolvimento do novo produto.

#### 2.2.2.2. Estágio 1: Escopo

Nesta etapa é feita uma rápida investigação e delineamento do projeto. O objetivo é definir os limites do projeto, mesmo que ainda de forma difusa. Para a aprovação no *gate* 2, deve-se ter em mãos avaliações preliminares técnica, de mercado, de negócio e financeira. Neste *gate* a organização decidirá se está disposta a correr os riscos cujas avaliações preliminares delineiam.

#### 2.2.2.3. Estágio 2: Estudo econômico

Um estudo detalhado e um trabalho de investigação intenso são necessários para se obter um estudo econômico bem fundamentado. Ele deve conter a definição do produto, uma justificativa de negócio para o projeto e um plano de ação detalhado para as próximas fases. Este estágio envolve as seguintes atividades: estudo acerca dos requisitos e necessidades do consumidor, análise dos concorrentes, análise de viabilidade técnica, definição do produto, análise financeira.

#### 2.2.2.4. Estágio 3: Desenvolvimento

O estágio de Desenvolvimento corresponde ao projeto e desenvolvimento do novo produto. Adicionalmente, os processos de manufatura (ou operações, de modo mais geral) são mapeados, os planos de lançamento, *marketing* e de operação são desenvolvidos e os planos de teste para o próximo estágio são definidos. Além disso, esta fase envolve o desenvolvimento de protótipos, pesquisas com consumidores potenciais, testes de laboratório com o produto, desenvolvimento dos processos de produção.

#### 2.2.2.5. Estágio 4: Testes

A fase de testes e validação do produto consiste em verificar e validar o novo produto proposto, o seu plano de *marketing* e a sua produção. Algumas atividades do estágio de Testes são: execução de teste de campo, aquisição dos equipamentos para a produção, testes dos processos produtivos, vendas piloto, finalização dos planos de lançamento e produção, planos de pós-venda e de ciclo de vida.

#### 2.2.2.6. Estágio 5: Lançamento

Neste estágio é feito o lançamento do produto no mercado, conforme previsto no plano de *marketing*. A produção do novo produto em escala tem início, também a comercialização e a venda do novo produto. Nesta fase, a organização deve monitorar o comportamento do produto em campo e executar os planos de pós-venda e de ciclo de vida do produto.

#### 2.2.2.7. Revisão pós-lançamento

A revisão pós-lançamento tem o objetivo de confrontar os resultados obtidos pelo lançamento do produto no mercado *versus* os resultados projetados durante o processo de desenvolvimento. Esta fase tem uma importância fundamental para a melhoria do PSG e do produto recém-lançado. É aqui que se registra o aprendizado com o desenvolvimento e lançamento do novo produto e ocorre a retro alimentação do processo e do produto, que pode sofrer alterações para incorporar as oportunidades de melhoria identificadas nesta fase.

#### 2.2.3. Modelo de PDP segundo Rozenfeld et al.

Fruto do trabalho conjunto de três universidades brasileiras, Rozenfeld et al. (2006) apresentam no seu livro “Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo” o que eles intitulam de modelo de referência para o PDP. Esse modelo (FIGURA 2.5) é a compilação das melhores práticas no tocante à gestão do desenvolvimento de produtos, apresentando características importantes advindas dos modelos anteriormente apresentados.

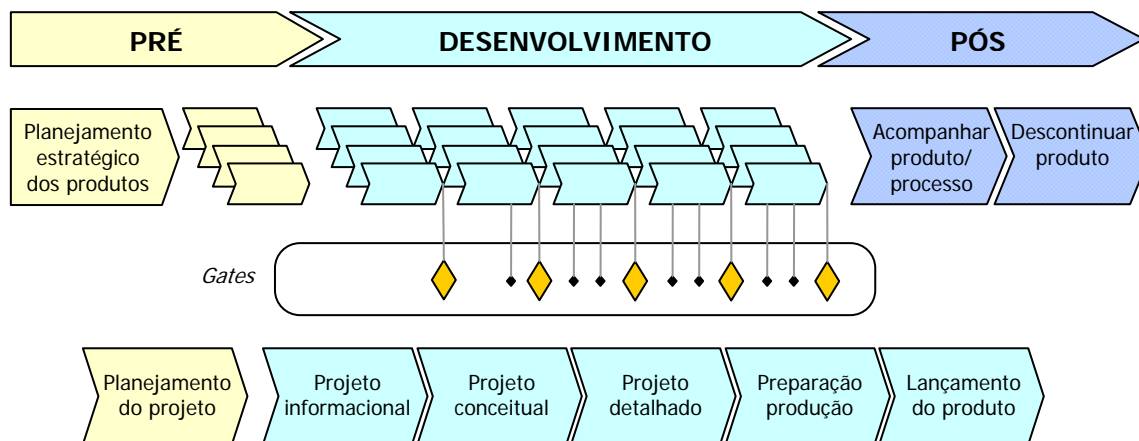


FIGURA 2.5: Modelo de referência do PDP (adaptado: ROZENFELD et al., 2006).

O modelo, principalmente voltado para empresas de manufatura e bens de consumo duráveis e de capital, é dividido em macrofases, subdivididas em fases e atividades. Assim como no PSG, no modelo de Rozenfeld et al. (2006) o que determina uma fase é a entrega de um conjunto de resultados (*deliverables*), avaliados por meio de um processo formalizado conhecido como transição de fase ou *gate*. Portanto, o projeto só passa a próxima fase se os resultados entregues até a fase atual forem avaliados como adequados e suficientes pelo corpo gerencial da companhia.

Para facilitar a representação, as fases são apresentadas de forma seqüencial, porém, em projetos distintos, certas atividades de uma fase podem ser realizadas dentro de outra fase. Nos tópicos a seguir, será discutida cada uma das fases componentes deste modelo de referência. Antes, porém, serão apresentadas as atividades genéricas do modelo, executadas ao longo de todo o processo independentemente da fase em que se encontre o projeto.

#### 2.2.3.1. Atividades genéricas do modelo

Existem atividades que se repetem durante as fases que compreendem o desenvolvimento do produto, chamadas de atividades genéricas (FIGURA 2.6).



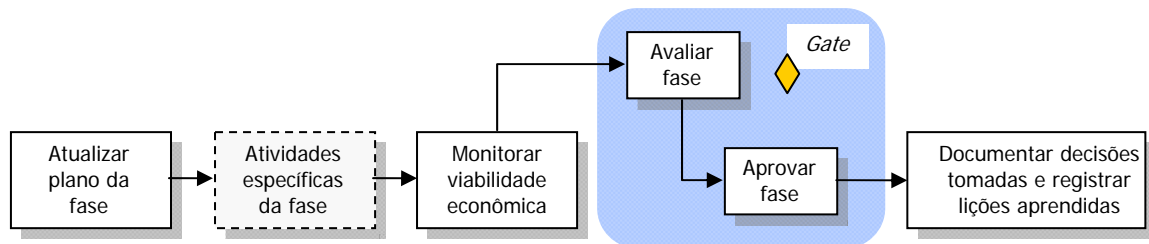


FIGURA 2.6: Atividades genéricas do modelo (adaptado: ROZENFELD et al., 2006).

No início de cada fase ocorre a atualização do plano do projeto, que consiste do documento onde estão registrados a definição dos principais resultados esperados de cada fase, a relação das atividades principais a serem realizadas para se atingir esses resultados, o delineamento do escopo do projeto, o tempo de duração de cada atividade, a análise de risco, etc. Em seguida ocorrem as atividades específicas de cada fase, descritas nos tópicos seguintes. O monitoramento da viabilidade econômico-financeira é realizado durante o desenvolvimento da fase a cada momento que novas decisões provoquem possível impacto no projeto que possam comprometer os resultados previstos no plano do projeto. Porém, ao final de cada fase, a atualização do estudo de viabilidade é formalmente realizada e documentada antes da sua revisão (*gate*). Na seqüência, o *gate* acontece dividido em duas etapas: uma auto-avaliação, quando o próprio time de desenvolvimento, em conjunto com as suas áreas funcionais, verifica se todos os critérios de passagem foram atendidos e se eles podem ser submetidos ao processo de aprovação. Em caso positivo, na segunda etapa da revisão, os responsáveis pelo projeto participam da avaliação e aprovam ou não a fase, permitindo que o projeto continue. Por fim, todas as decisões tomadas durante a realização da fase e durante a revisão, assim como as lições aprendidas, são formalmente documentadas.

### 2.2.3.2. Planejamento estratégico de produtos

O Planejamento estratégico de produtos corresponde à primeira fase do modelo de referência e inicia a macrofase de pré-desenvolvimento. O objetivo desta fase é obter um plano contendo o portfólio de produtos da empresa a partir do planejamento estratégico da companhia. Assim, garante-se que os produtos que entrarão no funil de desenvolvimento estarão associados à estratégia da organização; estes produtos compreenderão àqueles que

ajudarão a organização a atingir as suas metas estratégicas de negócio. Os principais atores desta fase são os membros da diretoria e os gerentes funcionais.

Fazem parte desta etapa as atividades de coletar informações sobre o mercado e sobre tecnologias; criar cenários e análises sintetizando essas informações; avaliar tecnologias e plataformas atualmente utilizadas na companhia; compilar idéias de novos produtos; analisar projetos segundo critérios de análise de portfólio; propor mudanças no portfólio de produtos e decidir o início do planejamento de um dos produtos do portfólio, formalizado pela aprovação e assinatura da minuta do projeto.

#### 2.2.3.3. Planejamento do projeto

A fase de planejamento do projeto encerra a macrofase de pré-desenvolvimento. Nesta fase, realiza-se o planejamento macro de um dos projetos de novo produto planejados no portfólio, aquele aprovado na última atividade da fase anterior, de planejamento estratégico de produtos. O resultado final do planejamento do produto é o Plano de Projeto do Produto que, demonstrando-se viável, será utilizado como guia para a próxima macrofase, de Desenvolvimento do Produto.

As atividades do planejamento do projeto, de forma genérica, devem empreender esforços no sentido de identificar todas as atividades, recursos e a melhor forma de integrá-los para que o projeto siga em frente com o mínimo de erros. Por isso nesta etapa serão executadas as seguintes tarefas: definir quem são os interessados do projeto, ou seja, quem são os indivíduos e as organizações envolvidos diretamente e também aqueles que, de alguma forma, serão afetados pela existência do projeto; montar a equipe de projeto; definir o escopo do produto a partir da minuta do projeto; a partir do escopo do produto, definir o escopo do projeto e detalhá-lo; detalhar as atividades para a execução do projeto, definir a seqüência de execução e determinar o cronograma; avaliar os riscos potenciais envolvidos com o projeto; preparar orçamento do projeto e analisar a sua viabilidade econômica; definir indicadores de desempenho; definir plano de comunicação do projeto para que ocorra adequadamente a geração, coleta, disseminação, armazenamento e descarte das informações que envolvem um projeto de desenvolvimento; planejar e preparar o

desenvolvimento de fornecedores; preparar o plano de projeto; e, por fim, avaliar os *deliverables* da fase e aprová-la.

#### 2.2.3.4. Projeto informacional

Os elementos obtidos ao final da fase de planejamento do projeto fornecem uma definição do escopo, descrevendo o produto que será obtido e as definições básicas e as restrições que cercam o projeto, além das atividades e dos recursos necessários planejados. Essas informações permitirão também uma análise da viabilidade econômica e técnica do projeto. Feito isso, a equipe de desenvolvimento será reunida para dar início à macrofase de Desenvolvimento e, com ela, à fase de projeto informacional.

O objetivo desta fase é desenvolver as especificações-meta do produto, responsáveis pela orientação à geração de soluções, fornecendo a base sobre a qual serão montados os critérios de avaliação e de tomada de decisão utilizados nas fases posteriores. Essas especificações são desdobradas a partir das informações levantadas durante a fase de planejamento, implicando, portanto, na importância da qualidade e acuracidade destas informações, já que, se definidas inadequadamente, as especificações-meta podem deflagrar uma seqüência de decisões que farão emergir uma solução para um problema diferente daquele que se deseja.

As atividades envolvidas nesta fase são, conforme segue: atualização do plano informacional, garantindo alinhamento com o plano desenvolvido na fase de planejamento do projeto; definição do problema de projeto do produto pela revisão e atualização do escopo do produto; mapeamento do ciclo de vida do produto e definição, para cada estágio do ciclo, dos clientes (pessoas ou organizações) envolvidos com o produto e o projeto; identificação dos requisitos destes clientes e desdobramento dos requisitos em características técnicas, culminando com a definição dos requisitos do produto; enfim, definir as especificações-meta do produto; monitoramento a viabilidade econômico-financeira; avaliação da fase, aprová-la e documentação das decisões tomadas e as lições aprendidas.

#### 2.2.3.5. Projeto conceitual

Na fase de projeto conceitual, as atividades da equipe de projeto relacionam-se com a busca, criação, representação e seleção de soluções para

o problema de projeto. De forma genérica, o objetivo desta fase é conceber o produto na forma de seu modelo conceitual. Isto implica ter definidos o *layout* e o estilo do produto, a arquitetura do produto com seu BOM inicial e interfaces, o mapeamento do macro processo de fabricação e montagem, lista inicial dos sistemas, subsistemas e componentes principais.

Do mesmo modo que na fase anterior, o projeto conceitual inicia-se pela atualização do plano do projeto conceitual, de maneira a manter a compatibilidade com o planejamento geral feito na fase de planejamento do projeto. Em seguida, de forma abstrata e independente de princípios físicos, o produto é modelado funcionalmente. Para isso, inicialmente, define-se a função global do produto que, em seguida, é desdobrada em várias estruturas de funções do produto até que uma seja selecionada. Os modelos funcionais permitem que o produto seja representado por meio das suas funcionalidades, tanto aquelas realizadas externamente ao produto em sua interação com o ambiente quanto às funções internas ao produto, realizadas pelas suas partes.

Na seqüência, são desenvolvidos princípios de solução para as funções, ou seja, a partir do correto entendimento da função, busca-se efeitos físicos e portadores de efeitos que, por meio de determinados comportamentos, realizem o objetivo da função em questão. No próximo passo, os princípios de solução de cada uma das funções são combinados para formar os princípios de solução totais para o produto. Para cada um desses princípios de solução totais gerados, define-se uma arquitetura que contém a estrutura do produto em termos dos componentes e suas conexões (sistemas e subsistemas). Neste momento, é possível fazer uma escolha inicial das parcerias e fornecedores. Por fim, dentre as concepções geradas pelas atividades anteriores, escolhe-se o melhor dos conceitos. Feito isto, executam-se as atividades genéricas da fase, envolvendo o monitoramento da viabilidade econômico-financeira, a revisão da fase e o registro das decisões e lições aprendidas.

#### 2.2.3.6. Projeto detalhado

O projeto detalhado dá prosseguimento à fase anterior, e tem como objetivo desenvolver e finalizar todas as especificações do produto, para então serem encaminhados à manufatura e às outras fases do desenvolvimento. A

informação de entrada desta fase é a concepção do produto. Como as demais, essa fase inicia-se com a atualização do plano de projeto.

A atividade central do projeto detalhado é a criação e o detalhamento dos sistemas, subsistemas e componentes, pois, nela, acontece o ciclo de detalhamento, e é a partir dela que são acionadas as atividades relacionadas às decisões sobre aquisição (comprar ou fabricar internamente os componentes, sistemas e subsistemas e desenvolver fornecedores) e otimização (avaliar componentes, sistemas e subsistemas, configurar e documentar o produto e o processo, otimizando-os quando necessário).

Outras atividades desta fase são: criar e detalhar sistemas, subsistemas e componentes, documentação e configuração; planejar os processos operacionais de transformação da matéria-prima em produto acabado; projetar recursos de fabricação (ferramentas, dispositivos, etc.); criar material de suporte do produto (manuais, material de treinamento, etc.); projetar embalagem; planejar fim de vida do produto; testar e homologar produto; enviar documentação do produto a parceiros; monitorar a viabilidade econômico financeira; avaliar e aprovar fase; e documentar decisões tomadas e registrar lições aprendidas.

#### 2.2.3.7. Preparação da produção do produto

A fase de preparação da produção visa garantir que a empresa (e seus parceiros de fornecimento) consigam produzir produtos no volume definido na Declaração de Escopo do Projeto, com as mesmas qualidades do protótipo e que também atendam aos requisitos dos clientes levantados na fase de projeto informacional e cumprindo as especificações finais do projeto do produto e processo de fabricação, criadas nas fases de projeto conceitual e projeto detalhado. Esta fase engloba a produção do lote piloto e a definição dos processos de produção e manutenção, ou seja, trata de todas as atividades da cadeia de suprimentos do ponto de vista interno, objetivando a obtenção do produto.

A preparação da produção inicia-se com a obtenção dos recursos de fabricação especificados anteriormente, que são obtidos, vistoriados, instalados e aprovados. Em paralelo, a produção do lote piloto é planejada e, uma vez aprovados os recursos produtivos, executada. Com base na avaliação da

produção do lote piloto, o processo é, então, homologado, a produção otimizada para solucionar os problemas encontrados durante o lote piloto e o produto certificado. Também fazem parte desta fase as atividades de desenvolvimento do processo de produção e manutenção, treinamento do pessoal envolvido em toda a cadeia produtiva, monitoramento da viabilidade econômico-financeira, avaliação e aprovação da fase, culminando com a liberação para a produção e, finalmente, documentação e registro das decisões tomadas e lições aprendidas.

#### 2.2.3.8. Lançamento do produto

Enquanto a fase anterior trata de todas as atividades da cadeia de suprimentos do ponto de vista interno, visando à obtenção do produto, a fase de lançamento envolve o desenho dos processos de venda e distribuição, atendimento ao cliente e assistência técnica, e as campanhas de marketing. Ou seja, aquelas atividades da cadeia de suprimentos relacionadas à colocação do produto no mercado.

O início da fase contempla a atualização do seu planejamento, como nos casos anteriores. Fazem parte das atividades de lançamento do produto o desenvolvimento dos processos de apoio à comercialização, quais sejam processo de vendas, distribuição, atendimento ao cliente e assistência técnica. Ainda, a promoção do marketing de lançamento também acontece no início do lançamento, compreendendo a avaliação dos processos de apoio citados, o planejamento do evento de lançamento e a contratação de serviços para este evento. O lançamento do produto propriamente dito sucede a todas as preparações anteriormente citadas. Depois do lançamento acontecem as atividades de gerenciamento do lançamento, que consistem em gerenciar os resultados, a aceitação inicial do produto por parte dos clientes, e gerenciar a satisfação do cliente; e as atividades de atualização do plano de fim de vida criado durante o projeto detalhado, monitoramento da viabilidade econômico-financeira, avaliação e aprovação da fase, e documentação das decisões tomadas, registro das lições aprendidas e encerramento da macrofase de desenvolvimento.

#### 2.2.3.9. Acompanhar produto e processo

A fase de acompanhar produto e processo faz parte da macrofase de pós-desenvolvimento. O seu principal objetivo é garantir o acompanhamento do desempenho do produto na produção e no mercado, identificando necessidades ou oportunidades de melhorias e garantindo que a retirada do produto do mercado cause o menor impacto possível aos consumidores, empresa e meio ambiente. Nesta fase, avalia-se a satisfação do cliente, monitora-se o desempenho do produto (técnico, econômico, ambiental, de produção e de serviços), realiza-se auditoria pós-projeto e, por fim, registram-se as lições aprendidas, buscando a melhoria contínua do PDP.

#### 2.2.3.10. Descontinuar o produto

Descontinuar o produto significa retirar o produto do mercado. Esta fase se inicia, portanto, a partir da primeira devolução do produto por um cliente, mesmo com as fases de produção do produto e acompanhamento do produto e processo em plena realização. Portanto, a empresa deve estar preparada para receber este produto ao fim da sua vida útil. Para isso, as atividades de planejamento da descontinuidade do produto, preparação e acompanhamento do recebimento do produto deverão ser executadas.

Quando o produto deixar de ser importante em termos econômicos ou estratégicos e de apresentar vantagens para a organização, a sua produção será descontinuada. Neste caso, além do planejamento do produto, fazem parte desta fase as atividades de finalização do suporte técnico e de reposição, avaliação geral e encerramento do projeto, quando uma análise crítica de todo o projeto deverá ser conduzida.

### **2.3. Do conceito da qualidade**

Antes da discussão acerca do processo de desenvolvimento do produto voltado à qualidade, é coerente e necessário desvendar o conceito por trás do termo qualidade.

Esta não é atividade das mais fáceis, porém. Além do fato de que é extremamente dinâmica, tanto em termos de conteúdo como, principalmente, de alcance, a palavra qualidade apresenta características que implicam dificuldades de porte considerável para a sua perfeita definição. Não é um termo técnico exclusivo, cuja aplicação restringe-se a um ramo específico do conhecimento, mas uma palavra de domínio público. Isso significa que não se

pode defini-la de qualquer modo, porque o termo é aplicado no dia-a-dia do grande público e em contextos bem definidos. Ou seja, a sua definição deve ser tal que não contrarie a noção intuitiva que se tem sobre ela e que possa ser aplicada igualmente nos mais variados contextos, sem que se possa identificar e delimitar o seu significado com precisão.

Analisando todos esses aspectos, Paladini (2000) concluiu que o conceito correto da qualidade deve envolver dois elementos:

1. A qualidade envolve muitos aspectos simultaneamente, ou seja, uma multiplicidade de itens. Essa constitui a componente espacial do conceito;
2. A qualidade sofre alterações conceituais ao longo do tempo, isto é, trata-se de um processo evolutivo. Essa constitui a componente temporal do conceito.

O enfoque mais usual para a definição da qualidade envolve a idéia de centrar a qualidade no consumidor. Esse direcionamento abrange múltiplos itens: afinal, para o consumidor é importante o preço do produto, suas características específicas, seu processo de fabricação e até mesmo aspectos gerais que o envolvem, como sua marca (PALADINI, 2000). Assim, a multiplicidade de itens como aspecto básico da qualidade é bem evidente. Também o elemento evolutivo é visível, à medida que se investe em um processo de acompanhamento que visa observar como o cliente se comporta e como se alteram suas necessidades e preferências, de forma a atendê-las cada vez melhor. Foi exatamente nesse contexto que se estruturaram alguns conceitos da qualidade bem aceitos, sempre envolvendo a figura do cliente.

Juran e Gryna (1991), por exemplo, definem qualidade com adequação ao uso. Este conceito caracteriza-se pela ampla abordagem do termo qualidade, fortemente vinculado às necessidades dos clientes, sejam eles internos ou externos. Adequação ao uso compreende todos os aspectos e características do produto relacionados com a satisfação do cliente. Dentre eles, fatores tecnológicos (dureza, indutância, acidez, etc.), psicológicos (gosto, beleza, *status*, etc.), temporais (confiabilidade, manutenibilidade, etc.), contratuais (provisões de garantia, etc.), éticos (cortesia do pessoal de vendas, honestidade dos serviços oferecidos pelas lojas, etc.) e até fatores como



manufaturabilidade, vinculado com a adequação ao uso de clientes internos (manufatura) quando se remete ao projeto do produto.

Deming (apud BROCKA e BROCKA, 1994) define qualidade como “um grau previsível de uniformidade e dependência, baixo custo, satisfação do mercado. Em outras palavras, qualidade é aquilo que o cliente necessita e quer”. E ressalta ainda que, como os desejos dos clientes estão sempre mudando, a solução para a definição de qualidade em termos do cliente é redefinir as especificações, constantemente (BROCKA e BROCKA, 1994).

Da mesma forma, Taguchi (TAGUCHI et al., 1989) define a não-qualidade como o grau de perda promovida pelo produto para a sociedade. A perda para a sociedade é formada pelos custos incorridos no processo de produção, assim como os custos sofridos pelos consumidores no decorrer da vida útil do produto (reparos, perda de negócios, etc.). Minimizar a perda para a sociedade é a estratégia que irá incentivar produtos uniformes e reduzirá custos na hora da produção e do consumo (TAGUCHI et al., 1989).

Crosby (1990), na mesma linha, define qualidade como conformidade com os requisitos, onde, no seu sentido mais amplo, a palavra requisitos não deve ser entendida apenas como especificações de projeto, mas também como requisitos de mercado que atendem as necessidades dos clientes.

Para Feigenbaum (1994), “a qualidade está baseada na experiência real dos clientes com o produto ou serviço” e define qualidade como “o conjunto total de características do produto e serviço de marketing, engenharia, manufatura e manutenção através do qual o produto e o serviço em uso se encontrarão com as expectativas do cliente”.

Ainda, Ishikawa (1993) afirma que qualidade é a satisfação do consumidor. Segundo o autor, a qualidade pode ser interpretada de forma mais ampla, não restrita à qualidade do produto. Assim, a obtenção da qualidade envolve as atividades de projeto, fabricação e venda dos produtos, todas gerando satisfação para o cliente. Destaca ainda que “não importa o quanto a qualidade é alta, se o produto está caro demais, ele não irá satisfazer o consumidor”. Nesta afirmação, introduz a importância da adequação ao custo.

Em resumo, todas estas definições atendem os requisitos propostos por Paladini (2000) de multiplicidade e evolução por estarem fortemente vinculadas às necessidades dos clientes. Pode-se, diante disso, afirmar que um conceito

correto da qualidade é: “qualidade é a satisfação dos consumidores obtida através do produto”, entendendo-se que o produto pelo qual o cliente buscará o atendimento das suas necessidades encerra todos os processos anteriores de projeto, fabricação, venda, distribuição, e posterior, de serviço.

Este conceito da qualidade foi transcrito por Garvin (1984; 1987), de forma mais empírica, em oito dimensões críticas voltadas ao produto, amplamente reconhecidas e aceitas entre os estudiosos da qualidade (FOKER et al., 1996; CURKOVIC et al. 2000; SEBASTIANELLI e TAMIMI, 2002), a saber:

1. Desempenho: características básicas de operação do produto;
2. Características complementares: atributos que complementam e suplementam as características básicas de funcionamento do produto;
3. Confiabilidade: probabilidade de um produto falhar em um período de tempo específico;
4. Conformidade: grau em que o projeto e as características básicas de um produto estão de acordo com padrões preestabelecidos.
5. Durabilidade: tempo durante o qual o produto se presta ao uso do consumidor antes de deteriorar-se; é a medida do tempo de vida útil do produto;
6. Manutenibilidade: velocidade, facilidade e grau de cortesia e competência com que reparos são executados;
7. Estética: grau de aceitação do produto pelos cinco sentidos;
8. Qualidade percebida: reputação, imagem ou outras inferências relativas aos atributos de um produto.

Segundo o Garvin (1984; 1987), enfatizando uma combinação destas dimensões e garantindo resultados mais significativos que os competidores nestas dimensões, uma companhia pode efetivamente diferenciar o que os seus produtos têm a oferecer ao consumidor.

Como discutido no capítulo inicial desta dissertação, o objetivo deste trabalho é apresentar um modelo de processo de desenvolvimento de produtos voltado à qualidade e que, portanto, tenha como foco principal entregar ao cliente final produtos que apresentem alto nível de evolução nas oito dimensões sugeridas por Garvin (1984; 1987). Antes de apresentar o modelo,

todavia, convém apresentar alguns modelos PDP já disponíveis na bibliografia científica com objetivos parecidos ao deste estudo de forma a explicitar as diferentes idéias, conceitos, ferramentas e técnicas que fundamentaram e fomentaram o desenvolvimento do modelo de referência apresentado no capítulo 4.

#### **2.4. Do processo de desenvolvimento de produtos voltado à qualidade**

Em busca de melhorar a qualidade do produto, indústrias de manufatura normalmente adotam algum tipo de programa de garantia da qualidade. Mais comumente, isto é feito através da implantação de um sistema de gestão da qualidade que encaminhe a organização para uma certificação ISO 9000 (BOOKER, 2003). A certificação não necessariamente garante a qualidade do produto, mas provê direção à implementação de sistemas necessários para rastrear e controlar problemas de qualidade, tanto dentro da própria empresa quanto nos fornecedores, ao enfatizar de forma tímida a melhoria da qualidade e o aumento da competitividade. A adoção de padrões da qualidade é somente o primeiro passo para a produção de produtos que satisfaçam o consumidor, além de assumir um papel apenas duvidoso na redução dos custos da não qualidade. A redução destes custos, atribuíveis ao retrabalho, refugo, chamados de garantia, troca e *recall* de produtos, representa um dos caminhos fundamentais à melhoria da competitividade do negócio (BOOKER, 2003).

Muitas companhias também acreditam que a aplicação do controle estatístico de processo (CEP) é crucial para a pavimentação do caminho até um patamar superior de qualidade (WHEELER e CHAMBERS, 1992; DEMING, 2003). Tem-se percebido que esperar até que o produto chegue ao final da linha de produção para medir o seu nível de qualidade não é boa prática. Esta idéia acabou extrapolando os limites do chão-de-fábrica e ampliando o foco das empresas na integração da qualidade aos estágios iniciais do PDP (TAGUCHI, 1995; OSBORNE e ARMACOST, 1996; JURAN, 1997; LIU e YANG, 1999; BOOKER, 2003). Conseqüentemente, as organizações estão transformando os seus métodos tradicionais de qualidade *in-line*, que priorizam elementos do processo de fabricação, como o CEP, por exemplo, para métodos de qualidade *off-line*, ou seja, relacionados a áreas não diretamente ligadas ao processo de fabricação, mas relevantes para adequar o produto ao uso que dele se espera

desenvolver, dentre esses, o PDP voltado à qualidade. Apesar de inicialmente ter sido mais conveniente discutir a qualidade como um anexo do desenvolvimento de um produto (ANDERSSON, 1994), novos esforços têm sido direcionados para efetivamente incorporar a análise e a previsão da qualidade do produto como uma das atividades fundamentais do projeto.

De acordo com Swift et al. (1999), o foco na melhoria da qualidade durante o processo de desenvolvimento de um novo produto é coerente e bem fundamentado. Segundo este autor, algo em torno de 75 por cento das falhas de um produto são geradas nas fases iniciais do projeto e nos estágios de planejamento. Por outro lado, geralmente 80 por cento destas falhas só serão detectadas durante os testes finais de aprovação ou durante o seu uso pelo consumidor (SWIFT et al., 1999). Juran e Gryna (1992) reiteram esta idéia, de forma mais amena, contudo, ao reportarem a estatística de que em uma pesquisa acerca de 850 falhas de campo em equipamentos eletrônicos relativamente simples, constatou-se que 43 por cento deveram-se ao seu desenvolvimento; ou que num estudo sobre sete programas espaciais, 35,2 por cento das falhas de componentes tiveram como causa erros de especificação de projeto. Da mesma forma, uma análise dos custos da não qualidade identificará que a sua maior parcela, aproximadamente 75 por cento, incorre durante a execução dos processos de manufatura, ou seja, durante a fabricação do produto, porém, cerca de 50 por cento destes custos provém dos estágios mais iniciais do processo de desenvolvimento do produto (FOX, 1995; SWIFT e BOOKER, 1996). A FIGURA 2.7 ilustra esta relação entre custos incorridos e custos comprometidos ao longo do PDP.

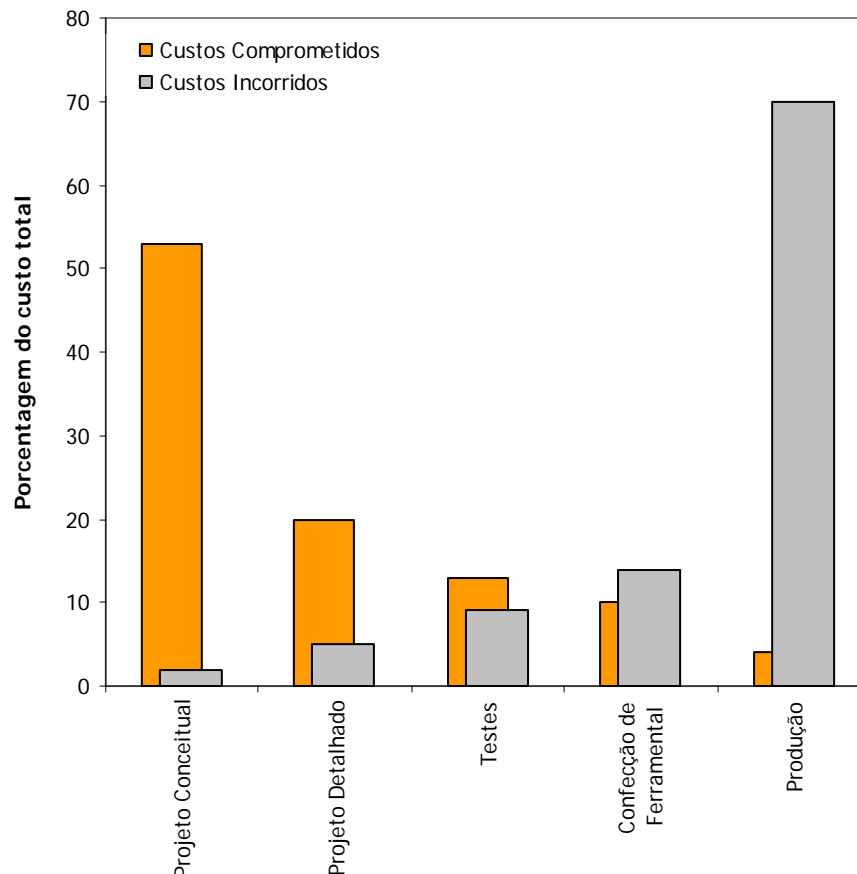


FIGURA 2.7: Custos incorridos comparados aos custos comprometidos durante o projeto do produto (adaptado: FOX, 1995).

Assim, pode-se concluir que se a qualidade não for inicialmente projetada durante o PDP, todos os esforços e recursos dedicados aos métodos de qualidade *in-line* terão resultados limitados e a organização falhará em entregar produtos que proporcionem satisfação aos seus consumidores. O PDP voltado à qualidade assume, portanto, neste contexto, papel extremamente importante para a competitividade das empresas, à medida que minimiza os riscos de se projetar produtos que não entreguem o nível de qualidade esperado pelos clientes e que, conseqüentemente, incorram em elevados custos da não qualidade.

No PDP voltado à qualidade, é conveniente dividir a qualidade do produto em duas categorias principais: “Y”, que representa a qualidade para o consumidor/usuário, ou qualidade desejada, e o “x”, que se relaciona com a criação do Y. Y é um vetor que inclui todas as características do produto importantes para o consumidor, do ponto de vista da qualidade. O termo x também é um vetor, que inclui os fatores de produto e processo que

influenciam no atendimento ou não de Y (SWIFT e BOOKER, 1996). Ou seja, tem-se a correlação:  $Y = f(x)$ .

A partir deste conceito, portanto, pode-se dizer que um equívoco na definição de Y, ou algum x fora dos limites de especificação ou muito distante do valor objetivo potencialmente causará uma falha no produto final. Neste caso, de acordo com a definição da qualidade desenvolvida no tópico anterior, uma falha significa que o produto, pelo não atendimento adequado a alguma das dimensões críticas desdobradas por Garvin (1984; 1987), é incapaz de satisfazer o cliente. Uma característica crítica pode, então, ser definida como uma característica, Y ou x, cuja variação pode afetar significativamente a qualidade do produto (BOOKER, 2003). Posto isso, pode-se identificar duas atividades majoritárias distintas, porém correlacionadas, no PDP direcionado à qualidade: a correta definição do vetor Y, ou seja, os objetivos e requisitos funcionais do produto esperados pelo cliente, e a identificação e melhoria do vetor x, características críticas de produto e processo cujas variações podem afastar o produto do Y inicialmente planejado. Ambas serão discutidas mais profundamente a seguir.

#### *2.4.1. Identificação dos requisitos dos consumidores (Y)*

Diversos autores sugerem a idéia de que o único caminho que uma companhia tem para obter sucesso no mercado é adotar uma estratégia direcionada ao cliente que entregue produtos e serviços que atendam ou excedam às suas expectativas (MATZLER et al., 1996; JURAN, 1997; FRANCESCHINI e ZAPPULLI, 1998; OMAR et al., 1999; COOPER, 2000; LAI et al., 2004;). Em verdade, esta idéia vai ao encontro da definição da qualidade desenvolvida e discutida no tópico 2.3 desta dissertação, o que reforça a sua validade, principalmente em termos de um PDP voltado à qualidade.

Cada vez mais companhias utilizam o grau de satisfação dos seus consumidores como um indicador de desempenho dos seus produtos e serviços e como um indicador estratégico do futuro da companhia (MATZLER e HINTERHUBER, 1998). Esta mudança no pensamento estratégico tem como base a crença em que a satisfação do consumidor é o melhor indicador para o futuro da companhia, uma vez que um alto grau de satisfação leva a um alto grau de lealdade do consumidor e um alto grau de lealdade, por sua vez,

implica em um proeminente e duradouro de fluxo de caixa. Um aumento de 5 por cento no grau de lealdade do consumidor pode elevar o faturamento de uma empresa em até 100 por cento (REICHHELD e SASSER, 1990) devido ao fato de que consumidores satisfeitos compram os produtos de uma companhia com mais frequência e em maiores quantidades. Além disso, consumidores satisfeitos são menos sensíveis ao preço e mais inclinados a pagar mais por produtos e serviços de alta qualidade (MATZLER et al., 1996). Hanan e Karp (apud MATZLER e HINTERHUBER 1998) sumarizam a importância do fiel atendimento das necessidades dos consumidores ao afirmar que “a satisfação do consumidor é o principal objetivo de qualquer negócio: não fornecer, não vender, não servir, mas satisfazer as necessidades que levam os consumidores a consumir”. No entanto, apesar de toda a argumentação, as necessidades dos clientes são raramente identificadas e, mais raro ainda esta valiosa informação é compartilhada entre *marketing* e P&D, ou disponibilizada aos times de projeto (OMAR et al., 1999).

A grande dificuldade de se satisfazer plenamente o consumidor reside justamente em entender e antecipar o que os consumidores desejam, porém, paradoxalmente, não esperam dos produtos no futuro. O ponto é encantar o consumidor (MATZLER et al., 1996).

Com o objetivo de superar esta barreira, Kano et al. (1984) desenvolveu um modelo para caracterização das necessidades dos consumidores, hoje reconhecidamente um dos mais citados na literatura científica relacionada ao tema. O modelo de Kano ajuda o time de projeto a entender profundamente os fatores relacionados à satisfação do cliente. Ele divide os requisitos do produto em três categorias distintas, conforme segue, cada qual afetando a satisfação do cliente de uma forma diferente (FIGURA 2.8):

1. Requisitos essenciais: os requisitos essenciais representam o critério básico de satisfação do produto. Se estes requisitos não forem atendidos à plenitude das expectativas, o consumidor ficará extremamente insatisfeito. Por outro lado, se o consumidor percebê-los no produto, por mais que atendam perfeitamente às expectativas, eles não aumentarão o grau de satisfação. Ou seja, o atendimento pleno aos requisitos essenciais apenas garantirão um grau de “não insatisfação”. O consumidor entende os requisitos essenciais como

pré-requisitos; ele simplesmente assume e espera o seu atendimento no produto, portanto, não demanda por eles explicitamente. De qualquer modo, os requisitos essenciais são fatores competitivos decisivos, e se não forem atendidos completamente, o cliente não apresentará interesse algum pelo produto.

2. Requisitos unidimensionais: a relação entre os requisitos unidimensionais e o grau de satisfação do consumidor é diretamente proporcional – quanto maior o nível de atendimento aos requisitos unidimensionais, maior o grau de satisfação do consumidor, e vice-versa. Os requisitos unidimensionais são geralmente demandados explicitamente pelos clientes.
3. Requisitos atrativos: estes requisitos representam o critério que exerce maior influência no nível de satisfação do consumidor com um dado produto. Requisitos atrativos não são nem explicitamente expressados, nem esperados pelos consumidores. O atendimento aos requisitos atrativos no produto promove uma satisfação mais que diretamente proporcional. Uma falha em atendê-los, contudo, não provoca o sentimento de insatisfação. Elementos de produtos ou serviços que excedem às expectativas dos consumidores e que são classificados como requisitos atrativos elevam o valor percebido pelo consumidor e seu grau de satisfação.

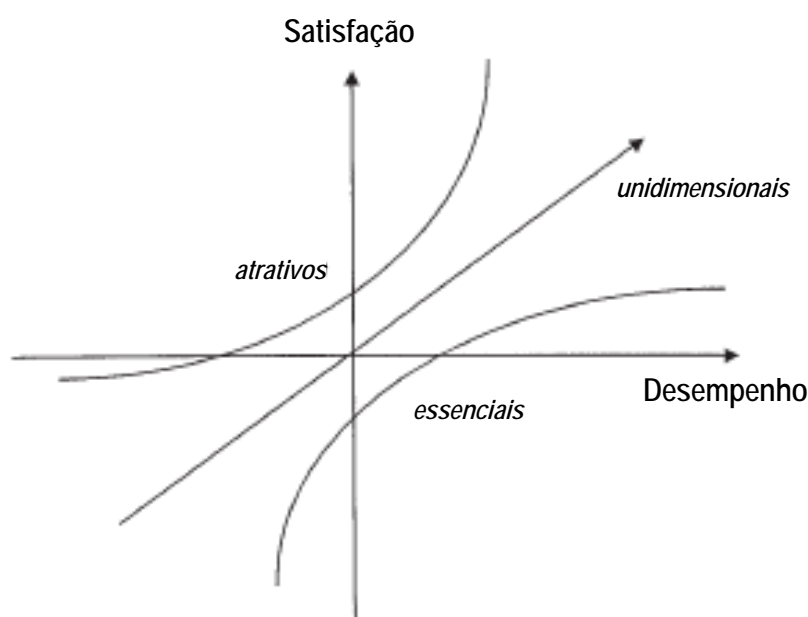


FIGURA 2.8: Modelo de Kano de satisfação do consumidor (adaptado: KANO et al., 1984).



As vantagens da classificação dos requisitos dos consumidores pelo método de Kano são bastante claras (MATZLER e HINTERHUBER, 1998):

- Os requisitos de produto são mais bem entendidos. Os fatores de maior influência na satisfação do consumidor podem ser identificados. Classificar os requisitos de produto nas dimensões essenciais, unidimensionais e atrativos permite focar em prioridades durante o desenvolvimento do produto. Não é muito útil, por exemplo, investir na melhoria de requisitos essenciais que já estão em um nível satisfatório; é melhor elevar o grau de atendimento do produto a requisitos atrativos, uma vez que eles exercem maior influência na sua qualidade percebida e conseqüentemente no patamar de satisfação do consumidor.
- O modelo de Kano provê ajuda valiosa em situações de decisão no desenvolvimento de produtos. Se dois requisitos de produto não podem ser atendidos simultaneamente devido a razões técnicas ou financeiras, aquele que exerce maior influência na satisfação do consumidor pode ser identificado.
- A identificação e o atendimento pleno dos requisitos atrativos criam um vasto campo de possibilidades para diferenciação. Um produto que simplesmente satisfaz os requisitos essenciais e unidimensionais é percebido pelo cliente como um produto mediano e, portanto, intercambiável por outro semelhante, de outra marca.

Alguns autores (MATZLER e HINTERHUBER; 1998 SHEN et al., 2000) propõem o uso conjunto do modelo de Kano e da ferramenta da qualidade QFD (*Quality Function Deployment*) como uma ferramenta poderosa para a identificação dos requisitos dos consumidores com baixa possibilidade de erro.

#### *2.4.2. Identificação e melhoria das características críticas de produto e processo (x)*

Definir corretamente o vetor Y, como já discutido, é apenas o primeiro passo rumo à qualidade do produto e, conseqüentemente, à satisfação do consumidor. O time de projeto deve, a partir do vetor Y, desenvolver a solução técnica que entrega os requisitos esperados pelo consumidor, ou seja, as funções e atributos do produto que atenderão a estes requisitos. Este processo

de desenvolvimento geralmente depende, em PDP tradicionais, da experiência empírica dos projetistas e do time de projeto como um todo, e é normalmente executado de acordo com um modelo iterativo de tentativa e erro; um projeto é desenvolvido, construído, testado e retrabalhado com base nas informações obtidas dos testes (FOX, 1995). O processo funciona razoavelmente, mas é lento, dispendioso e ineficiente em termos de atendimento dos objetivos da qualidade.

Para efetivamente elevar o nível da qualidade, é preciso canalizar esforços para melhorar a robustez das funções e atributos do produto que denotam qualidade, projetando as características críticas ( $x$ ) de forma a atender os requisitos do consumidor da forma mais próxima possível do ideal sob condições reais (TAGUCHI, 1995). O objetivo é entender profundamente a relação causa-efeito entre as características críticas de produto e processo,  $x$ , e as funções e atributos que entregarão os requisitos esperados pelo consumidor,  $Y$ , e prever o grau de qualidade do produto em condições reais, em que as características críticas inevitavelmente sofrem algum tipo de variação. Assim, será possível projetar um produto robusto o suficiente às variações do vetor  $x$ . Ou seja, mesmo que as características críticas sofram algum tipo de variação prevista, a percepção da qualidade do produto por parte do consumidor não será abalada.

As características diretamente relacionadas às funções e aos atributos do produto podem ser classificadas em duas categorias. A primeira categoria representa uma longa lista de características, ou parâmetros, normalmente documentados em desenhos técnicos ou especificações, caracterizadas por um valor nominal e uma tolerância. Nem todos esses parâmetros são críticos. Alguns podem variar de forma bastante ampla sem comprometer o atendimento a algum requisito dos clientes. Outros, todavia, são críticos e podem causar alterações significativas nas funções e atributos do produto se sofrerem a mais amena variação. Estes últimos deverão ser monitorados ao longo do PDP e do processo de manufatura (FOX, 1995).

Os outros parâmetros que afetam as funcionalidades e atributos do produto são aqueles que não estão sob o controle dos projetistas, categorizados como fatores de ruído e que estão geralmente vinculados a condições ambientais ou ao modo como o consumidor usa o produto.

Entretanto, o fato de estes parâmetros não permitirem controle não significa que eles devam ser ignorados. É preciso estudá-los, entender como a variação em torno do seu valor médio distancia o produto dos objetivos da qualidade e minimizar o seu efeito aumentando a robustez das funções e atributos do produto através da manipulação daqueles parâmetros críticos controláveis (FOX, 1995).

Em resumo, no PDP voltado à qualidade, é fundamental entender a relação  $Y = f(x)$  de modo a prever o padrão de qualidade do produto em cada condição de variação das características críticas de produto e processo,  $x$ . Assim, é possível, manipulando e melhorando estas características críticas, garantir uma maior robustez do produto às variações de processo e de ruído. Por robustez entende-se uma variação reduzida e previsível das funções e atributos finais do produto em torno dos seus valores ideais aos olhos do cliente, garantindo a mínima possibilidade de falha em condições reais de variação das características críticas (JAYARAM e IBRAHIM, 1999). Na FIGURA 2.9 abaixo, os limites inferior e superior representam a variação máxima aceitável da variável resposta  $Y$  (requisitos do consumidor) pelo consumidor. Qualquer variação fora destes limites caracterizará uma falha do produto.

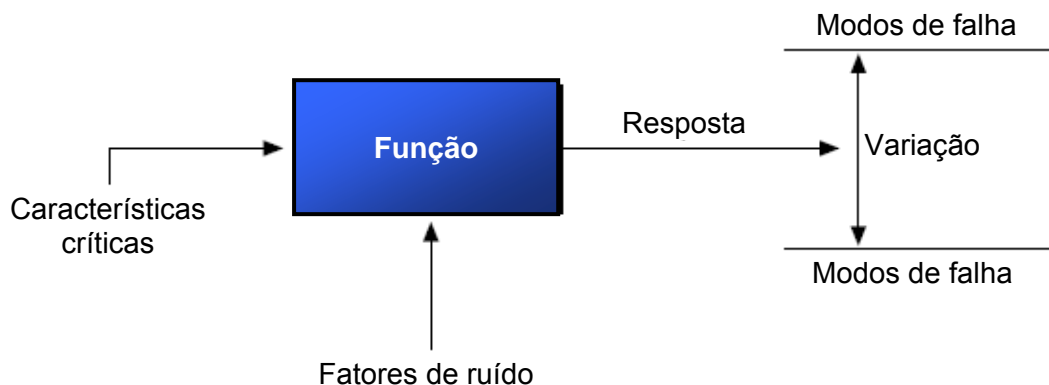


FIGURA 2.9: Características críticas monitoradas ao longo do PDP e do processo de manufatura (adaptado: FOX, 1995).

Uma técnica adequada de se obter conhecimento suficiente sobre  $Y=f(x)$  para garantir robustez ao produto é o *Robust Design* (RD), desenvolvido na década de 30 por Sir Ronald Fisher (FISHER, 1935 apud ANTONY, 2002b) e posteriormente difundido por Genichi Taguchi (TAGUCHI, 1987 apud ANTONY, 2002b) na década de 80. RD consiste em uma poderosa abordagem para

garantir que o desempenho funcional e de atributos de produtos e processos seja insensível às fontes de variação, a baixo custo. É uma poderosa metodologia para a otimização de processos e produtos e que melhora substancialmente a qualidade do produto final e dos processos de manufatura, e simultaneamente reduz custos drasticamente (ANTONY, 2002b).

Para Taguchi et al. (1989), a melhoria da robustez de um produto envolve três etapas:

- Projeto do sistema – o projeto do sistema consiste na fase em que novos conceitos, idéias, métodos, etc. são desenvolvidos com o objetivo de fornecer aos consumidores produtos novos ou aperfeiçoados.
- Projeto dos parâmetros – nesta etapa, os níveis, ou valores nominais, daqueles fatores controláveis são selecionados de modo a minimizar o efeito dos fatores de ruído nas características funcionais e nos atributos do produto, maximizando, assim, a sua robustez.
- Projeto das tolerâncias – o projeto das tolerâncias é aplicável apenas se a redução da variação das características funcionais realizada pelo projeto dos parâmetros descrito acima for insuficiente. Neste caso, são especificadas tolerâncias estreitas para os desvios dos fatores projetados com relação aos níveis determinados pelo projeto dos parâmetros.

Segundo Antony (2002b), alguns benefícios importantes podem incorrer da aplicação afetiva do RD para o desenvolvimento de novos produtos nas organizações, dentre eles:

- Desenvolver produtos mais rapidamente que os competidores;
- Minimizar a sensibilidade do produto a variações do dia-a-dia relacionadas aos processos de manufatura;
- Obter um melhor projeto de produto, garantindo, portanto, melhor qualidade;
- Reduzir o número de alterações de projeto durante o PDP;
- Maximizar a relação custo-benefício dos testes e experimentos;
- Reduzir o número de protótipos a serem testados;
- Identificar as características críticas que afetam a qualidade do produto;

- Reduzir o número de problemas durante a fase de fabricação do produto;
- Reduzir drasticamente custos de garantia.

Uma outra metodologia adequada à identificação das características críticas de produto e processo é o *Design for Six Sigma* (DFSS), ilustrado pela FIGURA 2.10 a seguir. Nesta metodologia, as entradas podem ser as necessidades dos clientes, do negócio, matéria-prima, e outros. As saídas são produtos, processos e serviços de qualidade. O processo dentro da metodologia, de transformação das entradas em saídas, tem quatro fases: identificar, projetar, otimizar e validar (CHOWDHURY, 2003). O principal objetivo do DFSS é desenvolver produtos e processos com variação igual a  $\pm 6\sigma$ . O termo sigma refere-se ao desvio padrão,  $\sigma$ . Desvio padrão, ou variância,  $\sigma^2$ , é uma medida de dispersão de uma amostragem de dados em torno do seu valor médio,  $\mu$ . Esta propriedade pode ser usada tanto para descrever a variação conhecida dos fatores que influenciam o sistema (produto ou processo), quanto como uma medida de qualidade, caracterizada pelo número de desvios padrões a partir do desempenho médio (FIGURA 2.11) (KOCH et al., 2004).

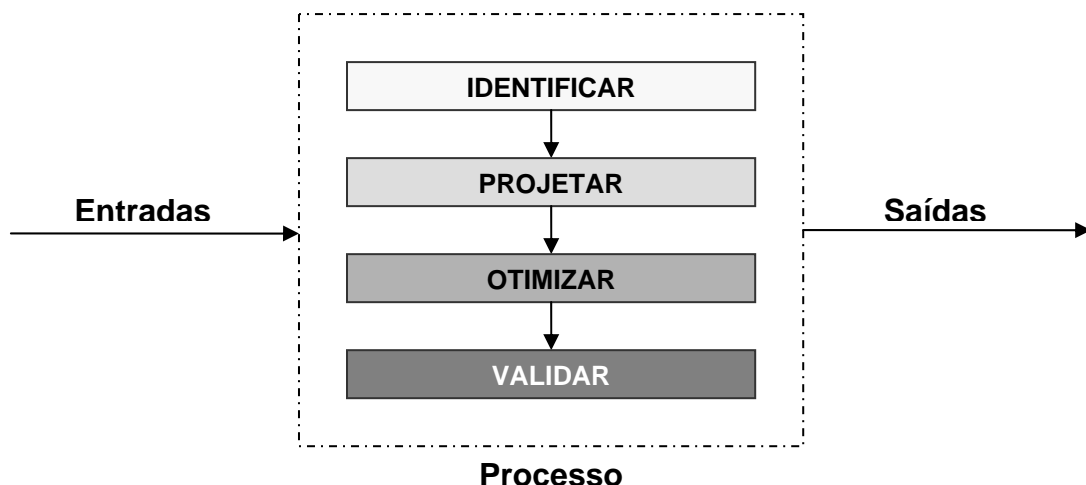


FIGURA 2.10: metodologia do DFSS (adaptado: ANTONY, 2002a).

- Identificar – O propósito desta fase é prover direcionamentos claros e sólidos dos esforços a serem despendidos. Isto é conseguido através de uma definição clara dos requisitos de projeto para o produto, da identificação das características críticas de qualidade aos

olhos do cliente, determinação do valor objetivo para cada característica crítica.

- **Projetar** – uma vez que a organização entende os parâmetros de projeto, estes devem ser traduzidos num projeto que viabilize a entrega destes parâmetros ao consumidor. Este estágio envolve a análise dos requisitos e parâmetros de projeto e sua relação com as características críticas, identificação dos riscos envolvidos em falhas típicas.
- **Otimizar** – O terceiro estágio envolve um estudo mais aprofundado do projeto para garantir uma manufaturabilidade efetiva, ou seja, que o produto pode ser manufaturado dentro dos parâmetros projetados, ao custo previsto. É nesta fase onde, efetivamente, acontece o processo de melhoria do vetor  $x$  (características críticas de produto e processo). Para tal, esta fase envolve a identificação das fontes de variação e maximização da robustez do produto.
- **Validar** – O estágio final verifica se o processo está completo, é válido e atenderá os requisitos dos clientes. Ele envolve uma avaliação do desempenho, confiabilidade e capacidade do produto ou processo, desenvolvimento do plano de controle para a média e a variância das características críticas em produção.

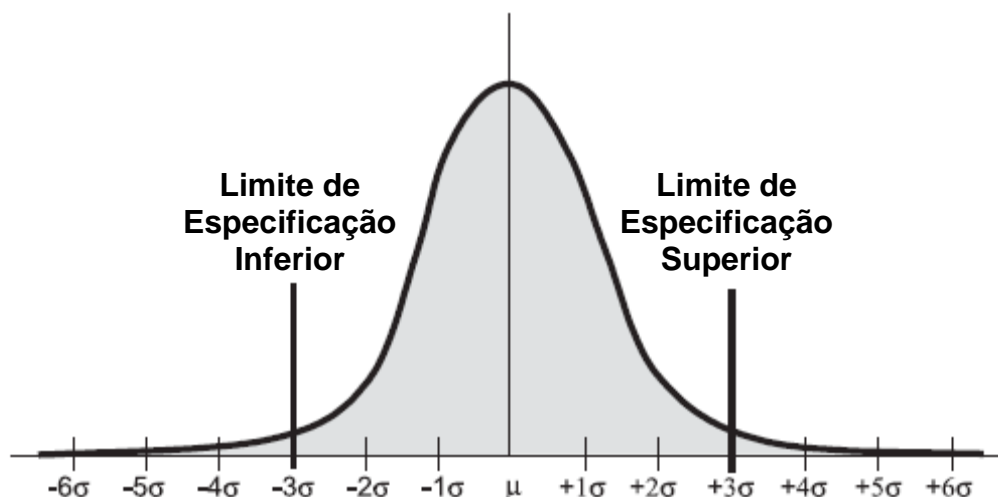


FIGURA 2.11: Projeto 3 $\sigma$ .

Para Antony (2002a), os seguintes benefícios podem ser colhidos da aplicação dos princípios do DFSS no PDP:

- Redução do tempo de desenvolvimento de novos produtos;
- Redução dos custos associados ao ciclo de vida do produto;
- Redução do número de alterações de projeto ou iterações e, portanto, redução do número de protótipos construídos durante o projeto;
- Aumento da qualidade e confiabilidade dos produtos;
- Redução dos custos de garantia.

## **2.5. Das ferramentas de suporte ao PDP voltado à qualidade**

Ao longo dos anos, à medida que o PDP tornava-se uma necessidade estratégica cada vez mais latente para as organizações, muitas ferramentas de melhoria da qualidade foram introduzidas por acadêmicos, pesquisadores e empiristas, visando à melhoria do desempenho do PDP nas companhias (THIA et al. 2005). Apesar de o uso destas ferramentas não garantir o sucesso do PDP, seu uso permite a identificação sistemática de problemas, complementando o esforço da organização em melhorar os resultados advindos do processo de desenvolvimento de produtos (COOPER e KLEINSCHMIDT, 1995).

Este tópico tem por objetivo apresentar as principais ferramentas de suporte ao PDP direcionado à qualidade referenciados pela literatura vigente acerca do tema. Espera-se, assim, fornecer um suporte conceitual suficiente ao delineamento da pesquisa. Estas ferramentas, aliadas ao conceito teórico genérico relativo ao PDP e ao PDP direcionado à qualidade apresentados nos tópicos anteriores, compõem a base estrutural para a determinação do modelo de PDP voltado à qualidade proposto nesta dissertação.

### *2.5.1. Desdobramento da função qualidade (QFD)*

O QFD, originado no Japão na segunda metade da década de 1960, é um mecanismo que traduz a voz do consumidor (VoC) em requisitos apropriados de produto e processo para a empresa, em cada estágio do ciclo de desenvolvimento do produto (EUREKA e RYAN, 2003). O objetivo do QFD é a correta identificação da qualidade definida pelo consumidor, traduzidos, então, em especificações de produto. O processo de tradução começa com a identificação dos requisitos dos consumidores (vetor Y). A seguir, são determinadas as relações existentes entre estes requisitos e a linguagem

técnica de especificação, ou seja, as características técnicas que atenderão aos requisitos dos consumidores (vetor  $x$ ) (SHARMA et al., 2006).

Uma abordagem típica do QFD centra-se em torno de um processo de quatro fases. Este processo é ilustrado na FIGURA 2.12, que mostra que o QFD consiste em um conjunto de matrizes que relacionam dados de entrada a dados de saída. Na primeira fase, Matriz de Planejamento do Produto, do QFD, freqüentemente referenciada como Casa da Qualidade (OMAR et al. 1999; CRISTIANO et al., 2000; EUREKA e RYAN, 2003), requisitos qualitativos dos clientes são traduzidos em características independentes e mensuráveis de qualidade do produto. Para cada característica da qualidade deve ser determinado um valor objetivo, ou especificação preliminar. Após a seleção do conceito ou alternativa do projeto, a fase 2 examina a relação entre as características da qualidade e os vários componentes, ou peças, do projeto. O resultado da fase 2 é a priorização dos componentes do projeto em termos de sua habilidade de atender aos níveis de desempenho desejados para as características da qualidade. Os poucos componentes, ou peças, importantes são então desdobrados na terceira matriz, que explora a relação entre a peça e os processos de manufatura utilizados na sua fabricação. O objetivo da fase 3 é identificar as operações de manufatura que controlam o valor objetivo do componente, e sua variação, e correlacionar as especificações do componente com as especificações do processo. O resultado desta fase é a priorização dos processos e especificações de manufatura para os parâmetros críticos de processo que são desdobrados na quarta e última fase. Na fase 4, os processos de manufatura chaves e seus parâmetros são traduzidos em instruções de trabalho, planos de controle e treinamento necessários para assegurar que a qualidade dos componentes e processos críticos seja mantida. Idealmente, estas quatro fases combinadas provêm um link claro do chão de fábrica com os requisitos dos clientes, o que permite aos operadores entenderem como o seu trabalho impacta na satisfação dos consumidores.



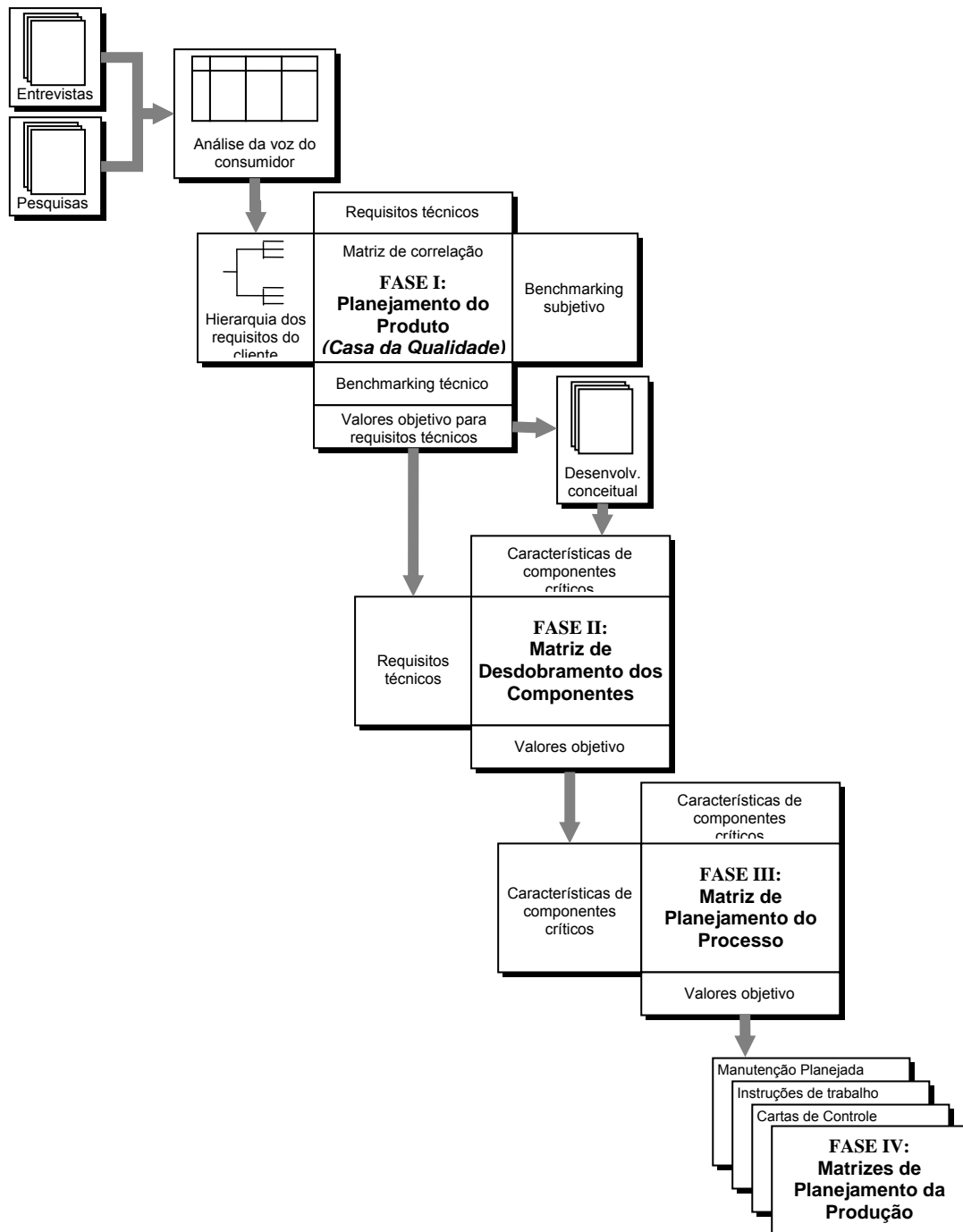


FIGURA 2.12: Modelo de quatro fases do QFD (adaptado: CRISTIANO et al., 2000).

### 2.5.2. Análise dos modos de falha e seus efeitos (FMEA)

Segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), através da norma NBR 5462 (1994), a sigla FMEA, do inglês, *failure mode and effect analysis*, significa “análise dos modos de falha e seus efeitos” (ABNT, 1994). O FMEA é uma ferramenta de gerenciamento de risco que tem por objetivo identificar os possíveis modos de falhas de um dado produto/processo e suas

respectivas causas, bem como os efeitos dessas sobre o cliente e, através de procedimentos apropriados, permite atuar sobre tais itens de forma a reduzir e/ou eliminar a chance de estas falhas virem a ocorrer. Para que a remoção ou minimização dos modos de falha seja mais efetiva em termos de custo, a análise deve ser realizada, preferencialmente, nos estágios iniciais do PDP. Uma vez definido o sistema, o FMEA pode ser iniciado imediatamente (ONODERA, 1997).

O FMEA é aplicável em vários níveis do sistema, desde o nível mais alto do diagrama de blocos, até o nível de função dos componentes. FMEA também é um processo iterativo, atualizado à medida que o projeto se desenvolve. Alterações no projeto demandarão que porções relevantes do FMEA sejam revisadas e atualizadas. Infelizmente, erros de projeto poderão perpetuar-se, apesar de todas as verificações e revisões, e eventualmente gerar falhas de campo. Assim sendo, o FMEA deve ser atualizado ao longo de toda a vida útil do sistema (CASSANELI et al., 2006). Este sistema pode ser tanto um produto quanto um processo.

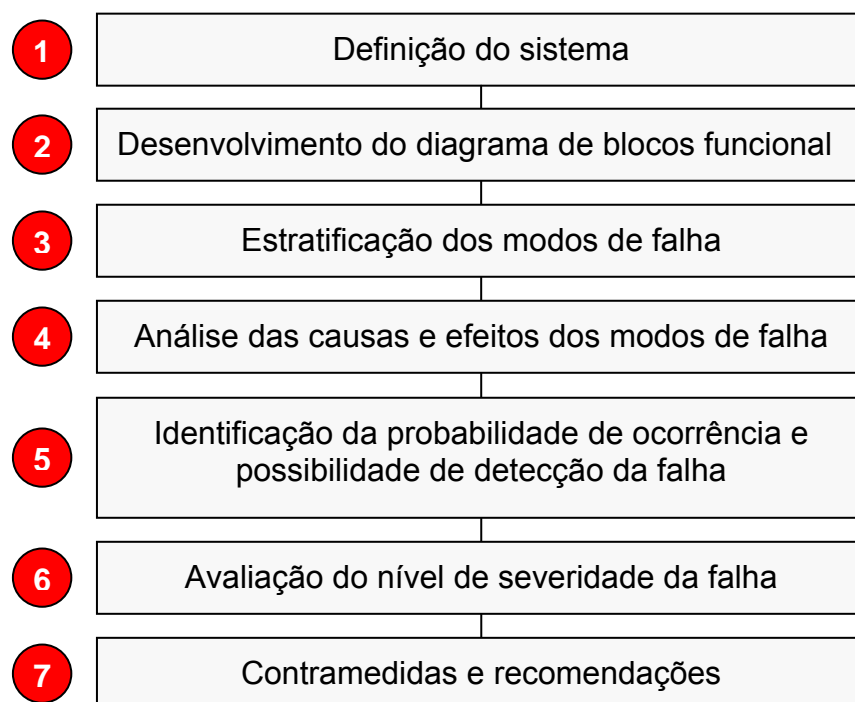


FIGURA 2.13: Etapas de execução do FMEA (adaptado: ONODERA, 1997).

A FIGURA 2.13 detalha as etapas de execução do FMEA para que o objetivo descrito acima seja plenamente atingido. As duas primeiras etapas no

topo buscam garantir que o sistema é totalmente conhecido e compreendido e que todas as fontes potenciais de falha foram identificadas. Na seqüência, estratificam-se os modos de falha para cada uma das funções relacionadas, analisam-se as causas e os efeitos dos modos de falha e, por fim, realiza-se a pontuação na tabela do FMEA (FIGURA 2.14) quanto à probabilidade de ocorrência da falha, quanto à possibilidade de se detectá-la antes que ela chegue ao cliente, e quanto à severidade, criticidade, desta falha. A multiplicação destes três índices levará ao NPR (número de prioridade de risco), que tem a função de ajudar a priorização das contramedidas e recomendações. Maior o NPR, maior o risco.

Análise do Tipo e Efeito de Falha																			
Cod_pec : Nome da Peça: Data: Folha No. _____ de _____										<input type="checkbox"/> FMEA de Processo <input type="checkbox"/> FMEA de Produto									
Descrição do Produto/ Processo	Função(s) do produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa da Falha em Potencial	Controles Atuais	Índices				Ações Recomendadas	Responsável/ Prazo	Ações de Melhoria							
						S	O	D	R			Medidas Implantadas	Índices Atuais						
													S	O	D	R			

S = Severidade O = Ocorrência D = Detecção R = Riscos Figura 1: Formulário FMEA

Análise do Tipo e Efeito de Falha
-----------------------------------

FIGURA 2.14: Tabela do FMEA.

Segundo Palady (2004), o FMEA exige um custo inicial da organização, porém ele pode ser considerado como um investimento se o método for realizado com eficácia. Alguns dos benefícios do desenvolvimento e manutenção de FMEA eficazes podem ser:

- Economia nos custos e tempo de desenvolvimento – reduz o ciclo reativo iterativo altamente custoso e lento de identificar as falhas e corrigi-las à medida que aparecem, ao invés de prevê-las e antecipá-las;

- Serve como guia para o planejamento de testes mais eficientes – aumenta a confiança para a realização de testes que refletem o desempenho do projeto;
- Fornece idéias para testes incorporados ao projeto – ajuda na avaliação da necessidade de realizar testes com base no grau de severidade, no índice de detecção e na descrição dos modos de falhas;
- Aumenta a satisfação do cliente – previne os problemas antes que ocorram e oferece respostas rápidas aos problemas;
- Fornece idéias para o projeto robusto, ou seja, projeto de um produto insensível às variações às quais ele está submetido – facilita na identificação das fontes de variação descontroladas (ambientais, de uso, e outros).

### 2.5.3. Teoria da solução inventiva de problemas (TRIZ)

Segundo Stratton e Mann (2003), os trabalhos com a TRIZ, um acrônimo russo para teoria da solução inventiva de problemas, iniciaram-se em 1946 quando Genrich Altshuller, um engenheiro mecânico, começou um estudo de patentes na marinha russa. Ao longo dos anos, Altshuller desenvolveu uma série de ferramentas e abordagens baseadas na análise empírica como forma de estruturar o processo inventivo, de criação. Este sistema diferenciado de soluções foi desenvolvido a partir da extração de princípios inventivos da análise contínua de patentes. Muitos desses princípios focam em contradições ou *trade-offs* para a identificação de soluções inovadoras.

López et al. (2005) relatam que o estudo de mais de dois milhões de patentes no mundo tem permitido identificar princípios universais de invenção, ou inventivos. Ensinando esses princípios e com a ajuda de técnicas psicológicas e de geração de idéias a metodologia TRIZ pretende aprofundar e dinamizar o processo criativo. Esta metodologia declara, enfim, que “problemas inventivos, ou seja, relacionados à invenção, criatividade, criação, podem ser codificados, classificados e resolvidos metodicamente, assim como qualquer outro problema de engenharia” (STRATTON e MANN, 2003). De acordo com Srinivasan e Kraslawski (2006), esta teoria baseia-se em três fundamentos principais:

- Existe padrão identificável na evolução das tecnologias;
- Todas as inovações começam com a aplicação de um pequeno número de princípios inventivos;
- A solução inovadora de um problema remove os conflitos existentes no sistema.

Estes fundamentos foram traduzidos em três princípios básicos da TRIZ (STRATTON e MANN, 2003):

1. O projeto ideal, sem funções danosas, é uma meta a ser buscada – o grau em que uma solução é ideal para um dado efeito ou função sem recursos adicionais ou efeitos colaterais negativos é geralmente referido como idealidade na metodologia TRIZ.

$$\text{Idealidade} = \frac{\text{Todos os efeitos ou funções úteis}}{\text{Todos os efeitos ou funções danosos}}$$

Por ideal entende-se obter todos os efeitos ou funções úteis sem efeitos danosos ou, idealmente, sem a aplicação de recursos. Segundo o princípio 1, a TRIZ promove a melhoria funcional do produto através da inovação, pelo uso de ferramentas específicas,

2. Uma solução inventiva envolve a eliminação total ou parcial de uma contradição – o trabalho de Altshuller com patentes permitiu classificar as soluções inventivas em cinco níveis, variando desde triviais até novos paradigmas científicos. Através deste trabalho, ele definiu como problema inventivo aquele que contém ao menos uma contradição e que uma solução inventiva tenha totalmente ou parcialmente eliminado esta contradição. O sistema de soluções da TRIZ pode suportar a inovação nos níveis 2 a 4 de problemas inventivos.
3. O processo inventivo pode ser estruturado – Durante o seu estudo, Altshuller convenceu-se da possibilidade de estruturar o processo inventivo, de inovação, em torno de contradições ou *trade-offs*. Esta promoveu diversos desenvolvimentos, dentre os quais se destacam principalmente dois. Em cada caso, dados empíricos foram utilizados para desdobrar operadores de correlação usando o princípio da abstração. A FIGURA 2.16 ilustra este processo de abstração, que

correlaciona um problema específico com um problema genérico e, através de operadores de correlação, identifica uma solução genérica desdobrada na seqüência na solução específica.

O primeiro caso desenvolvido a partir das análises de Altshuller é o sistema de soluções para contradições técnicas. Uma contradição técnica acontece quando existem dois parâmetros do sistema em conflito, e a melhoria no valor de um destes parâmetros piora o valor do outro. Neste caso, Altshuller identificou 39 parâmetros de contradição e 40 princípios inventivos que se repetiam nas diversas patentes analisadas. Para evidenciar todas as combinações de contradições técnicas possíveis, uma matriz 39 x 39 foi desdobrada a partir dos parâmetros identificados e, a cada combinação destes parâmetros de contradição Altshuller relacionou quais dos 40 princípios inventivos estavam mais comumente associados. Esta matriz é chamada de Matriz de Contradição Técnica (FIGURA 2.15). Em resumo, para um problema específico de contradição técnica deve-se primeiro identificar quais parâmetros deste problema formam a contradição ou *trade-off*, encontrar esta contradição na Matriz de Contradição Técnica, identificar quais os princípios recomendados para eliminar esta contradição e aplicá-los no problema específico para, então, determinar uma solução específica.

O segundo caso é o sistema de soluções para contradições físicas. Uma contradição física acontece quando um parâmetro deve ter simultaneamente dois valores distintos. A relação entre contradições físicas e técnicas pode ser ilustrada graficamente, como mostrado na FIGURA 2.17. Na figura, uma contradição técnica entre os parâmetros A e B foi abstraída para evidenciar a contradição em termos de um parâmetro variável comum C, que representa uma contradição física. Altshuller descobriu que ao definir uma contradição em torno de um parâmetro com estados mutuamente excludentes os operadores de correlação usados para identificar uma solução poderiam ser mais genéricos e que existem apenas quatro princípios de separação usados para ajudar a resolver este tipo de contradição: separação no espaço de requisitos opostos, separação

no tempo de requisitos opostos, separação no todo e suas partes, separação condicional.

CARACTERÍSTICAS		Característica que está piorando						Princípios		
		1	2	...	...	...	39			
Características a serem melhoradas	1	Peso de um objeto móvel		-	...	...	...	35, 3 24, 37	Segmentação	1
	2	Peso de um objeto estático	-		...	...	...	1, 28 15, 35	Extração	2
	...	...	...	...		...	...	...	...	...
	14	Força	1, 8 40, 15	1, 8 40, 15	...		...	29, 35 10, 14	Assimetria	14
	...	...	...	...	...	...		...	...	...
	39	Capacidade / Produtividade	35, 26 24, 37	28, 27 15, 3	...	...	...		Ambiente Inerte	39
								Materiais Compósitos	40	

FIGURA 2.15: Matriz de Contradição Técnica da TRIZ (adaptado: Altshuller apud SRINIVASAN e KRASLAWSKI, 2006).

Segundo revisão bibliográfica efetuada por Srinivasan e Kraslawski (2006), são numerosas as aplicações da TRIZ. Alguns exemplos são projeto de produtos, projeto de equipamentos, identificação de tendências, projeto e melhoria de processos.

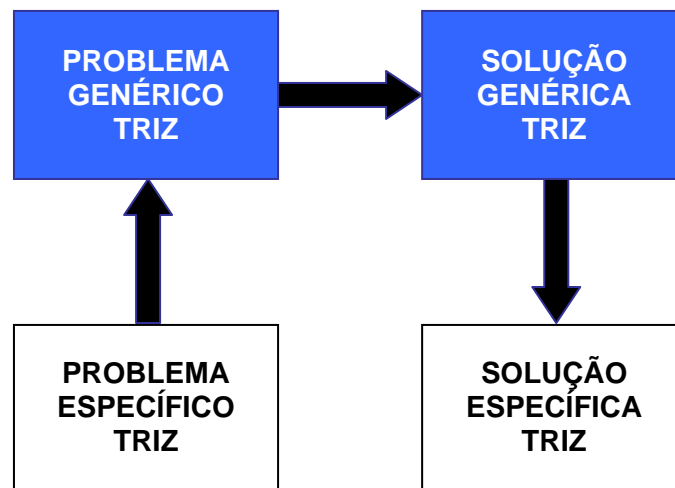


FIGURA 2.16: Princípio geral de aplicação da TRIZ (adaptado: STRATTON e MANN, 2003).

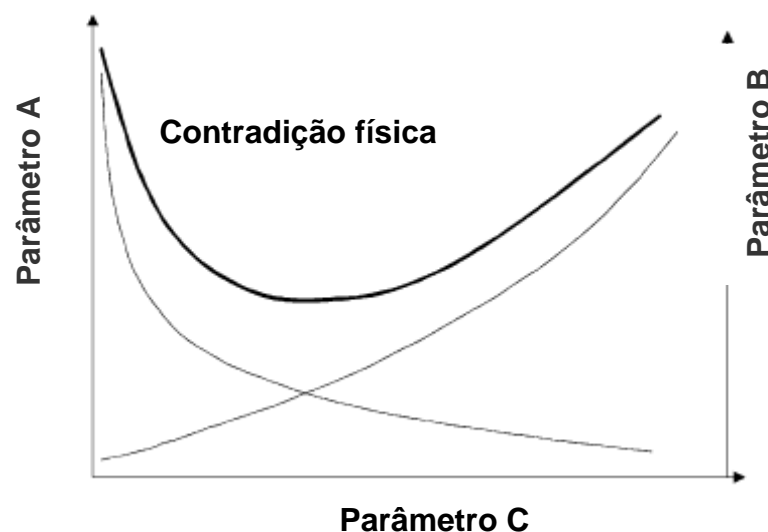


FIGURA 2.17: Representação gráfica de uma contradição física (adaptado: STRATTON e MANN, 2003).

#### 2.5.4. Técnica de análise funcional de sistemas (FAST)

O FAST foi desenvolvido durante a revolução da Análise do Valor (VA) e da Engenharia do Valor (VE) na década de 1960. Constitui um método rigoroso para o entendimento de sistemas complexos através da conversão de atividades realizadas em um sistema em funções desempenhadas pelo sistema para os consumidores (BARTOLOMEI e MILLER). Esta técnica foi desenvolvida para suportar o desenvolvimento de novos produtos, mas tem sido também empregada no estudo de sistemas já existentes (LAMBERT et al., 1999).

O FAST é uma técnica de diagramação e consiste em um processo de identificação lógica e organizada, com visualização do inter-relacionamento e importância relativa das funções necessárias de um produto, as quais devem ser cumpridas para atingir o propósito de um projeto (BASSO, 1991). Para a utilização dessa técnica, é de fundamental importância a perfeita compreensão do relacionamento e hierarquias entre as funções de todos os componentes.

O processo de análise da diagramação FAST, situa-se no entendimento que as funções expressam. Identificam-se as funções que são expressas por um verbo (ação) no infinitivo e um substantivo (objeto) que sofre a ação em uma caixa simples, com algum comentário complementar, se necessário. A resultante dessa composição produz um diagrama composto pelas funções



integradas de uma forma lógica, que reside em determinar questões lógicas e estruturar respostas, conforme demonstra a FIGURA 2.18.

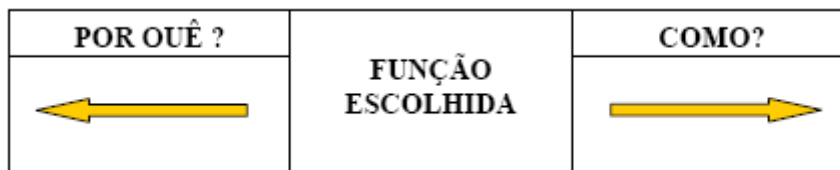


FIGURA 2.18: Diagramação do FAST e operadores lógicos (adaptado: LAMBERT et al., 1999).

Para a construção do diagrama FAST, segundo Lambert et al. (1999), o ponto de partida consiste da determinação da função principal do sistema. Então, a partir desta função, o desenvolvimento e a determinação das outras funções são possíveis graças à aplicação de três perguntas básicas: como, por que e quando. Para traduzir redundâncias ou paralelismo podem-se usar operadores lógicos como ‘OU’ e ‘E’.

Assim, ao longo do eixo horizontal do diagrama, as funções são determinadas graças a:

- A pergunta ‘por que’. Isto implica em uma resposta iniciada com ‘Com o objetivo de’ e determina o propósito ou missão da função, isolando sempre à direita uma função de nível mais elevado.
- A pergunta ‘como’. Ela exige uma resposta que comece com ‘Através de’ que explica o mecanismo pelo qual aquela função será exercida, isolando sempre à esquerda uma função de nível mais baixo.

Ao longo do eixo vertical, as funções são determinadas pela pergunta ‘quando’. Esta pergunta requer uma resposta começando com ‘Se, simultaneamente’ e, portanto, corresponde a uma condição necessária para a ocorrência desta função (LAMBERT et al., 1999).

Em resumo, o princípio do diagrama FAST, baseia-se na lógica do caminho crítico, ou seja, o processo é composto por aquelas funções que devem ser executadas para atingir a função básica. Verifica-se, por meio de leitura horizontal, da esquerda para a direita, a funcionalidade do produto ou objeto, induzindo à busca de soluções alternativas de modo a reduzir o nível de oportunidades e; da direita para a esquerda, a sua integração sistêmica, a qual procura motivos que justifiquem o pensamento lógico adotado na etapa anterior, de forma a proporcionar um nível mais alto de oportunidades e abstração. Questionando, respectivamente “como” e “por que” cada função

pode ou deve ser executada, ao mesmo tempo em que, verticalmente, se estabelece uma relação de dependência entre as funções, que devem acontecer a medida que as condições ‘quando’ são atendidas. A estrutura original de um diagrama FAST pode ser observada na FIGURA 2.19.

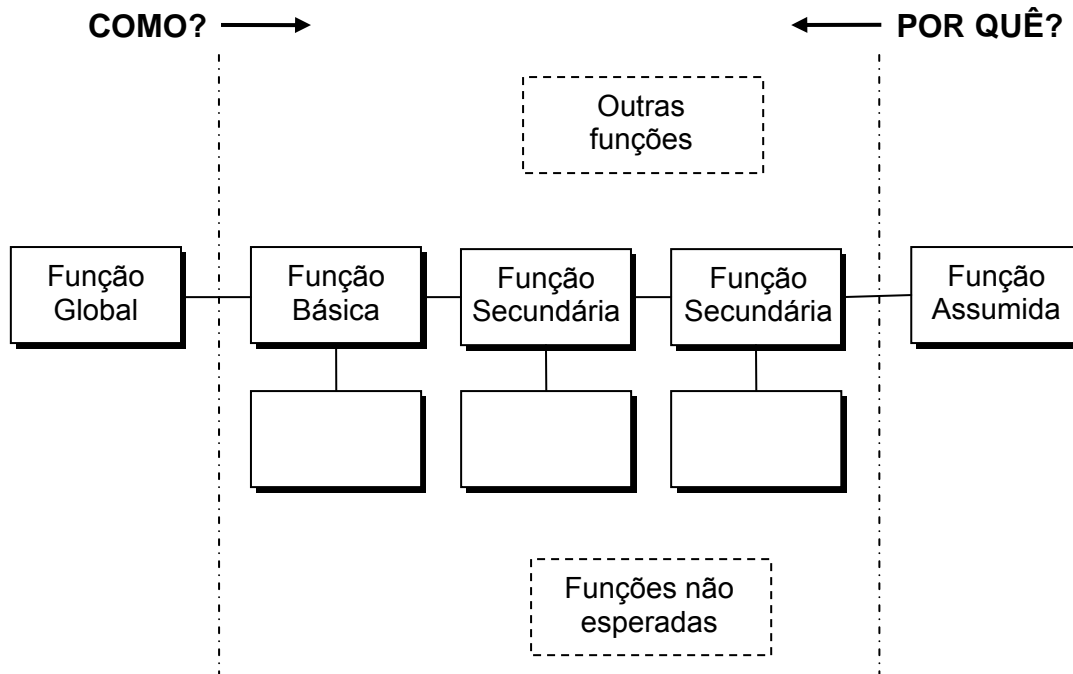


FIGURA 2.19: Diagrama do método FAST (adaptado: ROZENFELD et al., 2006).

A configuração do diagrama FAST tem como objetivo principal organizar as funções sistematicamente de modo a explicar as inter-relações. Csillag (apud SILVA, 1997), sustenta que “a grande importância do FAST tem sido a habilidade em permitir ligar o analista do valor com o especialista, no problema que está sendo analisado, quaisquer que sejam os problemas”. E acrescenta que, por ocasião da elaboração de um diagrama FAST, por uma equipe de especialistas, a metodologia estimula nos integrantes do projeto o pensamento criativo, sendo o diagrama uma ferramenta de comunicação de idéias.

#### 2.5.5. Design of Experiments (DOE)

Do inglês *Design of Experiments*, o DOE, no português conhecido por Experimentos Planejados, foi primeiramente usado por R. A. Fisher, no Reino Unido, durante a década de 1920, porém sua aplicação no campo da qualidade tem sido comumente associada com Taguchi (SIMMS e GARVIN, 2002). Atualmente, o DOE tem sido aplicado em diversas indústrias para a melhoria de processos e para o desenvolvimento de produtos, sendo amplamente

reconhecido como uma das técnicas mais importantes para o desenvolvimento de produtos voltado à qualidade (ZHANG, 1998). Blake et al. (apud ZHANG, 1998) afirmam que “os experimentos planejados representam uma ferramenta estratégica importante na guerra com os competidores ao redor do mundo por suportar o desenvolvimento de produtos robustos, reduzir o tempo de desenvolvimento, melhorar a qualidade e a confiabilidade, e reduzir o custo ao longo do ciclo de vida do produto”.

Através do uso da estatística, os experimentos planejados permitem obter conhecimento profundo acerca do efeito de um fator (parâmetro) e quantificar a sua significância e contribuição a mudanças promovidas no valor de uma dada variável resposta; o DOE é uma ferramenta poderosa na investigação das causas desconhecidas de variação do processo. Esta técnica é útil para trazer à tona os efeitos de variáveis inexploradas e estudar possíveis efeitos de variáveis durante o desenvolvimento de um novo produto. Os experimentos podem envolver desde fatores não controláveis, introduzidos aleatoriamente, até fatores cuidadosamente controlados (KONDA et al. 1999).

Atualmente existem três abordagens principais em prática para o DOE: o método clássico ou tradicional, o método de Taguchi, e o método Shainin. O método tradicional baseia-se no trabalho de Ronald A. Fisher, que aplicou o DOE em problemas agrícolas na década de 1920. Taguchi refinou a técnica no Japão com o objetivo de desenvolver produtos robustos às diversas fontes de variação. O método Shainin, idealizado e desenvolvido pelo consultor Dorian Shainin, utiliza-se de uma variedade de técnicas com ênfase principal na solução de problemas de produtos correntes (KONDA et al., 1999). De modo geral, qualquer das abordagens segue basicamente as sete etapas sugeridas por Simms e Garvin (2002):

1. Definição dos objetivos – devem ser definidos a meta que se quer atingir, em que área de desempenho pretende-se atingir essa meta, qual o produto ou processo a ser investigado.
2. Seleção das características críticas de qualidade – uma característica crítica, como já discutido em tópicos anteriores, é aquela que afeta o desempenho em termos de qualidade aos olhos do cliente. É necessário ser capaz de medir de forma acurada e precisa a resposta em termos da característica crítica.

3. Escolha dos fatores que parecem afetar as características críticas de qualidade – inicialmente, estes fatores são melhores obtidos através de sessões de *brainstorming* entre todas as pessoas chave relacionadas ao processo ou produto sob análise.
4. Planejamento e execução dos experimentos – a escolha do experimento dependerá de quantos fatores foram escolhidos na etapa 3. Experimentos mais comuns incluem oito fatores com dois níveis cada um, sendo um nível extremo '+' e outro extremo '-'.
5. Coleta e análise dos dados – Após a coleta dos dados relacionados ao desempenho para cada uma das características críticas de qualidade, deve-se analisar se com os níveis '+' e '-' dos fatores escolhidos gerou-se variação suficiente.
6. Interpretação dos dados – esta etapa envolve a determinação da relação de causa e efeito que existe entre os ajustes de cada um dos fatores e o desempenho resultante para cada característica de qualidade medida. Frequentemente são necessárias iterações das etapas 3 a 6 para obter-se conhecimento suficiente acerca destas relações.
7. Execução do experimento de confirmação e implementação – Para verificar se as relações foram corretamente identificadas, os ajustes ótimos dos fatores devem ser determinados e um experimento de confirmação deve ser executado. O objetivo desta etapa é garantir que a resposta atende às expectativas em termos de desempenho para cada característica crítica e, que uma vez validados, estes ajustes sejam implementados como um novo padrão para cada fator.

Alguns benefícios da aplicação do DOE no desenvolvimento de novos produtos são (ZHANG, 1998):

- Otimização simultânea de diversos fatores;
- Melhoria da qualidade e redução simultânea do custo;
- Permite a eliminação do efeito da causa sem a eliminação da causa;
- Redução do tamanho e do custo do experimento através de experimentos fatoriais fracionados;
- Otimização da coleta de dados e minimização do tempo para tomar decisões baseadas nos experimentos;

- O ruído pode ser considerado como um fator no experimento.

#### *2.5.6. Outras ferramentas de suporte ao PDP direcionado à qualidade*

Nos tópicos anteriores foram apresentadas algumas das ferramentas mais representativas para o PDP voltado à qualidade. A TABELA 2.1 a seguir (GIACOMINI, 2007) apresenta um resumo de outras ferramentas mais simples e que, de modo geral, não compreendem o escopo deste trabalho, que também podem ser aplicadas no PDP com foco em qualidade.

TABELA 2.1: Ferramentas de suporte ao PDP direcionado à qualidade (adaptado: GIACOMIN, 2007).

Método, técnica ou ferramenta	O que é o método? Conceito, objetivo e aplicação	Bibliografia recomendada
<b>FTA - <i>Fault Tree Analysis</i> (Análise da Árvore de Falha)</b>	A análise da árvore de falhas visa melhorar a confiabilidade de produtos e processos através da análise sistemática das possíveis falhas e suas conseqüências, orientando a adoção de medidas corretivas ou preventivas. É considerado o melhor método para análise individual de uma falha específica. O enfoque do método é dado à falha final do sistema.	HELMAN e ANDERY (1995) SAKURADA (2001)
<b>Diagrama de Ishikawa - Espinha de Peixe e Causa e Efeito</b>	O diagrama de causa e efeito mostra a relação entre uma característica de qualidade (efeito) e seus fatores (causas). Algumas vezes o número de fatores (causas) pode ser muito elevado. Nestes casos, como a análise de um processo, as causas são organizadas em famílias que podem ser: matérias-primas, máquinas, medidas, meio ambiente, mão-de-obra, método.	SAKURADA (2001)
<b>Análise de Valor - Engenharia de Valor</b>	Objetiva determinar e melhorar o valor de um produto ou processo, primeiramente, pelo entendimento das funções do item e seu valor, posteriormente, então, seus componentes constituintes e seus custos associados a fim de reduzir os custos ou aumentar o valor das funções. A análise se processa sobre um produto já existente enquanto a engenharia é aplicada na fase de desenvolvimento e criação do novo produto. É um esforço organizado para atingir o valor ótimo de um produto, sistema ou serviço, promovendo as funções necessárias ao menor custo.	COTEC (1998) BASSO (1991) CSILLAG (1991) BAXTER (2000)
<b>Matriz de Avaliação Passa/Não Passa</b>	Avaliação utilizada para encontrar conceitos que não são adequados e para auxiliar a geração de novas idéias. Permite identificar de maneira rápida os pontos fracos de um conceito e, dependendo da situação, modificar o conceito de modo a ajustá-lo melhor ao problema.	FORCELLINI (2004)
<b>DFMA - <i>Design for Manufacturing and Assembly</i> (Projeto para Manufatura e Montagem)</b>	São aplicativos que calculam o potencial de melhoria na fabricação de itens e na montagem de produtos, apresentando relatórios com sugestões para a modificação dos itens e dos produtos analisados a partir dos dados fornecidos pelos usuários.	BRALLA (1986) www.dfma.com
<b>EPP - Especificações de Projeto do Produto</b>	Matriz na qual são estabelecidos elementos sensores, através dos quais pode-se medir se os objetivos estão ou não sendo atingidos nas diversas fases do desenvolvimento do projeto. Pode-se também colocar as saídas indesejáveis, que representam o que, exatamente, se pretende evitar com a agregação dessa especificação.	FORCELLINI (2004)
<b>Gráfico de Pareto</b>	É um diagrama (gráfico de barras decrescente) que estabelece a forma de distribuição de perdas, muito utilizado para priorizar efeitos ou causas. É utilizado para identificação e estratificação do problema, coleta de dados sobre os estratos, priorização e desdobramento.	SILVA (2002) PALADY (2004)

### **3. MODELO DE REFERÊNCIA PARA O PDP DIRECIONADO À QUALIDADE**

Este capítulo destina-se a apresentar o modelo de referência para o PDP direcionado à qualidade. O modelo foi desenvolvido a partir do conhecimento gerado durante o levantamento do estado da arte apresentado no capítulo 2, do estudo acerca das ferramentas de apoio ao PDP e da experiência prática adquirida durante a execução desta pesquisa, uma vez que o desenvolvimento do modelo e sua aplicação ocorreram simultaneamente, caracterizando, assim, este trabalho como uma pesquisa exploratória quanto aos objetivos e como pesquisa-ação quanto aos procedimentos técnicos adotados, conforme discutido no capítulo 1.

Os limites de contorno do modelo foram definidos de acordo com três premissas básicas, quais sejam:

1. O modelo ora apresentado tem foco exclusivo nas atividades e tarefas relacionadas às questões de qualidade no processo desenvolvimento de um produto. Isto quer dizer que as atividades e tarefas alheias a este objetivo não serão explicitadas ou discutidas neste modelo;
2. Uma intenção primordial durante o desenvolvimento deste modelo foi a obtenção de um modelo passível de adaptação a outros modelos de referência ao PDP. Como o seu foco é restrito ao desdobramento da Qualidade no novo produto, é necessário que ele esteja vinculado a um modelo de referência para o PDP mais amplo, a fim de garantir a execução de todas as atividades fundamentais relacionadas a um PDP, conforme discutido no tópico 2.1. Assim, as atividades e tarefas propostas neste modelo, como será visto mais adiante, podem ser redistribuídas ao longo de um modelo mais amplo de PDP, permeando-o de forma a conferir a este último um caráter de foco na qualidade;
3. O modelo é voltado principalmente para empresas de manufatura de bens de consumo duráveis e de capital.

Além disso, o desenvolvimento do modelo foi conduzido segundo cinco diretrizes chaves, conforme proposta de Maribondo (apud PENSO, 2003) para o desenvolvimento de metodologias de projeto. As diretrizes para o desenvolvimento deste modelo de referência têm a finalidade de orientar o processo de proposição do modelo. A importância de propô-las reflete no resultado alcançado ao finalizar o modelo, pois o mesmo estará de acordo com os objetivos esperados e corresponderá às características e particularidades almeçadas. As diretrizes estabelecidas são:

1. Diretriz 1: *Forma de apresentação do modelo;*
2. Diretriz 2: *Desdobramento do modelo;*
3. Diretriz 3: *Entradas e saídas do modelo;*
4. Diretriz 4: *Ferramentas de apoio ao modelo;*
5. Diretriz 5: *Forma de apresentação dos resultados do modelo.*

A forma de apresentação do modelo (Diretriz 1) deve seguir um formato de fluxograma ou diagramação, contendo uma convenção básica indicando o início, meio e fim do PDP, tornando-o mais lógico e integrado. A convenção básica que será usada na representação deste modelo pode ser visualizada na FIGURA 3.1 abaixo:



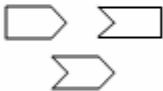


SÍMBOLOS BÁSICOS	SIGNIFICADOS DOS SÍMBOLOS NA REPRESENTAÇÃO DO MODELO
	Início do modelo
	Fim do modelo
	Fases do modelo
	Atividades
	Relação de dependência entre as atividades

FIGURA 3.1: Convenção básica para a apresentação do modelo.

O desdobramento do modelo (Diretriz 2) deve acontecer de forma a reduzir o grau de abstração existente para a execução do trabalho do usuário. Isto permitirá uma visão clara e objetiva do modelo e das atividades ao usuário.



Aqui, este desdobramento será feito em três níveis, do mais amplo para o mais específico respectivamente: fases, atividades e tarefas. As fases representam as missões principais no PDP direcionado à qualidade, dividindo-o em quatro fases distintas: Identificação do vetor  $Y$ , Definição de  $Y=f(x)$ , Melhoria da qualidade, e Padronização da melhoria. As atividades correspondem ao desdobramento das fases em ações realizáveis na busca de informações e resultados para a continuidade do processo. Por fim, as tarefas correspondem ao desdobramento das atividades em ações específicas a serem desenvolvidas pela equipe de projeto na busca de informações e resultados mais adequados para a realização das atividades.

O modelo deve explicitar as suas entradas e saídas (Diretriz 3), que devem ser, na medida do possível, documentadas e devidamente armazenadas. Estas entradas e saídas têm a finalidade de alimentar o próprio PDP direcionado à qualidade, gerando as informações necessárias para a execução das atividades e tarefas.

Quanto às ferramentas de apoio ao PDP (Diretriz 4), a sua aplicação deve estar vinculada às fases do modelo, suas atividades e tarefas. No capítulo 2, algumas das ferramentas de apoio ao PDP mais conhecidas foram apresentadas. Essa diretriz garante que o modelo permita o uso daquelas e de outras ferramentas para a execução das atividades e tarefas, promovendo resultados que conduzam às saídas esperadas ao final de cada atividade e/ou tarefa.

Por fim, a apresentação dos resultados do PDP direcionado à qualidade representado pelo modelo (Diretriz 5) deve ser sempre documentada na forma de relatórios, planos, listas, planilhas ou na forma que for mais conveniente e de acordo com a origem dos resultados e sua finalidade.

Estas cinco diretrizes estabelecidas para a proposição do modelo de referência associadas aos conhecimentos adquiridos sobre o tema de pesquisa resultaram no desenvolvimento do modelo de referência para o PDP direcionado à qualidade que será apresentado na seqüência deste estudo.

### **3.1. Estrutura do modelo**

A FIGURA 3.2 apresenta o modelo proposto de PDP direcionado à qualidade. Ele está estruturado em quatro fases principais no primeiro nível de

desdobramento: Identificar vetor  $Y$ , Determinar  $Y=f(x)$ , Melhorar qualidade, e Padronizar melhoria.

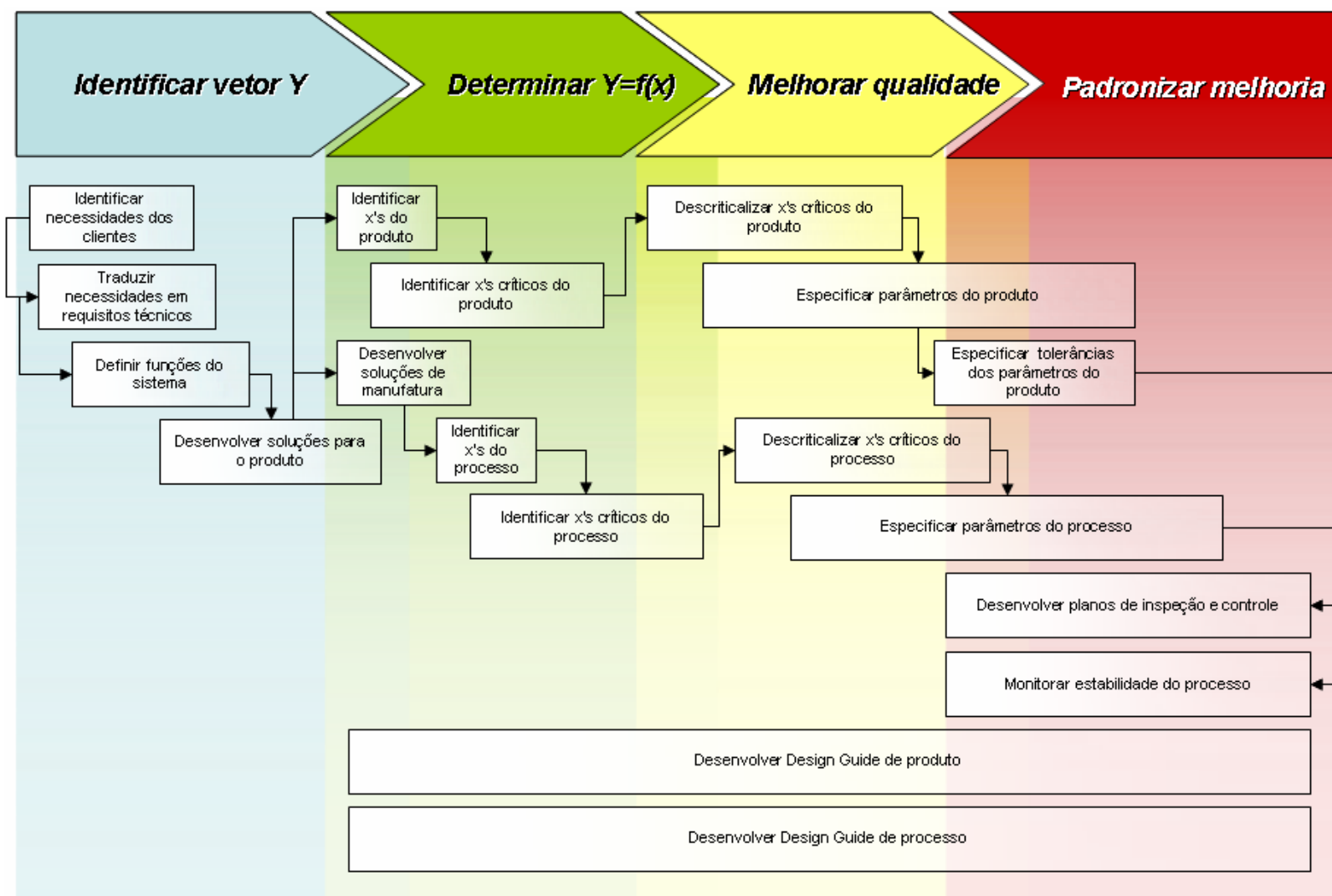


FIGURA 3.2: Visão geral do modelo proposto.

A fase **Identificar o vetor Y**, em linhas gerais, tem como finalidade identificar e traduzir as necessidades dos clientes em requisitos funcionais do produto. A fase seguinte, **Determinar  $Y=f(x)$** , tem a importante função de identificar as características de produto e processo cuja variação efetivamente interfere no atendimento ao nível de qualidade desdobrado da fase anterior ( $x$ ), representado tecnicamente pelas funções projetadas para o produto. A terceira fase do PDP direcionado à qualidade, **Melhorar qualidade**, compreende a execução das ações que visam conferir robustez ao produto. Finalmente, a fase **Padronizar melhoria** tem a função de padronizar em forma de desenho, planos de inspeção e controle, cartas de controle estatístico de processo, formulários, etc. todo o aprendizado obtido durante a execução do projeto.

O que define uma fase é a entrega de um conjunto de resultados (*deliverables*), que, juntos, determinam um novo patamar de evolução do projeto de desenvolvimento. Os resultados obtidos em uma fase compreendem os dados de entrada da fase seguinte. Assim, obtém-se o seqüenciamento de fases dependentes entre si representado no modelo.

Todavia, apesar de representado em forma seqüencial, o modelo, na realidade, permite a sobreposição de fases, conquanto que não haja a quebra das relações de dependência previstas. É, por exemplo, o que ocorre na sobreposição esquematizada na FIGURA 3.3, entre as fases Melhorar qualidade e Padronizar melhoria. A atividade “Especificar parâmetros do produto”, que pertence à fase de padronização da melhoria, tem seu início ainda na fase de melhoria da qualidade e antes que a atividade precedente “Descriticalizar  $x$ 's críticos do produto” seja finalizada. Isto quer dizer que a atividade de especificação dos parâmetros pode ser executada à medida que aprendizado é obtido durante a descriticalização de um dado  $x$  crítico do produto. Esta é a característica de paralelismo/simultaneidade, que é capaz de encurtar sobremaneira o tempo de desenvolvimento. Note, porém, que devido à relação de dependência entre estas duas atividades, os parâmetros não poderão ser completamente especificados antes do início da atividade de descriticalização dos  $x$ 's críticos, e, da mesma forma, não poderão ser completamente especificados antes do fim da atividade precedente em questão.

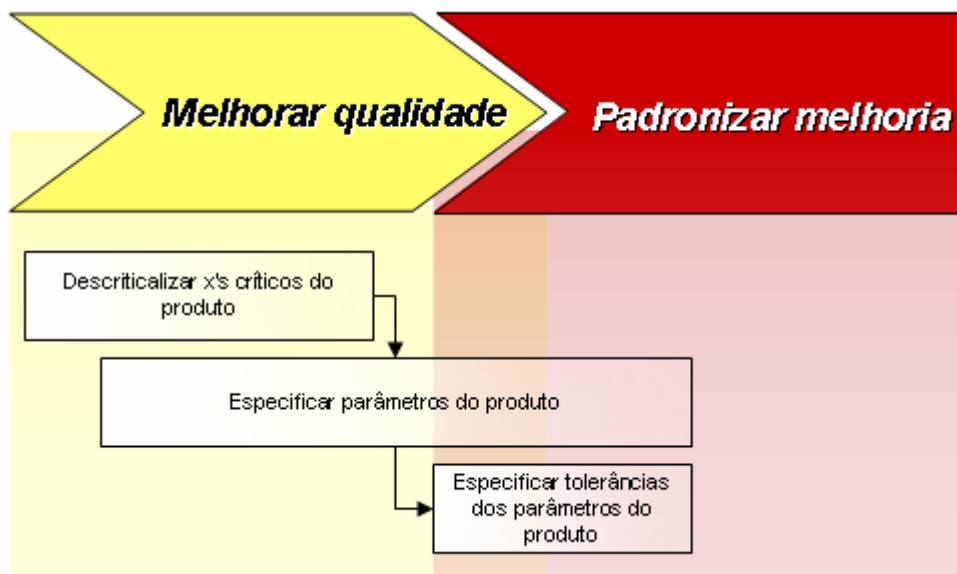


FIGURA 3.3: Exemplo de sobreposição entre as fases do PDP direcionado à qualidade.

A seguir será apresentado o detalhamento das fases e atividades do modelo.

### 3.2. Fase 1: Identificar vetor Y

O modelo de PDP direcionado à qualidade se inicia pela fase Identificar o vetor Y. Conforme apresentado anteriormente, o principal objetivo desta fase é identificar e traduzir as necessidades dos clientes em requisitos funcionais do produto (Y), consolidados nas especificações-meta, no modelo funcional e na arquitetura do produto. Esta é a fase mais fundamental do modelo, uma vez que o seu produto final é a definição da qualidade aos olhos do consumidor para aquele projeto em específico. Uma definição errônea ou incompleta da qualidade acarretará no desenvolvimento de um produto com elevadas possibilidades de fracasso após o seu lançamento. Por este motivo, é importante que a execução desta atividade esteja fortemente vinculada ao uso de ferramentas, como o QFD (EUREKA e RYAN, 2003) ou o modelo de Kano (KANO et al., 1984), discutidas no capítulo 2, para buscar o nível de assertividade mais elevado possível. A aplicação do QFD, em especial, será demonstrada de forma prática no capítulo seguinte, Validação do Modelo.

O fluxo de atividades da fase de identificação do vetor Y é representado pela FIGURA 3.4. A principal informação de entrada é a idéia de um novo produto. Esta idéia deve ser desdobrada do portfólio de produtos da empresa, que, por sua vez, deve ser desdobrado do seu plano estratégico. De fato, isso

significa que um novo produto deve ser desenvolvido com o objetivo mais amplo de suportar a organização na entrega de seus resultados estratégicos através da criação de vantagem competitiva.

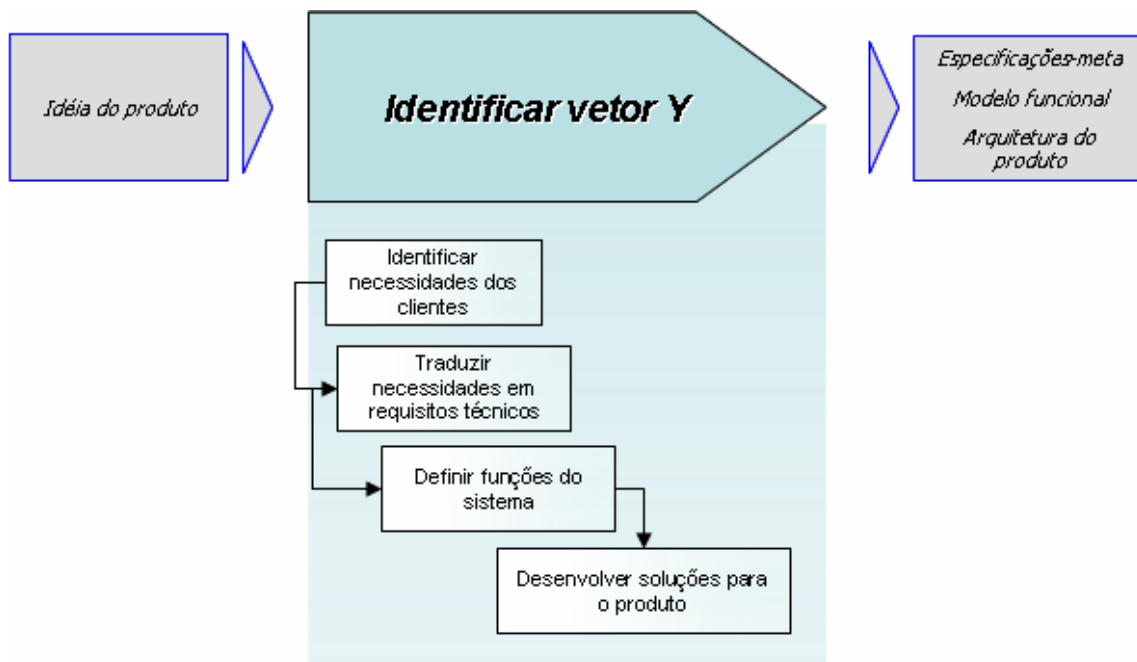


FIGURA 3.4: Fluxo de atividades da fase “Identificar vetor Y”.

A primeira atividade desta fase é a identificação da “voz do cliente”, ou seja, das suas necessidades. Essas necessidades são geralmente expressas na linguagem do consumidor e tipicamente subjetivas. Um exemplo desta subjetividade pode ser “o aparelho deve ser resistente à umidade”. Pois bem, o que se entende por “resistente à umidade”? Como se percebe, a informação proveniente diretamente dos clientes, por não ser precisa, não está ainda na forma adequada para ser utilizada nas decisões necessárias nas demais fases do projeto do produto. Faz-se necessário que estas necessidades sejam traduzidas em requisitos técnicos passíveis de serem mensurados e estes, posteriormente, desdobrados em funções. Então, partindo do exemplo acima e admitindo que se trate de um relógio de pulso, o termo “resistente à umidade” pode ser desdobrado, por exemplo, nos requisitos técnicos “tempo de exposição à água” e “profundidade de imersão na água”, o que será conseguido através das funções “vedar o aparelho” para o primeiro requisito e “resistir à pressão” para o segundo. Uma vez definidas as funções do produto, é possível, ao time de projeto, desenvolver soluções que entreguem as funções desdobradas das necessidades dos clientes.

### *3.2.1. Identificar necessidades dos clientes*

A atividade inicial da Fase 1 do modelo, Identificar necessidades dos clientes, depende, de antemão, da definição do escopo do produto e da consequente definição do grupo de consumidores potenciais. Estas duas informações permitirão delinear o campo de investigação inicial do time de projeto à busca de identificar a definição da qualidade do produto sob o ponto de vista dos clientes.

Nesta atividade, inicialmente busca-se coletar as expressões das necessidades dos clientes nas suas formas mais “brutas”. Esta coleta é tipicamente conduzida pelo time de Marketing no projeto e pode ser feita com o uso de listas de verificação ou por meio de observação direta, entrevistas, ou qualquer outro método de interagir com os diferentes clientes.

Uma segunda tarefa consiste em identificar necessidades dos clientes a partir de dados de qualidade de produtos similares. As reclamações de campo representam uma fonte extremamente rica de informação para o time de projeto, uma vez que evidenciam insatisfações reais dos consumidores. Elas permitem identificar aquilo que não deu certo em projetos anteriores. A área da Qualidade deve disponibilizar estes dados referentes a produtos ou plataformas de produtos similares ao novo produto, ou que possuam propostas que se encaixem no escopo do produto em desenvolvimento.

Assim, posteriormente à coleta das necessidades, é conveniente que essas necessidades sejam agrupadas e classificadas. Elas podem ser agrupadas, por exemplo, de acordo com a afinidade entre si, através do diagrama de afinidades. Bezerra (2007) apresenta uma aplicação prática de como o diagrama de afinidades desenvolvido a partir de informações de campo pode ser útil para a identificação das necessidades.

O agrupamento possibilita verificar as necessidades similares, eliminando-se as repetições e aquelas necessidades pouco relevantes para o projeto. Recomenda-se levar adiante somente um grupo mínimo de necessidades.

A FIGURA 3.5 ilustra o detalhamento de tarefas da atividade de Identificar necessidades dos clientes.

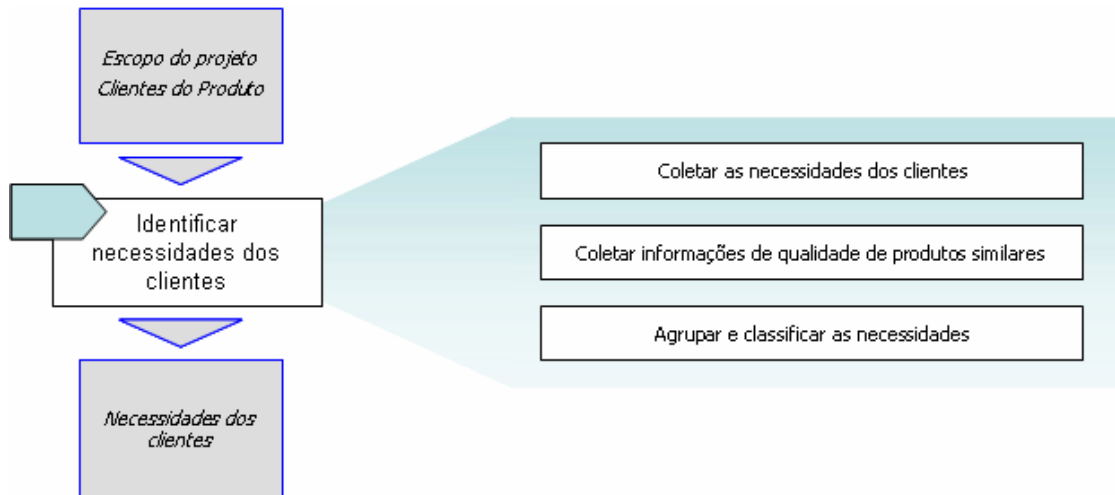


FIGURA 3.5: Tarefas da atividade “Identificar necessidades dos clientes”.

### 3.2.2. Traduzir necessidades em requisitos técnicos

Na atividade anterior, a voz do cliente foi capturada por meio de expressões que representam as suas necessidades de forma qualitativa. Porém, de modo geral, estas expressões não estão diretamente atreladas a características mensuráveis do produto, que o torne capaz de ser projetado. A atividade “Traduzir necessidades em requisitos técnicos” visa suprir os projetistas com as especificações do sistema que permitirão a continuação do desenvolvimento do novo produto. A FIGURA 3.6 ilustra as tarefas envolvidas nesta atividade.

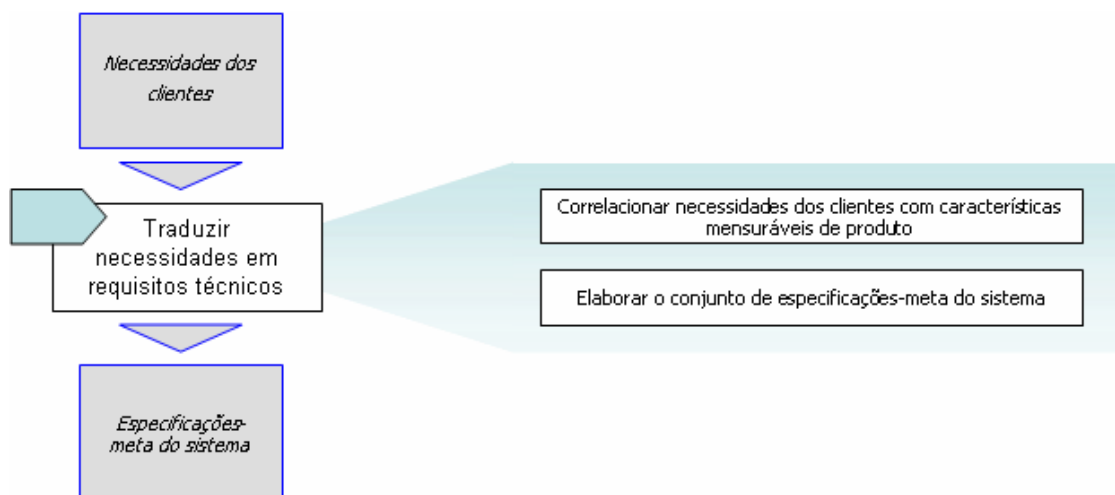


FIGURA 3.6: Tarefas da atividade “Traduzir necessidades em requisitos técnicos”.

A obtenção de uma correlação entre as necessidades dos clientes com características mensuráveis do produto constitui a primeira entrega relacionada a essa atividade. Ela poderá ser conduzida através de diferentes meios como



*brainstorming* ou *checklists*, e depende basicamente da experiência do time de projeto em projetos anteriores.

Nesta atividade, as necessidades dos clientes devem ser traduzidas em requisitos técnicos passíveis de mensuração, e estes, correlacionados com as necessidades por meio de uma classificação que facilite decisões futuras relacionadas às interações entre fatores técnicos e requisitos dos clientes. Esta classificação deve ser feita para cada par “requisito técnico - necessidade do cliente”, indicando a intensidade que o requisito técnico contribui para a necessidade do cliente. Um exemplo de escala de intensidade é: nenhuma, baixa, média, elevada.

Em seguida, a última tarefa desta fase, Elaborar o conjunto de especificações-meta do sistema, consiste na definição de valores-objetivo para cada um dos requisitos técnicos identificados. Estes valores podem ser um valor único específico (3m/s), uma janela de valores (de 50°C a 65°C), ou valores com tolerâncias ( $23 \pm 2\text{mm}$ ). Contudo, a definição de valores específicos e valores com tolerâncias nesta fase inicial do projeto é demasiado prematura, uma vez que ainda não se tem informações suficientes, sólidas e disponíveis acerca da interação entre os diversos requisitos, o que pode restringir as possibilidades de solução. Por isso, recomenda-se fortemente a definição de especificações-meta por intermédio de janelas de valores que possibilitem uma maior flexibilidade ao projeto. Por outro lado, estas especificações têm uma característica evolucionária e podem ser revistas à medida que o desenvolvimento avança e mais informações estão disponíveis.

Esta atividade é geralmente conduzida com o suporte do QFD (EUREKA e RYAN, 2003) através da sua primeira matriz, a Casa da Qualidade.

### 3.2.3. Definir funções do sistema

De maneira geral, funções descrevem as capacidades desejadas ou necessárias que tornarão um produto capaz de desempenhar seus objetivos e especificações. Descrever um sistema por meio de suas funções é uma atividade de extrema importância nesta etapa inicial do desenvolvimento porque permite ao time de projeto a visão do produto em um nível abstrato, sem restringir o espaço de pesquisa a soluções específicas. Assim, as chances

de se desenvolver um produto plenamente orientado às necessidades dos clientes aumentam significativamente.

A definição das funções do sistema tem início desdobrando-se as especificações-meta consolidadas na atividade anterior nas funções básicas do sistema, que representam o propósito ou missão do produto, conforme FIGURA 3.7 abaixo.

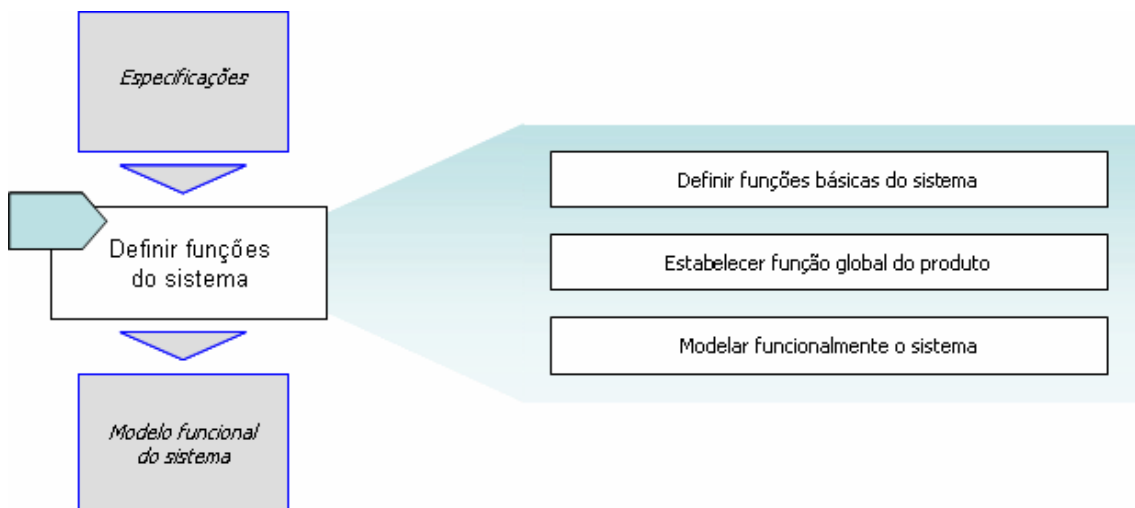


FIGURA 3.7: Tarefas da atividade “Definir funções do sistema”.

Em seguida, a partir das especificações e funções básicas previamente descritas, o passo normalmente dado na busca de uma estrutura de funções para o produto projetado é a elaboração de uma descrição da função global do produto. Esta é a função mais importante do sistema, que, de forma condensada, deve ser o resumo do que deve se esperar do produto funcionalmente.

A tarefa final corresponde à modelagem funcional de todo o sistema, geralmente representada graficamente por meio de um mapa de funções. Isso significa que todas as funções do produto devem ser desdobradas a partir das funções global e básicas. Uma solução nascida diretamente para a função global é, em geral, difícil de ser obtida, razão pela qual se procede a decomposição da função global em funções com nível de complexidade menor durante a execução da atividade.

Essa decomposição, além de facilitar a busca por soluções, proporciona um melhor entendimento do problema do projeto. Esta, no entanto, não é tarefa das mais simples, que possa ser feita em uma única vez, necessitando de um grande esforço do time de projeto. Como suporte a esta atividade, a ferramenta

FAST (LAMBERT et al., 1999) apresentada no capítulo 2 é a mais recomendada. O capítulo 4 apresenta uma aplicação prática desta ferramenta durante a execução da atividade “definir funções do sistema”, como parte do processo de validação do modelo.

#### 3.2.4. Desenvolver soluções para o produto

Nesta atividade, inicia-se a passagem do abstrato ao concreto, da função à forma. Para cada função descrita na atividade anterior podem ser atribuídas um ou mais princípios de solução. Ou seja, aqui se deve encontrar o sistema físico que desenrole um efeito físico capaz de entregar a função mapeada. A TRIZ (STRATTON e MANN, 2003) é uma ferramenta que pode auxiliar a execução desta complexa tarefa.

Na seqüência, esta atividade prevê a integração dos princípios de solução selecionados para cada uma das funções de modo a desenvolver alternativas de solução para o produto como um todo. Quer dizer, para cada combinação possível de princípios de solução para as funções, obtém-se uma alternativa de solução para o produto. Isto significa que esta tarefa envolve analisar a compatibilidade física, geométrica e, inclusive, funcional entre os princípios desenvolvidos na tarefa 1.

Por fim, para as alternativas de soluções para o produto, são identificados os subsistemas e componentes que compõem o sistema físico da solução. Como resultado, é definida a arquitetura do produto, integrando e unindo seus subsistemas e componentes, responsáveis por desenrolar os efeitos físicos capazes de executar as funções mapeadas do produto.

Neste ponto, não necessariamente deve-se escolher uma das possíveis alternativas de solução para o produto e seguir o desenvolvimento de apenas uma alternativa. De fato, o desenvolvimento de diversas alternativas simultaneamente é vista como saudável e responsável pela redução de *lead time*, retrabalho e conseqüente redução de custo de desenvolvimento. Este conceito é conhecido como *set-based concurrent engineering* (engenharia concorrente baseada em conjunto de soluções possíveis) (SOBEK e WARD, 1996; WARD, 2002; KENNEDY, 2003).

A FIGURA 3.8 ilustra as tarefas correspondentes a esta atividade.

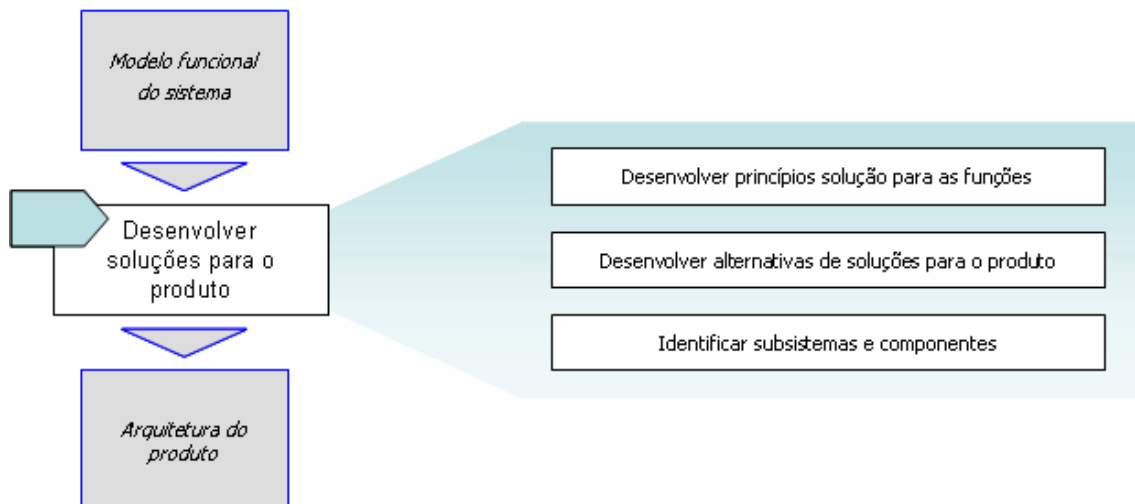


FIGURA 3.8: Tarefas da atividade “Desenvolver soluções para o produto”.

### 3.3. Fase 2: Determinar $Y=f(x)$

A segunda fase do modelo de PDP direcionado à qualidade, Determinar  $Y=f(x)$  (FIGURA 3.9), tem o importante objetivo de identificar as características de produto e processo cujas variações efetivamente interferem no atendimento ao nível de qualidade desdobrado da fase anterior ( $x$ ), representado tecnicamente pelas funções projetadas para o produto. Esta fase requer especial atenção devido às variáveis de ruído envolvidas tanto no processo quanto no produto, sob as quais os projetistas não possuem ação, e que se não forem corretamente identificadas levarão a interpretações equivocadas acerca de parâmetros críticos ou a um dispêndio excessivo de recursos de tempo e financeiros para garantir a robustez esperada ao produto. Por isto, esta fase deve ser apoiada extensamente por ferramentas estatísticas, como o DOE (MOEN et al., 1991). O seu principal *deliverable* é representação matemática reduzida de  $Y=f(x)$ , conforme discutido no tópico 2.4. Novamente, o capítulo 4 reserva a aplicação prática desta ferramenta.

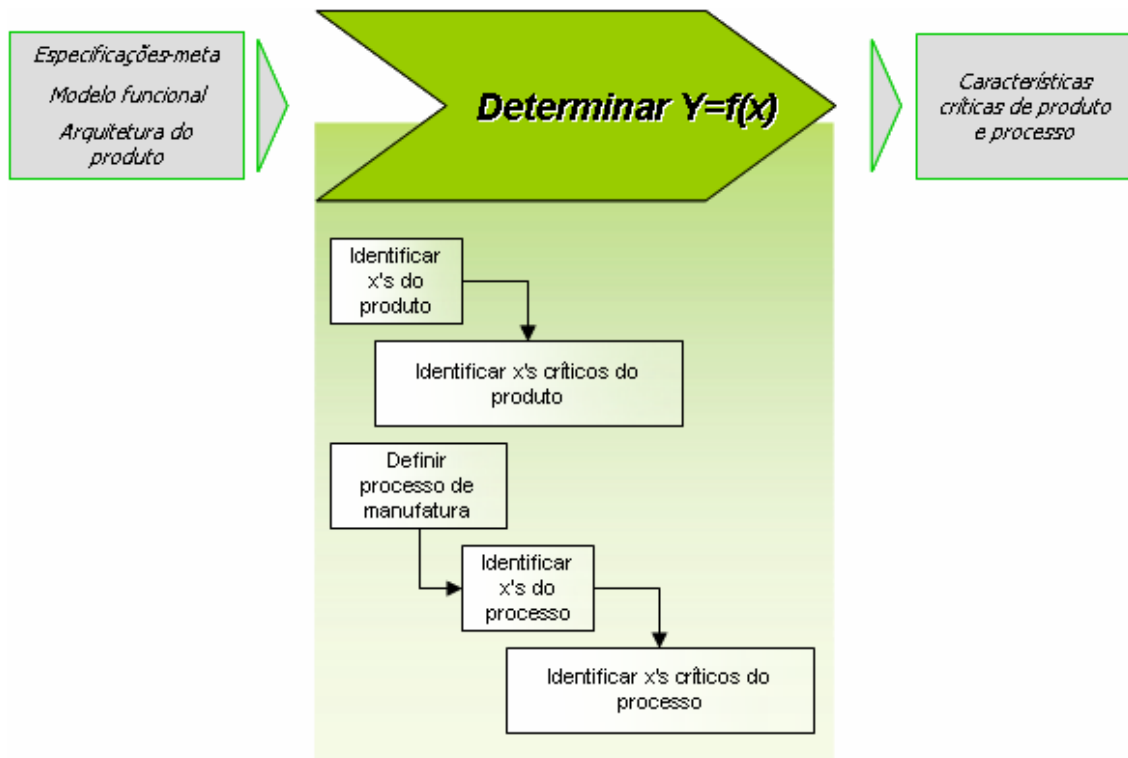


FIGURA 3.9: Fluxo de atividades da fase “Determinar  $Y=f(x)$ ”.

A identificação das características críticas de produto e processo depende de algumas atividades fundamentais. De antemão é preciso identificar quais as variáveis intrínsecas a produto e a processo que influenciam positiva ou negativamente as funções mapeadas do produto. Esse processo é iterativo e depende da experiência empírica do time de projeto com projetos anteriores. À medida que o desenvolvimento evolui, novas variáveis são adicionadas a este rol. O FMEA (ONODERA, 1997; PALADY, 2004; CASSANELI et al., 2006) é uma ferramenta bastante utilizada em projetos para a identificação destas variáveis. Outras ferramentas igualmente úteis podem ser os mapas de produto e processo.

Identificar variáveis que permeiam o produto e o processo não é atividade tão complicada, uma vez que depende exclusivamente de conhecimento do produto e do processo em questão, obtido por meio de observação ou experiência empírica. Exercício mais árduo é a identificação das variáveis ou características críticas dentre todas aquelas mapeadas na atividade anterior. Muitas empresas, como discutido no tópico 2.4, falham, ou ao menos elevam muito as chances de fracasso do novo produto, ao definir estas características críticas com base exclusiva em teorias não

necessariamente comprovadas cientificamente. Como resultado, desconhecem completamente a função  $Y=f(x)$  e tomam decisões que permitem uma variação excessiva no atendimento das funções desejadas pelos consumidores, culminando na redução significativa do nível de qualidade do produto. Por isso, é de inextinguível importância que a atividade de identificação dos  $x$ 's críticos de produto e processo seja conduzida com base no método científico de investigação, ou seja, com base em fatos e dados, e não teorias ainda não ratificadas cientificamente.

A descrição, a seguir, das atividades concernentes à Fase 2 do modelo de PDP direcionado à qualidade buscará clarificar de forma detalhada o mecanismo por trás da determinação de  $Y=f(x)$ .

### 3.3.1. Identificar $x$ 's do produto

Antes da atividade primordial desta fase, identificação das características críticas, é prudente identificar todas as características de produto envolvidas na entrega de cada uma das funções desmembradas no modelo funcional do produto. Com este fim, o primeiro passo é relacionar os sistema, subsistemas e componentes (SSC) com as funções do produto que denotam qualidade para o consumidor. A seguir, identificam-se os  $x$ 's dos SSC que afetam positiva ou negativamente, com maior ou menor intensidade, as funções a eles vinculadas. Além disso, identificam-se também as variáveis, ou  $x$ 's, de ruído, fatores sobre os quais o projetista não tem ação, que podem influenciar a função.

Para ilustrar esta atividade, a FIGURA 3.10 apresenta o resultado de um exemplo bastante simples. Seja o produto uma caneta, a sua função principal pode ser definida como: “escrever”. O conhecimento vigente permitiu identificar, vinculados a esta função, os  $x$ 's:

- $x_1$  – geometria da ponta esferográfica;
- $x_2$  – quantidade de tinta;
- $x_3$  – material da ponta esferográfica;
- $x_4$  – umidade da ponta esferográfica;
- $x_5$  – superfície para escrita.

Note que a característica  $x_5$  é um ruído, já que o projetista não possui controle sobre a superfície em que o usuário tentará escrever.

O mesmo procedimento foi seguido para o componente “tampa”.

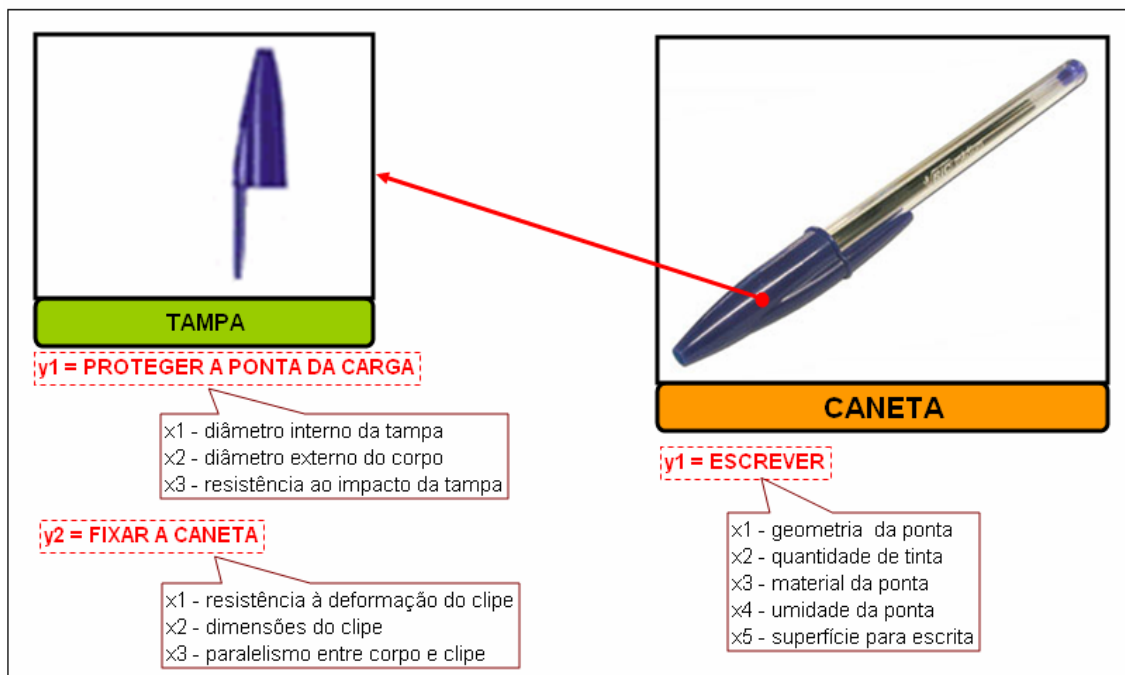


FIGURA 3.10: Exemplo da atividade “Identificar x’s do produto”.

Esta atividade tem como objetivo principal o de identificar variáveis críticas potenciais para serem avaliadas na atividade seguinte. A FIGURA 3.11 representa esquematicamente as tarefas executadas nesta etapa. Ferramentas muito comuns de suporte a identificação dos x’s do produto são o FMEA e o mapa de produto.

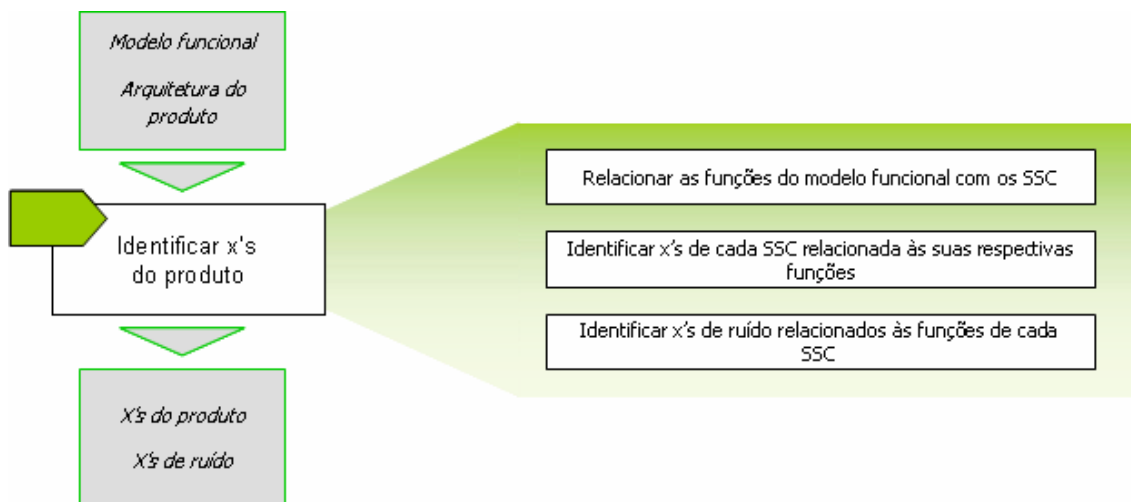


FIGURA 3.11: Tarefas da atividade “Identificar x’s do produto”.

### 3.3.2. Identificar x’s críticos do produto

A segunda atividade desta fase tem o objetivo de fornecer a parcela de  $Y=f(x)$  referente ao produto. Esta parcela é composta pela somatória dos

efeitos de cada uma das variáveis críticas  $x$  sobre uma determinada função do produto. Então, para cada função do produto existirá uma função  $Y=f(x)$  envolvendo um determinado grupo de variáveis críticas. Portanto, é importante ressaltar, um estudo distinto para cada uma das funções do produto que entregam os requisitos dos clientes deverá ser conduzido.

Conforme ilustra a FIGURA 3.12, a atividade se inicia pela priorização dos  $x$ 's identificados na atividade anterior. Em vista de reduzir tempo e recursos físicos e financeiros para conduzir estudos contemplando todas as variáveis  $x$ 's selecionadas, esta tarefa depende fortemente do conhecimento vigente acerca do mecanismo físico por trás das funções do produto para que sejam selecionadas apenas aquelas características com maior probabilidade de serem críticas.

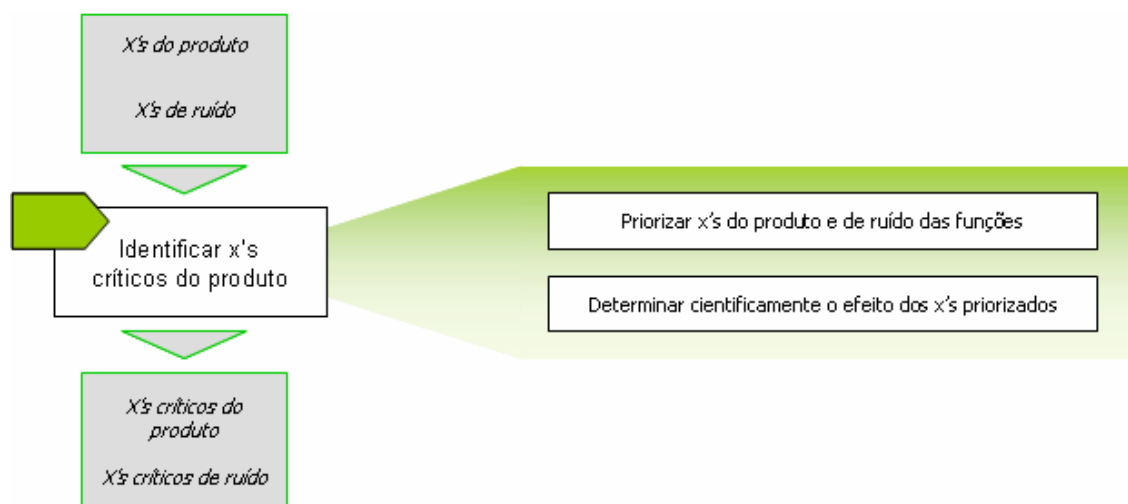


FIGURA 3.12: Tarefas da atividade "Identificar  $x$ 's críticos do produto".

Como é de se esperar, na maior parte das vezes o conhecimento vigente não é suficiente para uma priorização assertiva de variáveis e, conseqüentemente, em algum momento, serão selecionadas características do produto que, ao longo do estudo científico, demonstrar-se-ão não-críticas. Por outro lado, algumas características efetivamente críticas serão, num primeiro momento, postas de lado e excluídas dos estudos iniciais. Assim, fica claro que a tarefa de priorização ou seleção de  $x$ 's a serem estudados possui uma característica iterativa aonde as possibilidades de acerto vão se elevando à medida que mais conhecimento acerca da relação entre função do produto e variáveis de produto e ruído é gerado. Uma forma bastante difundida de priorização de variáveis é usar o NPR desdobrado dos FMEA's de produtos



(ONODERA, 1997; PALADY, 2004; CASSANELI et al., 2006) como critério classificatório: as variáveis vinculadas aos NPR mais elevados devem ser priorizadas.

Os estudos para a determinação dos efeitos das variáveis sobre as funções do produto devem ser conduzidos de acordo com algum método científico de investigação, ou seja, que permita uma decisão baseada em fatos e dados. Recomenda-se fortemente que estes estudos investigativos sejam feitos através de experimentos planejados, que determinarão, com assertividade significativa, os efeitos das variáveis conforme se espera (MOEN et al., 1991). Estes estudos devem ser conduzidos até que se tenha uma função  $Y=f(x)$  tão aproximada à função real que rege o mecanismo físico que entrega cada função do produto quanto se deseje. Neste caso existe um *trade-off* muito claro entre o nível de assertividade e o custo de tempo e recursos, ou seja, quanto mais próximo se espera ter  $Y=f(x)$  da função real, mais tempo e mais recursos serão necessários para executar mais estudos mais aprofundados. Cabe ao time de projeto decidir qual o patamar de assertividade requerido para entregar ao consumidor a qualidade requerida.

### 3.3.3. Desenvolver soluções de manufatura

O principal objetivo dessa atividade é a identificação dos possíveis processos de fabricação dos SSC, identificando também o ferramental envolvido em tais processos (FIGURA 3.13). Ela corre em paralelo à atividade “Desenvolver soluções para o produto”, pertencente à fase anterior do modelo, garantido a otimização do tempo necessário ao desenvolvimento.

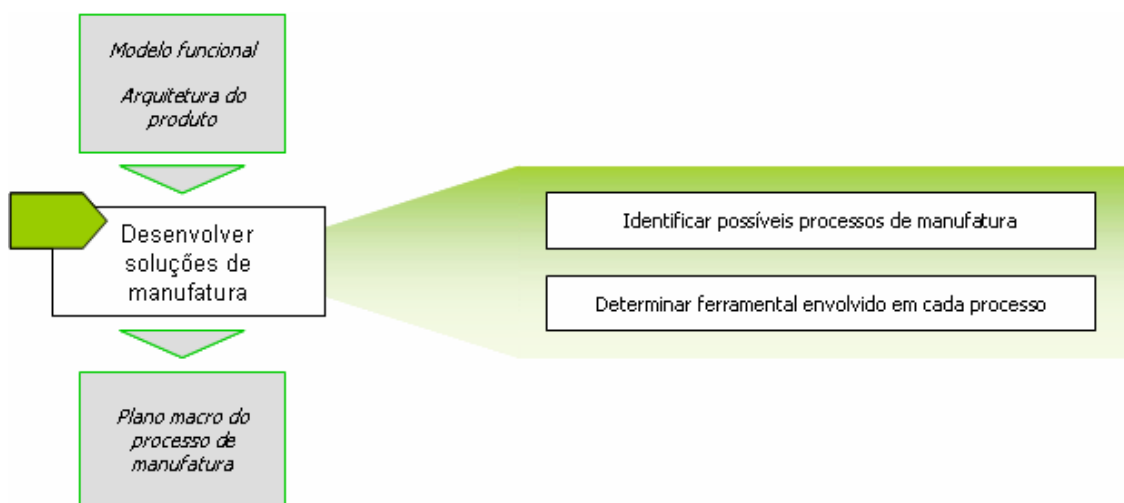


FIGURA 3.13: Tarefas da atividade “Desenvolver soluções de manufatura”.

Existem, normalmente, diferentes métodos de manufatura capazes de produzir um mesmo componente. Diversos fatores devem ser considerados na seleção destes processos, fatores esses como: material, propriedades mecânicas exigidas pela aplicação do componente, tempo e custo de fabricação, peso e forma do componente, e outros. Por isso, novamente, é muito importante que o time de projeto desenvolva alternativas de processos capazes de manufatura com vistas ao vetor Y e, conseqüentemente ao modelo funcional do produto.

A identificação de processos potenciais de fabricação e montagem é de fundamental importância para as atividades seguintes nesta fase, pois permite que interações entre processo e produto sejam estudadas e que a melhor combinação entre eles, no sentido de entregar o vetor Y, seja escolhida.

#### *3.3.4. Identificar x's do processo*

Assim como na atividade 1 desta fase, "Identificar x's do produto", no tocante ao processo é também prudente que se identifique todos as suas variáveis que possam interferir na entrega das características funcionais definidas pelo mapa funcional do produto e desdobradas na arquitetura do produto. Neste caso, a primeira tarefa consiste em relacionar as características esperadas de cada SSC aos seus processos de manufatura potenciais, identificados no plano macro do processo de manufatura provindo da atividade anterior. Na seqüência, identificam-se, para cada etapa do processo, quais as suas principais entregas concernentes àquelas características do SSC previamente relacionadas, e quais as variáveis de processo e ruído que impactam diretamente essas entregas. Este fluxo de tarefas está ilustrado na FIGURA 3.14 abaixo:

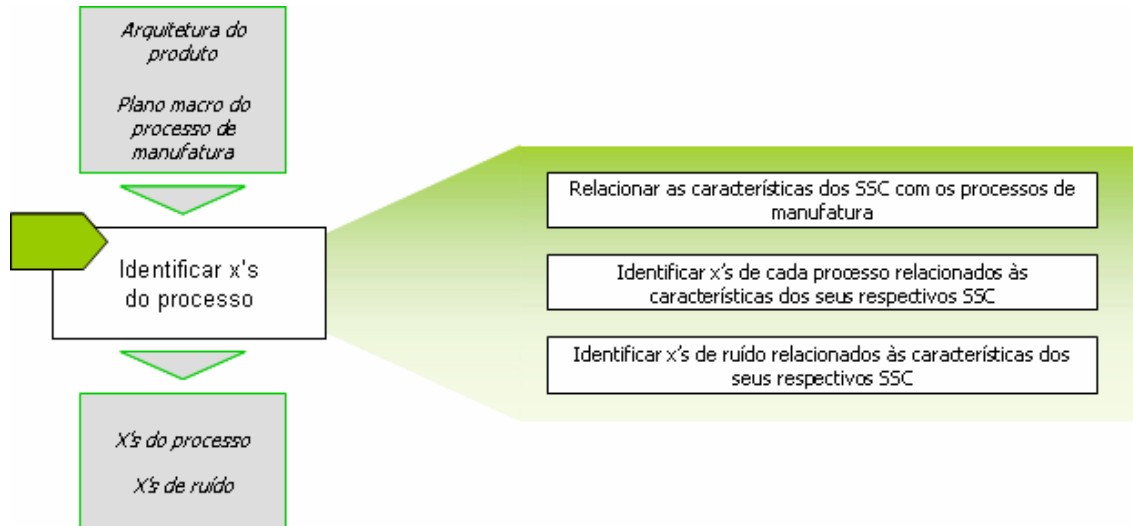


FIGURA 3.14: Tarefas da atividade “Identificar x's do processo”.

Como exemplo ilustrativo (FIGURA 3.15), será tomado o processo manual de furação de um eixo maciço (SANDERS et al., 1999). Características da peça identificadas como atreladas a uma dada função do produto, ou seja, desdobradas do mapa funcional e da arquitetura do produto, são, por exemplo:

- y1: diâmetro do furo
- y2: concentricidade do furo
- y3: conicidade do furo

Se as etapas do processo de furação são: (1) alinhar peça na base da broca, (2) prender peça na base da broca e (3) furar, para que a última etapa entregue os requisitos de qualidade da peça, isto é, os y's 1 a 3 acima, a etapa (2) do processo deve ter como saída a estabilidade e a planicidade adequadas da peça bruta na base, e a etapa (1), o correto posicionamento da peça bruta na base, conforme ilustra a FIGURA 3.15. Pois bem, conhecendo as entregas de cada etapa do processo, é possível determinar, para cada etapa, quais as suas variáveis que interferem nestas características de entrega, sejam variáveis de processo, manipuláveis, ou de ruído, não controladas.

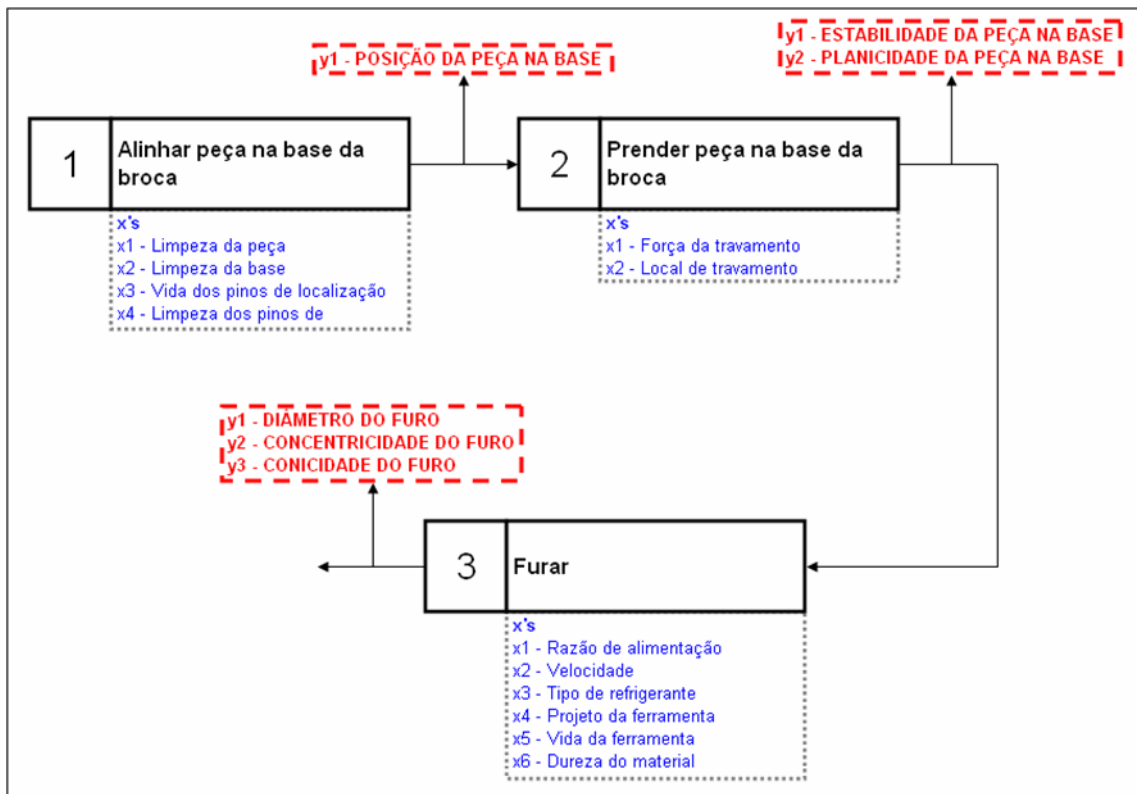


FIGURA 3.15: Exemplo da atividade “Identificar x’s do processo”.

Os x’s relacionados nesta atividade serão avaliados na atividade seguinte com o objetivo de identificar os x’s críticos de processo e de ruído que promovem variação significativa nas funções do produto e, conseqüentemente, na percepção da qualidade pelo consumidor. Ferramentas comuns de suporte a esta atividade são o FMEA de processo e o mapa de processo.

### 3.3.5. Identificar x’s críticos do processo

Esta atividade possui as mesmas características da atividade “Identificar x’s críticos do produto”. Neste caso, um estudo distinto para cada uma das funções de cada SSC que entregam os requisitos dos clientes deverá ser conduzido. Da mesma forma que a atividade apresentada no tópico 3.3.2. desta dissertação, esta atividade se inicia pela priorização dos x’s identificados na atividade anterior, que são, então, submetidos a um processo iterativo de investigação científica, por meio de experimentos planejados (MOEN et al., 1991), por exemplo, até que o conhecimento gerado seja suficiente para determinação das características efetivamente críticas, dentre todas aquelas levantadas na atividade precedente. Novamente, uma forma bastante difundida de priorização de variáveis é usar o NPR desdobrado dos FMEA’s de

processos (ONODERA, 1997; PALADY, 2004; CASSANELI et al., 2006) como critério classificatório: as variáveis vinculadas aos NPR mais elevados devem ser priorizadas.

As tarefas essenciais desta atividade estão representadas graficamente na FIGURA 3.16 a seguir:

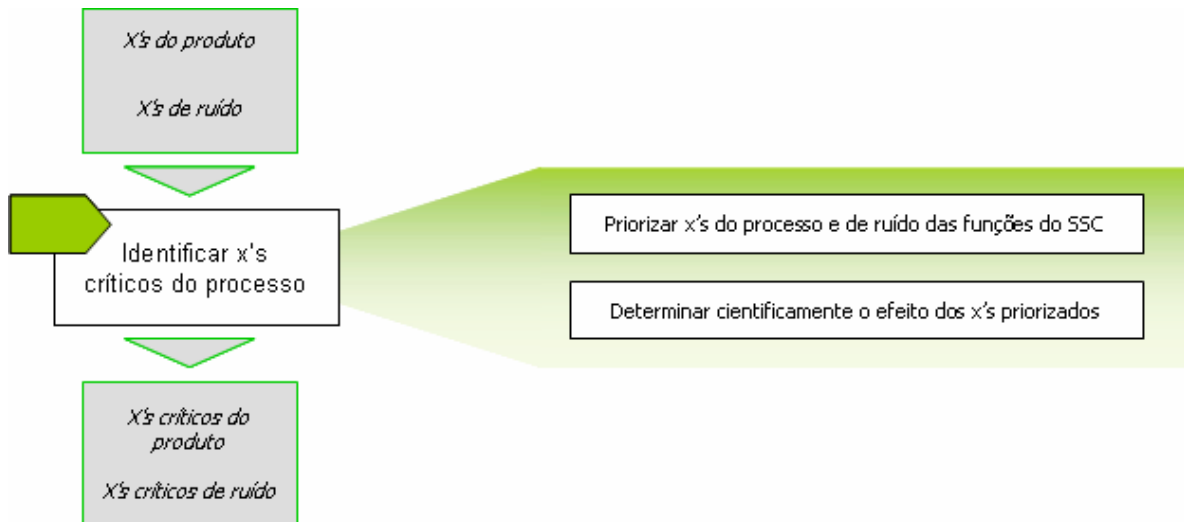


FIGURA 3.16: Tarefas da atividade “Identificar x's críticos do processo”.

### 3.4. Fase 3: Melhorar qualidade

A terceira fase do PDP direcionado à qualidade, Melhorar qualidade, compreende a execução das ações que visam conferir robustez ao produto. Conhecendo as características críticas de produto e processo, além das variáveis de ruído, e as interações entre elas, os projetistas deverão fazer uma série de *trade-offs* entre esses parâmetros, e conseqüentes alterações no produto e nos processos de manufatura com o objetivo de descriticizá-las, ou seja, minimizar ao máximo o seu efeito sobre as funções do produto que conotam qualidade. Estas alterações, ao contrário do que ocorre nos processos tradicionais de desenvolvimento do produto, não devem ocorrer com base no método iterativo de tentativa e erro. Pelo contrário, elas devem ser direcionadas conforme as indicações oferecidas pela função  $Y=f(x)$  desenvolvida na fase anterior, e devem ter efetividade comprovada por meio de experimentos planejados (MOEN et al., 1991). Ao final desta fase, serão entregues os parâmetros e os seus respectivos intervalos de variação permissíveis. A FIGURA 3.17 ilustra esquematicamente as atividades desta fase.

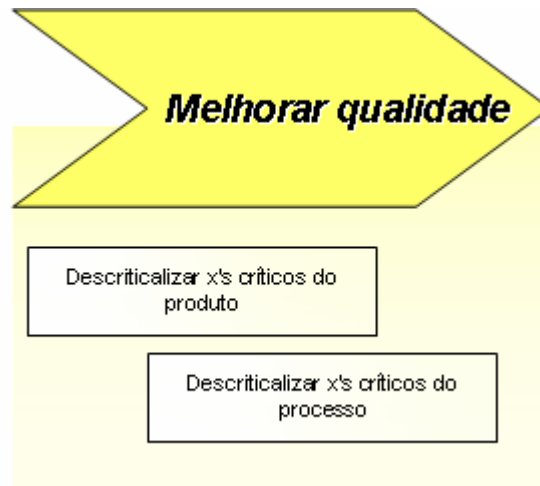


FIGURA 3.17: Fluxo de atividades da fase “Melhorar qualidade”.

#### 3.4.1. *Descriticalizar x's críticos do produto e do processo*

As atividades “Descriticalizar x's críticos do produto” e “Descriticalizar x's críticos do processo” englobam basicamente três tarefas seqüenciais na busca de tornar o produto mais robusto em termos de qualidade (FIGURA 3.18). Em posse da função  $Y=f(x)$  e conhecendo as características críticas do produto, do processo e de ruído, o time de projeto tem a responsabilidade de propor melhorias em ambos a fim de descriticalizar tais características. Estas melhorias devem ser testadas, novamente, com o suporte de métodos de investigação científica, como os experimentos planejados, para, ao fim, diante de respostas satisfatórias, serem efetivamente implantadas. Como resultado, esta seqüência de tarefas permite a definição final dos parâmetros de produto e de processo, extensivamente experimentados, e as tolerâncias permissíveis a estes parâmetros de forma que não cheguem a promover impactos significativos nas funções entregues pelo produto.

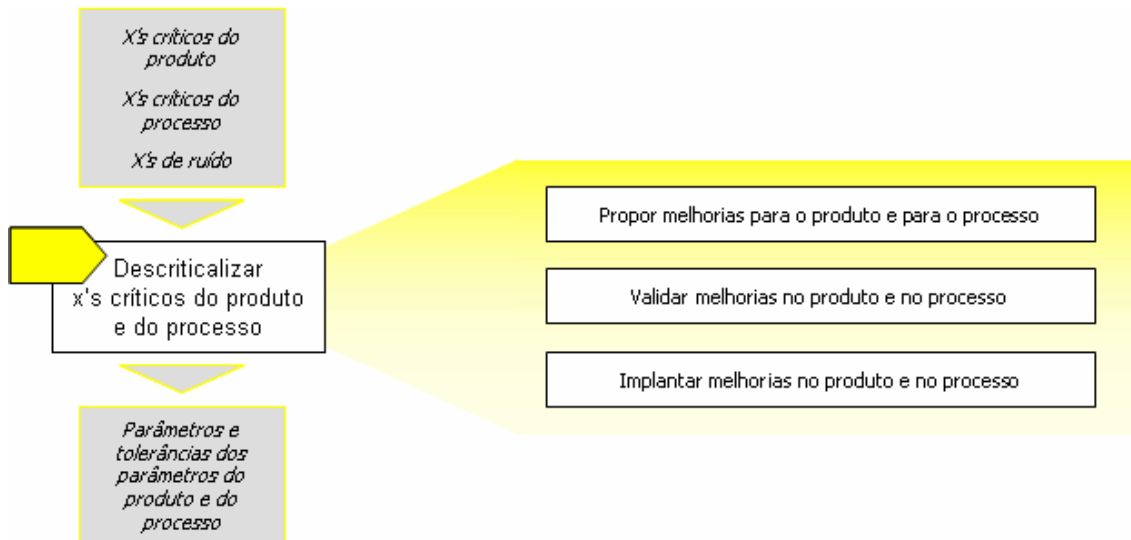


FIGURA 3.18: Tarefas das atividades “Descriticalizar x's críticos do produto” e “Descriticalizar x's críticos do processo”.

### 3.5. Fase 4: Padronizar melhoria

Finalmente, a fase Padronizar melhoria tem a função de padronizar em forma de desenho, planos de inspeção e controle, cartas de controle estatístico de processo, formulários, etc. todo o aprendizado obtido durante a execução do projeto. Toda essa informação é de extrema importância para o monitoramento e estabilidade do processo produtivo do novo produto, além de permitir que melhorias tanto no produto quanto no processo continuem a ser executadas a partir dos padrões estabelecidos, promovendo, assim, um novo padrão, em um patamar mais elevado de qualidade. A principal entrega desta fase é o conjunto de *design guides*, desenvolvido ao longo de todo o processo de desenvolvimento. O intuito destes *design guides* é de resumir em um único documento todo o aprendizado capturado e padronizar este aprendizado para aplicação em projetos futuros.

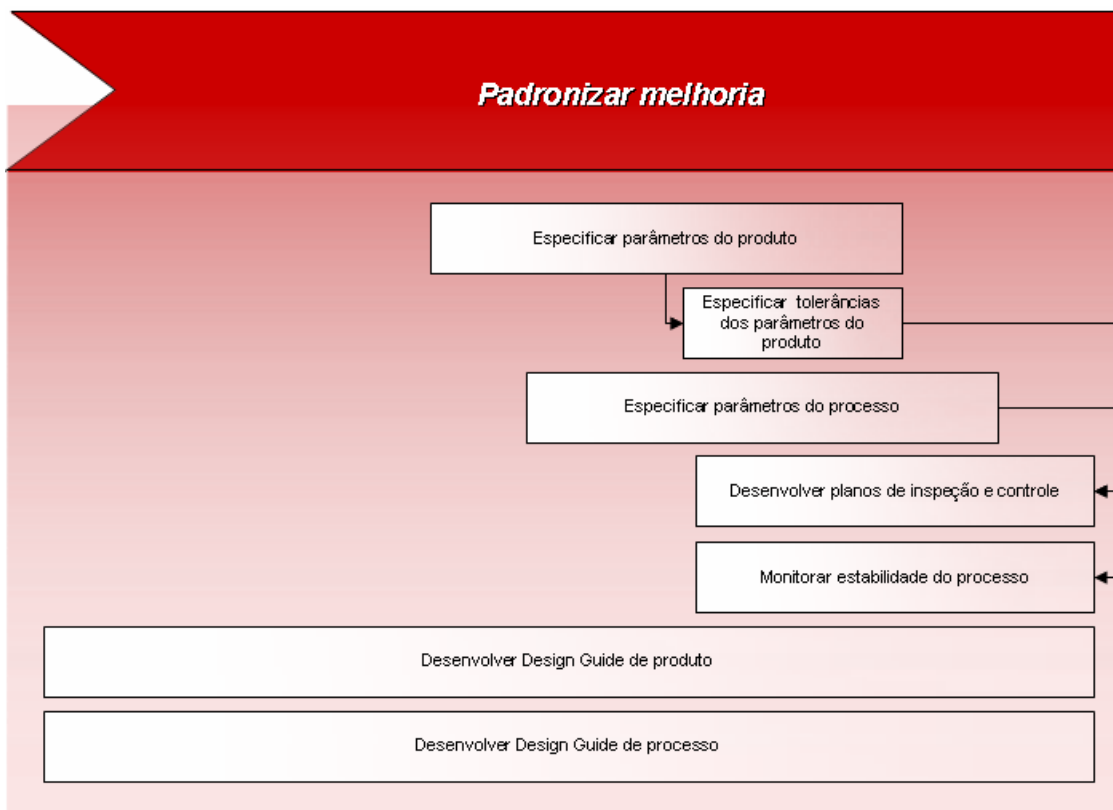


FIGURA 3.19: Fluxo de atividades da fase “Padronizar melhoria”.

Pode-se dizer que esta é a etapa mais longa do PDP direcionado à qualidade, já que boa parte das atividades de padronização sobrepõe-se a outras atividades, tendo início em fases precedentes do modelo. Este fato ressalta uma característica muito importante deste modelo de PDP que é a preocupação com a geração e retenção de conhecimento durante o desenvolvimento. A documentação, ou padronização, do aprendizado é fator altamente significativo para a redução do tempo de desenvolvimento total de um produto até o seu lançamento, pois, a partir de informações prévias, é possível tomar decisões antecipadas sem que elas incorram em riscos para a qualidade do produto.

### 3.5.1. Especificar parâmetros do produto e do processo

As atividades de “Especificar parâmetros do produto” e de “Especificar parâmetros do processo” são consequência direta das atividades de “Descritalizar x’s críticos do produto” e “Descritalizar x’s críticos do processo”, respectivamente. As atividades da fase 3 do modelo têm a função de definir qual o valor dos parâmetros de produto e processo após a implantação das melhorias para garantir a robustez do produto. As atividades



da fase seguinte, por sua vez, objetivam a mera formalização documental destes parâmetros (FIGURA 3.20), geralmente na forma de desenhos e folhas de instrução de trabalho.

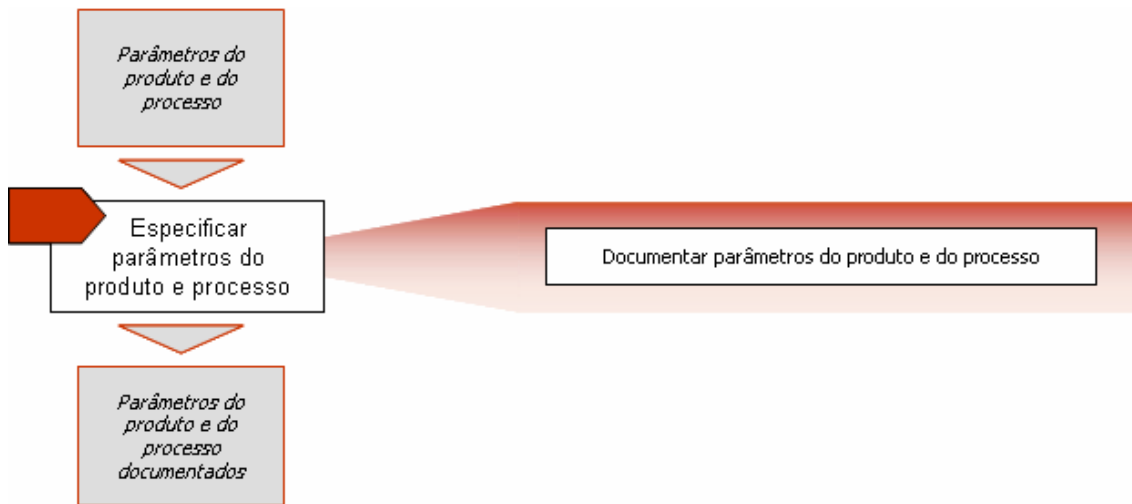


FIGURA 3.20: Tarefas das atividades “Especificar parâmetros do produto” e “Especificar parâmetros do processo”.

### 3.5.2. Especificar tolerâncias dos parâmetros do produto

As tarefas desta atividade estão representadas pela FIGURA 3.21 abaixo. A primeira delas diz respeito à mensuração da variação natural dos processos, e parte do princípio de que a todo processo produtivo está inerente uma determinada variação natural promovida por diversos fatores na grande maioria das vezes alheios a qualquer tipo de controle, como variáveis ambientais, vida dos componentes do processo e fadiga dos operadores. Obviamente, espera-se que os processos produtivos recém-projetados estejam sujeitos a variações mínimas e estáveis após as melhorias efetuadas durante a execução da fase anterior. Porém, ainda assim, é de vital importância que as tolerâncias dos parâmetros do produto sejam desdobradas a partir da variação dos processos de fabricação dos SSC para garantir que os processos sejam capazes de entregar SSC conforme, além de evitar dispêndio financeiro desnecessário com produtos super-especificados.

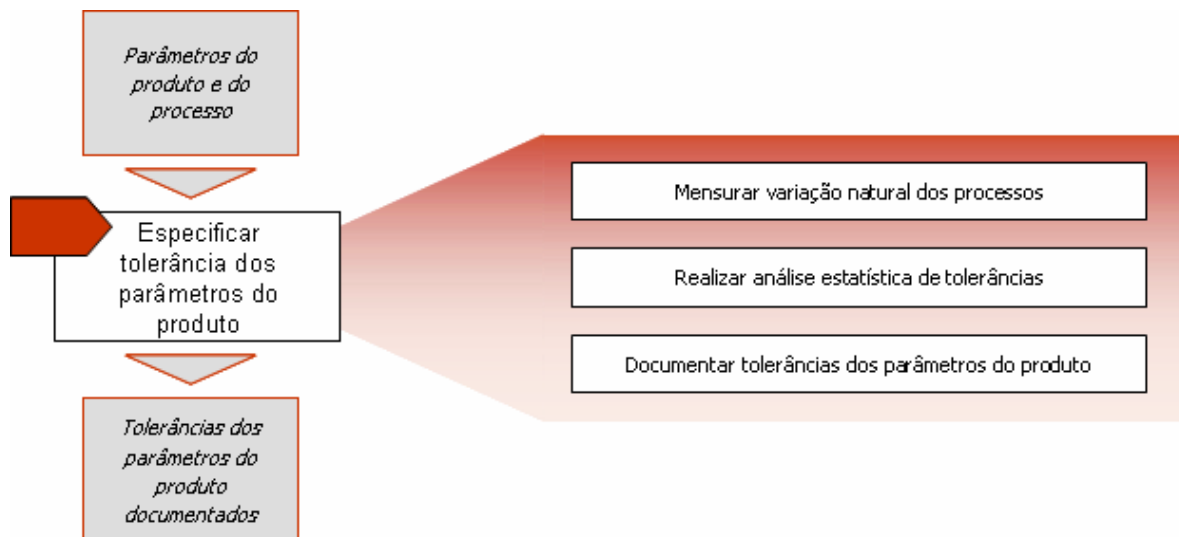


FIGURA 3.21: Tarefas da atividade “Especificar tolerância dos parâmetros do produto”.

A partir do conhecimento acerca da quantidade de variação intrínseca a cada processo de fabricação dos SSC, o time de projeto deve propor tolerâncias para os parâmetros do produto, conforme determinação científica provinda das fases anteriores do modelo (Determinar  $Y=f(x)$  e Melhorar qualidade). Estas tolerâncias devem ser submetidas a uma análise estatística de tolerâncias (MANSOOR, 1963), de onde será possível obter probabilisticamente a variação, ou distribuição normal, do conjunto (sub-montagem ou montagem). Uma vez que esta variação atenda o nível de qualidade exigida para o produto, as tolerâncias devem ser documentadas nos desenhos técnicos dos SSC. Caso contrário, isto significa que o processo não atingiu ainda o estágio esperado de melhoria e deve retornar à fase 3 para novo ciclo de melhoria. Neste ponto, espera-se que as melhorias executadas anteriormente tenham sido já suficientes para entregar um processo robusto e que, portanto, dificilmente surja esta necessidade de retorno à fase 3.

### 3.5.3. Desenvolver planos de inspeção e controle

Durante o regime de produção do novo produto, a companhia deve ter disponíveis mecanismos de capturar eventuais desvios de algum dos parâmetros críticos antecipadamente, antes que o produto defeituoso chegue à casa do cliente. Para que estes eventuais defeitos sejam capturados é preciso que um sistema de inspeção e controle adequado esteja disponível para monitorar as características críticas do produto e do processo. Este sistema compreende os planos de inspeção e controle de toda a cadeia produtiva

vinculada à fabricação do novo produto, desde os fornecedores até o embarque do produto.

A primeira etapa do desenvolvimento destes planos é a definição de métodos de inspeção e controle que sejam capazes de capturar as variações das características críticas ao longo do tempo, durante o processo de manufatura. Estes métodos devem englobar o que será inspecionado/controlado, os instrumentos e a frequência de medição, e quem será responsável pela execução da medição. A seguir, estes métodos devem ser avaliados segundo alguns critérios principais:

1. Estabilidade: o método de medição pode, e deve, ser encarado como um processo e, como todo processo, está sujeito a variação natural do próprio processo. Portanto, para ser estável, os métodos de medição adotados devem ser robustos e não suscetíveis a causas especiais de variação. Por causas especiais entendem-se todas aquelas fontes de variação especiais, não atreladas à variação natural do processo;
2. Discriminação: os sistemas de medição devem ser capazes de diferenciar medidas repetidas numa mesma peça. Partindo do princípio que todo processo está sujeito a variações naturais, o sistema de medição adotado deve ser capaz de capturar estas variações, caso contrário, não possui discriminação suficiente. De maneira geral, este problema pode ser resolvido aumentando-se a resolução do instrumento de medição;
3. Precisão ou repetibilidade: os métodos selecionados devem ser capazes de capturar a variação da característica controlada, de peça para peça.

O MSE (*Measurement Systems Evaluation*), também conhecido como MSA (*Measurement Systems Analysis*) (MSA, 2002), é uma técnica bastante difundida de avaliação do sistema de medição.

Ao fim, os métodos de medição devem ser documentados nos planos de inspeção e controle, conforme ilustra a FIGURA 3.22.

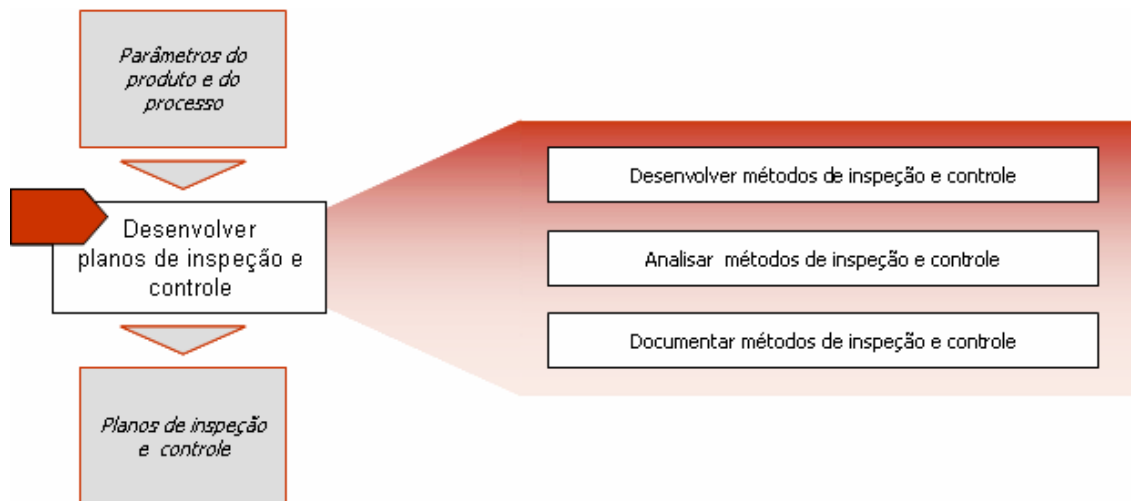


FIGURA 3.22: Tarefas da atividade “Desenvolver planos de inspeção e controle”.

#### 3.5.4. Monitorar estabilidade do processo

O desenvolvimento e implantação de planos de inspeção e controle não são, em si, suficientes para garantir a estabilidade dos processos de manufatura em regime de produção, isto é, não permitem uma ação antecipada da companhia no sentido de impedir a fabricação de produtos defeituosos. Na verdade, os planos de inspeção e controle cumprem um papel muito claro de represar defeitos internamente, impedindo que estes defeitos cheguem até os clientes. Esta é, entretanto, uma ação meramente reativa, que não leva em conta toda a perda de produtividade, recursos e, conseqüentemente, financeira que a geração de defeitos representa. É importante, portanto, que o time de projeto ofereça mecanismos ao setor de manufatura para antever os problemas de qualidade e agir de forma preventiva.

Neste caso, a recomendação é a implantação do controle estatístico de processo (CEP) (WHEELER e CHAMBERS, 1992) nos processos produtivos críticos, aqueles que são responsáveis pela entrega das características críticas identificadas na Fase 2 do PDP. O desdobramento deste conceito no chão-de-fábrica tem início com a identificação dos limites de controle estatísticos do processo, limítrofes estatísticos da variação natural do processo. Ou seja, qualquer valor medido de uma característica crítica que esteja dentro dos limites de controle estatístico é considerado normal, fruto de uma variação natural do processo. Neste caso diz-se que o processo é estável e está sob controle. Por outro lado, um valor capturado além dos limites evidencia que existem outras fontes de variação que não aquelas fontes comuns de variação

natural. Estas fontes são chamadas de causas especiais e são características de processos instáveis e fora de controle estatístico.

É vital notar que os limites de controle estatístico são diferentes e completamente dissociados dos limites de especificação, definidos pelas tolerâncias dos parâmetros estabelecidas em atividade anterior nesta fase. Portanto, pode-se perfeitamente obter um processo sujeito a causas especiais, porém sem ainda produzir produtos defeituosos. Da mesma forma, pode-se ter um processo sob controle que, ao contrário, não seja capaz de produzir 100% de produtos conformes. A FIGURA 3.23 ilustra estas duas situações. Num processo desenvolvido pelo modelo de PDP direcionado à qualidade apresentado nesta dissertação, não se espera que a segunda situação aconteça devido às ações tomadas nas etapas anteriores do processo de desenvolvimento.

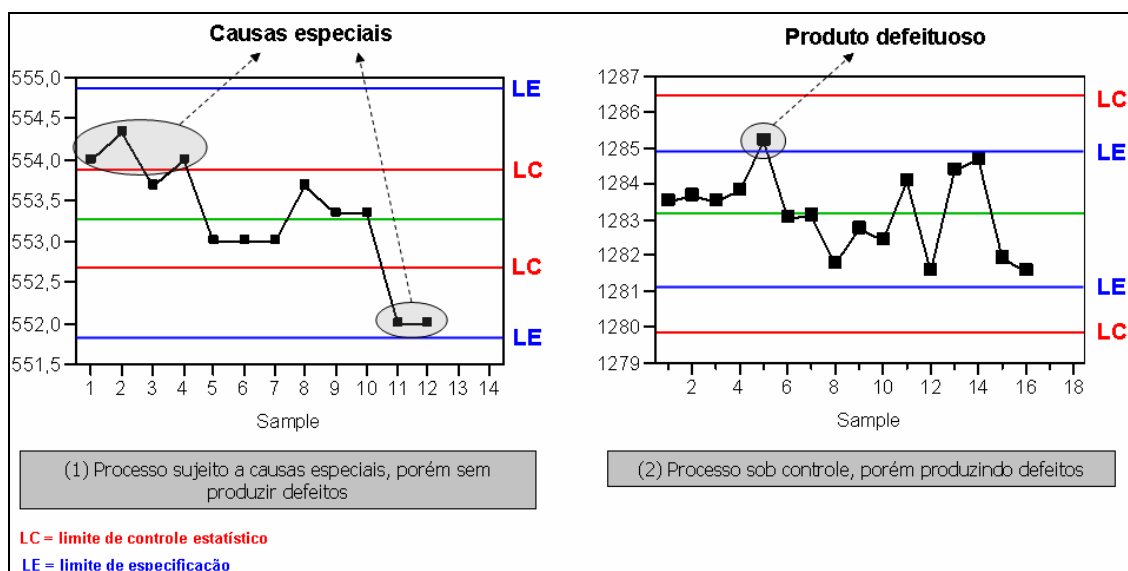


FIGURA 3.23: Exemplos de limites de controle estatístico x limites de especificação.

Os limites de controle estatístico devem ser documentados em cartas de controle afixadas próximo dos seus respectivos processos críticos para que sejam alimentadas a cada nova medida tomada, de acordo com os planos de inspeção e controle. Causas especiais, conforme o exemplo (1) da FIGURA 3.23 acima, devem ser tratadas imediatamente pelo time de suporte à fábrica com o intuito de impedir a fabricação potencial de produtos com defeito. Exemplos de causas especiais vão desde um operador mal treinado até um desgaste de ferramental ou problemas de manutenção com o equipamento.

Esta atividade, representada esquematicamente pela FIGURA 3.24, tem importância fundamental na manutenção do nível de qualidade do produto ao longo de todo o seu ciclo de vida.

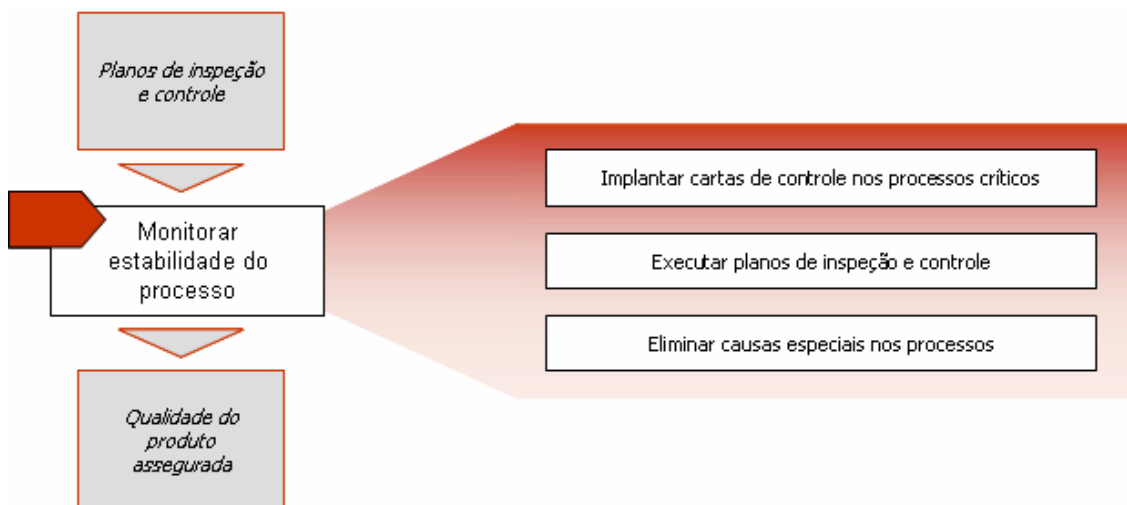


FIGURA 3.24: Tarefas da atividade “Monitorar estabilidade do processo”.

### 3.5.5. Desenvolver design guides de produto e de processo

As duas atividades finais do modelo de PDP direcionado à qualidade, são atividades genéricas, realizadas ao longo de todo o processo de desenvolvimento. O objetivo da criação de *design guides* de produto e de processo é documentar todo o aprendizado relevante gerado durante o projeto, permitindo que este aprendizado seja disseminado e aplicado em outros projetos.

Um *design guide* pode ser compreendido como repositório de informações técnicas relativas a um determinado produto. Ele deve conter, por exemplo, toda a documentação gerada durante o projeto, as decisões, conclusões, resultados de ensaios, etc., além de registrar melhores e piores práticas enxergadas durante o processo de desenvolvimento do novo produto. Mais, um *design guide* deve estabelecer um padrão mínimo e criterioso de execução e características críticas que qualquer novo projeto deverá seguir até que um novo padrão, ainda melhor, seja estabelecido. Isto significa, portanto, que o *design guide* é um documento vivo que deve ser revisitado a cada novo aprendizado absorvido e alterado sempre que houver necessidade.

Estas atividades capturam o bem mais rico desenvolvido durante o projeto: o conhecimento, e acabam tendo papel importantíssimo para a manutenção e melhoria do PDP direcionado à qualidade. À medida que uma

companhia aprende a documentar e compartilhar o seu conhecimento interno com os membros de outras equipes de projeto, a tendência é que a qualidade dos produtos e dos projetos seja elevada a patamares sempre superiores, e que o tempo total de desenvolvimento diminua significativamente. Ainda, elas provêem à organização uma sensação de segurança quanto aos empreendimentos de inovação relevante para que ela se permita lançar em empreitadas mais arriscadas, mas, ao mesmo tempo, mais inovadoras, que podem potencialmente alavancar a posição estratégica da companhia no mercado e ante os seus competidores.

#### 4. VALIDAÇÃO DO MODELO

Seja qual for o tipo de modelo desenvolvido, é importante que ele seja adequado ao propósito para o qual foi criado. A demonstração da adequabilidade de um modelo recebe vários nomes, dentre os quais avaliação e validação são os mais comuns (PIDD, 2000). Este capítulo abordará justamente este tema, ou seja, pretende mostrar que o modelo apresentado no capítulo anterior é adequado aos fins a que foi proposto.

Contudo, segundo Pidd (2000), não é possível demonstrar compreensivamente que um modelo é completamente correto. Para ele, qualquer validação que tivesse esse objetivo seria inválida. Por outro lado, argumenta que, se determinada pesquisa tem intenções de apoiar ações no mundo real, é preciso um esforço para apontar alguma forma de validação, mesmo com o entendimento de que esta pode ser limitada. Diante dessa perspectiva, a validação do modelo ora proposto foi conduzida sob a prerrogativa de encontrar alguma forma de demonstrar que ele é válido, mesmo ante a constatação reconhecida das limitações que esta demonstração inexoravelmente encerra.

Na literatura, as maneiras utilizadas para validar modelos com características similares ao proposto aqui, normalmente recaem em uma das seguintes alternativas:

- Validação por meio de uma avaliação por especialistas;
- Validação por meio da aplicação do modelo em um estudo de caso.

A primeira situação, validação por especialistas, consiste na elaboração de um documento encaminhado para a avaliação de especialistas contendo uma descrição geral e resumida do modelo. Esta avaliação é geralmente realizada por meio de um questionário enviado em anexo a este documento, geralmente constituído de questões com respostas de múltiplas escolhas.

No caso da segunda alternativa, aplicação do modelo em um estudo de caso, o procedimento compreende a escolha de uma empresa representativa do contexto para o qual o modelo foi concebido e um estudo da aplicação prática do modelo neste ambiente.



Para validação deste trabalho, a segunda opção foi escolhida para demonstrar, a partir de um caso real, a capacidade do modelo de encontrar soluções para os problemas do contexto para o qual foi criado.

Esta escolha, entretanto, implica em algumas limitações para o processo de validação, dadas algumas características do modelo. A aplicação do modelo de PDP em um projeto de novo produto não é imediata e consumiria um longo período de tempo não disponível para a execução deste trabalho. Além disso, por tratar-se de um modelo com foco na qualidade de um novo produto, o melhor indicador para mensurar a sua eficácia seria o nível de qualidade entregue por este produto, sob o ponto de vista do consumidor, um determinado tempo após o seu lançamento. Caso o modelo atenda adequadamente os objetivos a que se propõe é de se esperar que este indicador seja superior àqueles de produtos desenvolvidos conforme modelos de PDP tradicionais. Novamente, o tempo exigido para essa mensuração vai além do prazo limite da pesquisa.

Em função disso, optou-se por escolher um ambiente mais restrito de aplicação que permitisse, em poucos meses, o emprego do modelo tão próximo quanto possível de uma situação real mais ampla. Neste sentido, a aplicação do modelo ficou restrita a um subsistema específico, não contemplando a totalidade do produto. Também, buscou-se adaptar o indicador de efetividade do modelo medindo os valores das características críticas do subsistema que denotam qualidade e comparando-os com valores obtidos para o subsistema da plataforma atual, ao invés de obter uma resposta quanto ao nível de qualidade do novo subsistema diretamente do consumidor. Acredita-se que, em ambos os casos, as perdas associadas são mínimas e não influenciarão de forma significativa os resultados e conclusões provindos desta validação.

A seqüência deste capítulo será dedicada à explanação da execução do projeto de um subsistema específico de acordo com as diretrizes propostas pelo modelo de referência de PDP direcionado à qualidade defendido ao longo desta dissertação, e apresentar os resultados obtidos a partir da sua aplicação.

#### **4.1. Descrição do ambiente de aplicação do modelo**

O modelo sob estudo foi aplicado em uma empresa multinacional de grande porte do setor de eletrodomésticos. Por motivo de confidencialidade de informações, o seu nome e outras informações de caráter estratégico serão suprimidos.

Esta empresa tem como uma de suas estratégias competitivas o desenvolvimento de produtos inovadores. Como consequência, o seu processo de desenvolvimento de produtos é bastante avançado, tendo sido construído, com algumas adaptações, de maneira muito similar ao modelo de referência desenvolvido por Rozenfeld et al. (2006) e apresentado no capítulo 2, de levantamento do estado da arte. Uma visão geral do PDP utilizado nesta companhia está representada na FIGURA 4.1 a seguir.

Por outro lado, a concorrência cada vez mais acirrada com seus competidores e a entrada no mercado mundial de companhias que competem em uma ponta por custo e na outra, por qualidade fez com que a empresa-alvo se dispusesse ao desenvolvimento de produtos cada vez mais baratos com níveis cada vez mais elevados de qualidade. Entretanto, esta visão tem ficado comprometida, em especial a parte que concerne à elevação do nível de qualidade, devido às limitações do modelo de PDP atualmente em voga nessa organização.

Por seu caráter genérico, o PDP em uso não aborda de forma específica atividades relativas à construção da qualidade no novo produto. Esta abordagem tendencia o time de projeto a concentrar-se no desenvolvimento técnico e funcional do produto limitando as questões de qualidade a testes em laboratório e no campo e, principalmente, à definição de planos amplos e detalhados de inspeção e controle, envolvendo a compra e o desenvolvimento de dispositivos de controle caros e complexos, que garantam que os defeitos gerados internamente não cheguem até o consumidor. Como consequência, a cada novo desenvolvimento, o número de alterações de engenharia ou desvios de processo após o lançamento do produto assume proporções bastante elevadas, incorrendo em custos extras e no provável insucesso do produto no mercado dado o elevado índice de reclamação de campo. Todo este cenário motivou a empresa-alvo a dispor-se à aplicação do modelo de referência

proposto neste trabalho no desenvolvimento de um de seus produtos como forma de validação deste modelo.

A FIGURA 4.1 mostra que o modelo de referência do PDP desta empresa está dividido em quatro fases distintas, quais sejam:

1. *Fuzzy front end* – compreende basicamente o desenvolvimento de novas tecnologias e estudos de sua aplicabilidade em novos produtos;
2. Concepção – envolve alinhar os benefícios ao consumidor às oportunidades de negócio, avaliar as opções de conceitos de produto, e refinar o conceito escolhido e congelar os requisitos do produto (estéticos e funcionais);
3. Conversão – desenvolvimento e projeto do produto e dos processos, alinhamento inicial sobre a estratégia de lançamento mercadológico e fechamento do estudo econômico que irá disparar a liberação do capital necessário para a execução do projeto propriamente dito, na fase seguinte;
4. Execução – quando a confecção do ferramental, compra de maquinário, adaptação física da fábrica, etc., são realizados. Compreende a confirmação da prontidão para o lançamento comercial, a execução da produção piloto, o início do regime de produção, o lançamento e acompanhamento do desempenho do produto no mercado e internamente.

Este PDP também se utiliza do conceito *stage-gate* (COOPER et al., 2002), de modo que a passagem entre as fases do projeto é feita pelos *tollgates* IST (*Idea Screening Tollgate*), CET (*Concept Evaluation Tollgate*), BET (*Business Evaluation Tollgate*) e PAT (*Post Audit Tollgate*). Além destes, outros eventos importantes que ocorrem durante o cumprimento das atividades de cada fase são: CSM (*Concept Selection Milestone*), DRM (*Drawing Release Milestone*), MLM (*Market Launch Milestone*), TLM (*Transition Launch Milestone*) e PRM (*Product Release Milestone*). Todos estes eventos, *tollgates* e *milestones*, são conduzidos pela alta direção da organização e têm poder de decidir a interrupção momentânea, o cancelamento, ou o prosseguimento do projeto.

A aplicação do modelo de PDP direcionado à qualidade nesta empresa, deu-se a partir da incorporação das suas atividades no PDP mais amplo mostrado na FIGURA 4.1. De fato, não existe regra sobre como proceder esta incorporação uma vez que o intuito do modelo desenvolvido neste trabalho é ser flexível o suficiente para ser passível de adaptação em qualquer modelo de

PDP mais amplo, salvo limitações já apresentadas, caracterizando-o, desta forma, como um modelo de referência em si. Assim, esta etapa depende do bom senso e do entendimento do time de projeto quanto às afinidades entre as atividades propostas pelo PDP direcionado à qualidade e as fases e suas respectivas atividades do PDP genérico. O resultado final desta etapa de adaptação encontra-se disposto na FIGURA 4.2.

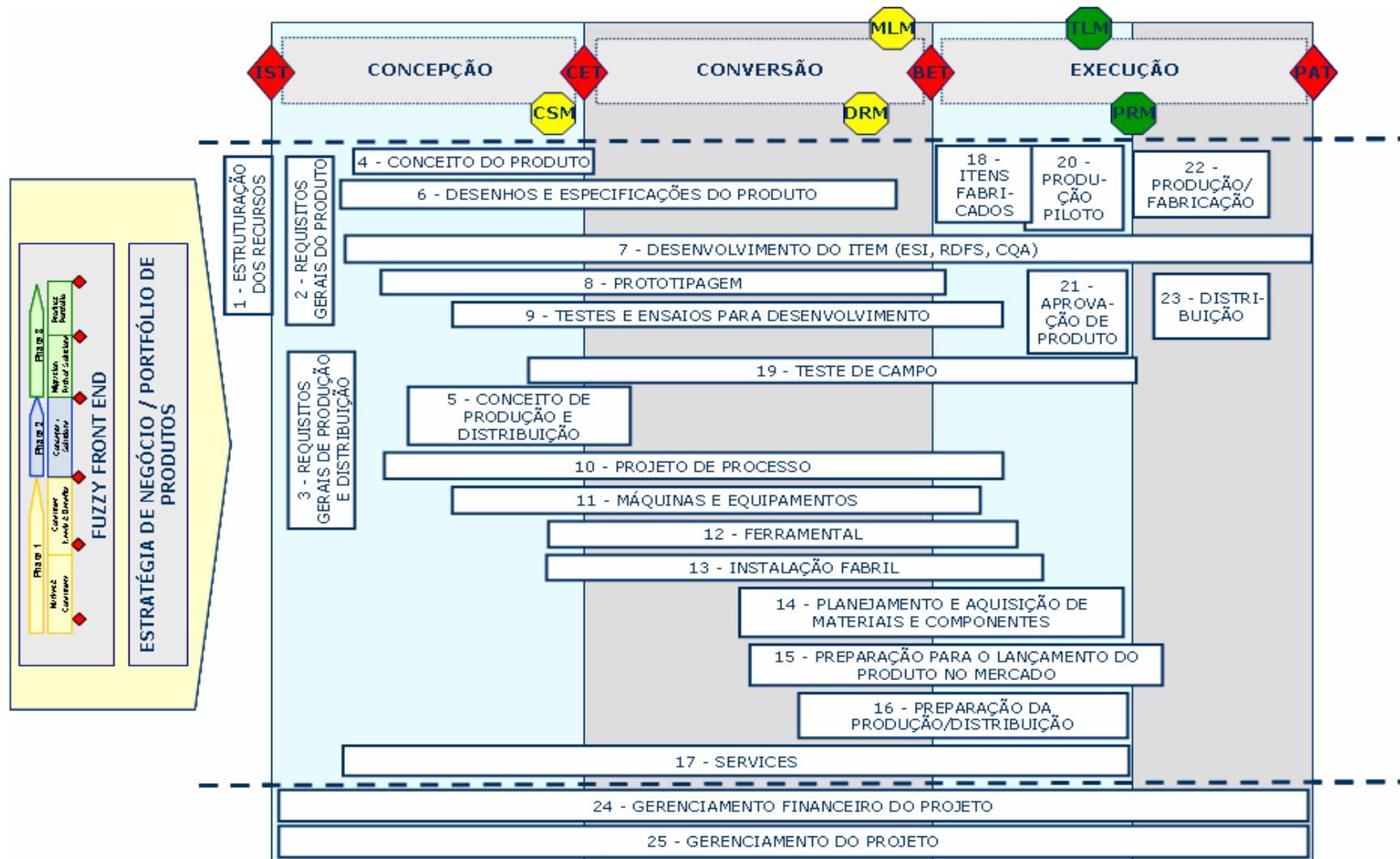


FIGURA 4.1: Visão geral do modelo de referência do PDP utilizado no ambiente de validação.

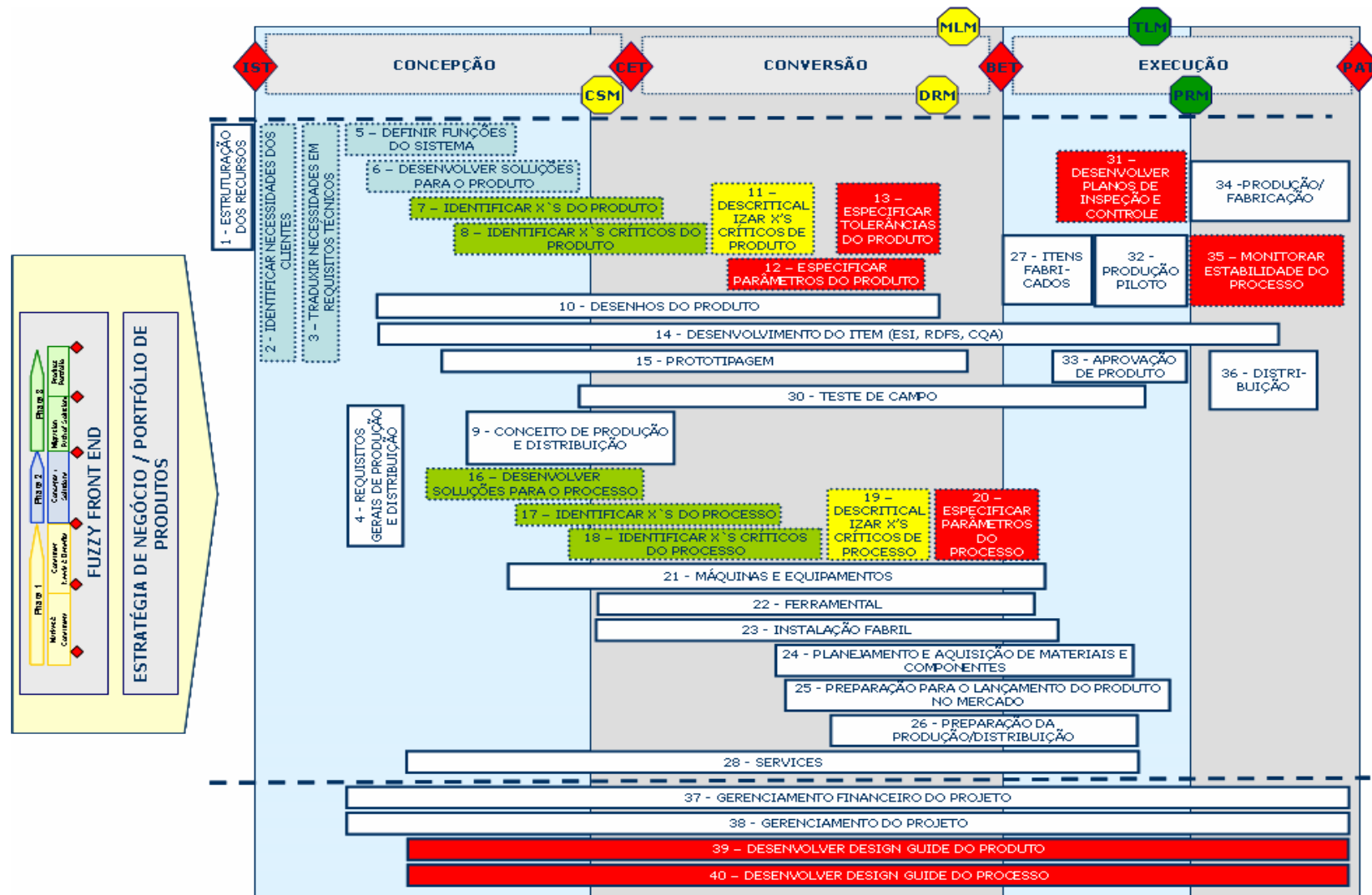


FIGURA 4.2: Visão geral do PDP genérico adaptado a partir do modelo de PDP direcionado à qualidade.

No modelo adaptado, as adaptações não se restringiram à distribuição das atividades do modelo de PDP direcionado à qualidade ao longo das fases do modelo de PDP original. Algumas das atividades listadas no modelo original foram substituídas ou alteradas, conforme apresentado pela TABELA 4.1.

TABELA 4.1 – Substituição e alteração das atividades do modelo de PDP original.

ATIVIDADE ORIGINAL	ATIVIDADE DO MODELO ADAPTADO
2 – Requisitos gerais do produto	2 – Identificar necessidades dos clientes
	3 – Traduzir necessidades em requisitos técnicos
4 – Conceito do produto	5 – Definir funções do sistema
	6 – Desenvolver soluções para o produto
6 – Desenhos e especificações do produto	10 – Desenhos do produto
	12 – Especificar parâmetros do produto
	13 – Especificar tolerâncias dos parâmetros do produto
9 – Testes e ensaios para o desenvolvimento	7 – Identificar x's do produto
	8 – Identificar x's críticos do produto
	11 – Descriticalizar x's críticos do produto
10 – Projeto do processo	16 – Desenvolver soluções para o processo
	17 – Identificar x's do processo
	18 – Identificar x's críticos do processo
	19 – Descriticalizar x's críticos do processo
	20 – Especificar parâmetros do processo

Os tópicos a seguir, limitar-se-ão a discorrer sobre a execução das atividades do modelo de PDP direcionado à qualidade no modelo adaptado, foco desta validação. As demais atividades foram executadas normalmente, porém, ficaram alheias aos resultados coletados neste trabalho.

## 4.2. Fase 1: Identificar vetor Y

Esta fase do modelo de PDP direcionado à qualidade, de acordo com o que foi visto anteriormente, engloba as seguintes atividades: “Identificar necessidades dos clientes”, “Traduzir necessidades em requisitos técnicos”, “Definir funções do sistema” e “Desenvolver soluções para o produto”. No modelo adaptado, todas as quatro atividades estão alocadas na fase de Concepção em cor azul.

### 4.2.1. Identificar necessidades dos clientes

O modelo adaptado foi aplicado no desenvolvimento de um novo produto inovador da empresa sob estudo. Porém, como já discutido, devido a limitações de tempo, a sua aplicação ficou restrita ao projeto de um dos diversos subsistemas deste novo produto. O subsistema escolhido, a que chamaremos de subsistema A, já é integrante do sistema de plataformas similares, o que permitiu que as necessidades dos clientes fossem capturadas por dois mecanismos distintos:

- Pesquisa de mercado realizada com seis mini-grupos de até oito pessoas, em duas cidades do Brasil, executada pelo time de marketing;
- Análise dos dados de qualidade de campo de plataformas similares.

Como resultado, a TABELA 4.2 relaciona as principais necessidades dos clientes levantadas, já tratadas de forma a permitirem um desdobramento nos requisitos técnicos do subsistema. Vale notar que a pesquisa não foi realizada exclusivamente para o subsistema em questão, mas para todo o produto em desenvolvimento. Portanto, as necessidades apontadas a seguir foram capturadas do rol de necessidades mais amplo gerado por essa pesquisa. O requisito 2, por exemplo, já é um desdobramento das necessidades dos clientes para com o produto final. Os requisitos 5 e 6 foram adicionados levando-se em consideração as necessidades dos clientes internos da companhia: linha de montagem e setor de serviço.



TABELA 4.2 – Principais necessidades dos clientes identificadas

ITEM	NECESSIDADE IDENTIFICADA
1	Apresentar tempo de vida útil mais elevado que seus pares atuais
2	Evitar infiltrações danosas ao desempenho funcional do produto (vedação)
3	Facilidade de limpeza
4	Apresentar boa fixação, firmeza, não soltar facilmente
5	Facilidade de montagem
6	Facilidade de troca

#### 4.2.2. Traduzir necessidades em requisitos técnicos

De posse das necessidades dos clientes, o próximo passo é desdobrá-las em requisitos técnicos do subsistema. Para tanto, um grupo técnico multifuncional foi reunido com o objetivo de desenvolver a matriz da Casa da Qualidade segundo a técnica QFD (FIGURA 4.3).

Na coluna mais à esquerda encontram-se listadas as necessidades identificadas na atividade anterior. Na linha superior, estão relacionados os requisitos técnicos de produto desdobrados das necessidades. Nos campos internos à matriz, que representam todos os binários necessidade-requisito técnico possíveis, foi pontuada a influência que um dado requisito técnico tem sobre uma necessidade como forte, moderada, fraca ou nenhuma. Na matriz que representa o telhado da Casa da Qualidade foram correlacionados os requisitos técnicos de produto de acordo com a classificação: positiva forte, positiva, negativa, negativa forte. A última linha do QFD registra as especificações-meta atribuídas a cada um dos requisitos técnicos de produto.

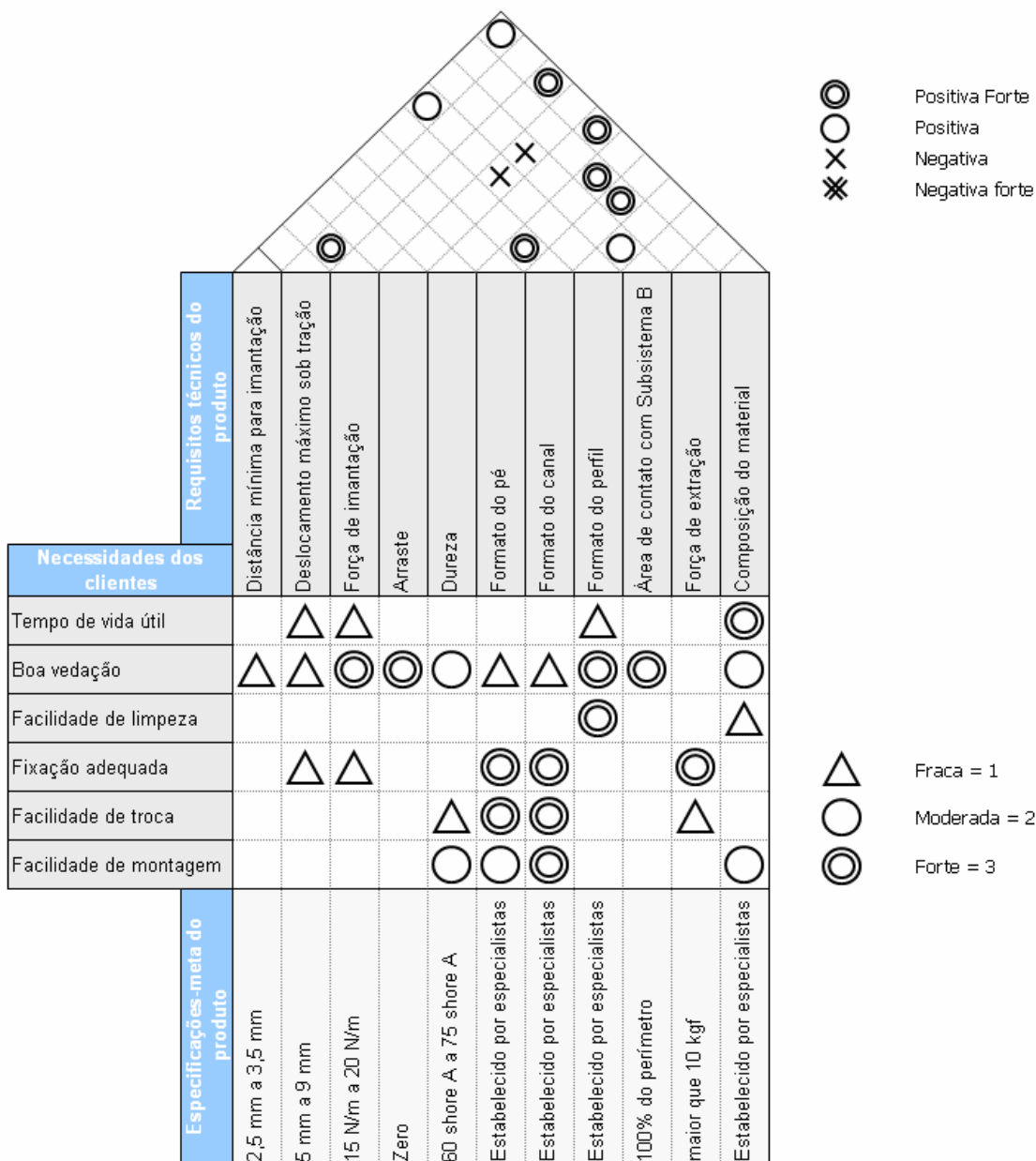


FIGURA 4.3 – Matriz QFD para o subsistema A: Casa da Qualidade.

### 4.2.3. Definir funções do sistema

A seguir, o time de projeto, a partir das especificações-meta, desenvolveu o modelo funcional do produto (FIGURA 4.4). Para tanto, o método FAST foi empregado no sentido de, a partir das funções advindas da matriz do QFD, desdobrar a função global do subsistema e as suas demais funções até o nível menos complexo necessário, de acordo com o bom senso do próprio time de desenvolvimento.

A função global identificada foi “vedar”, desdobrada nas funções imediatamente menos complexas “isolar mecanicamente”, “isolar termicamente”,

“facilitar limpeza”, “facilitar montagem”, “facilitar troca”. Estas três últimas foram inseridas no mapa diretamente das necessidades dos clientes, e não possuem desdobramentos em funções de menor complexidade por já possuírem, de acordo com a opinião técnica do time de projeto, complexidade reduzida o suficiente para permitir o desenvolvimento do conceito do subsistema.

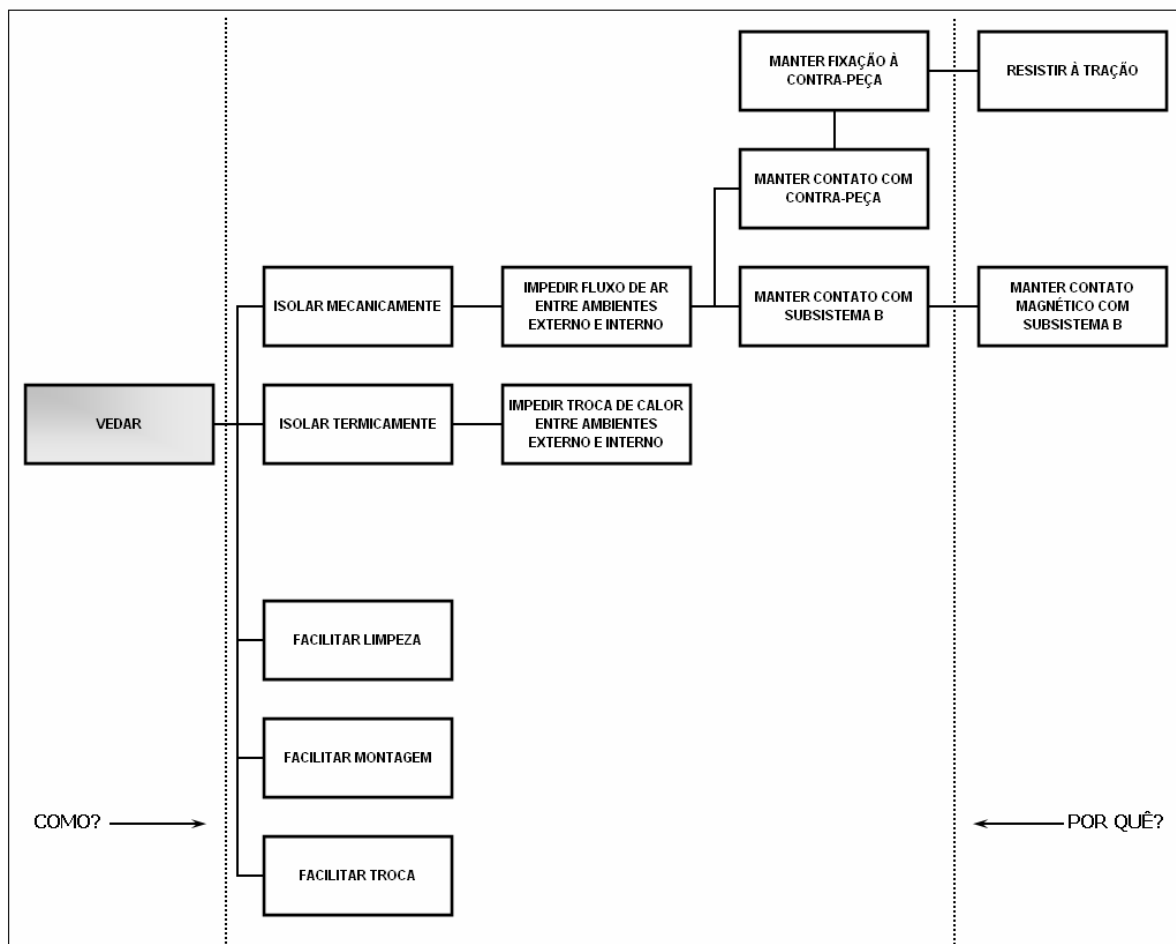


FIGURA 4.4 – Mapa funcional do Subsistema A.

#### 4.2.4. Desenvolver soluções para o produto

O desenvolvimento conceitual do subsistema aconteceu à seqüência do seu mapeamento funcional e foi norteado, basicamente, por *benchmarking* de duas naturezas distintas:

- Produtos da concorrência;
- Produtos desenvolvidos pelos pares globais da empresa onde o modelo foi aplicado.

No primeiro caso, uma série de produtos foi analisada de acordo com critérios estéticos e funcionais, englobando análises de desempenho e mecânicas. No

segundo, toda informação e aprendizado disponível acerca do subsistema em questão foram compartilhados entre os diversos centros de desenvolvimento tecnológico dessa organização, havendo, em alguns casos, o envio de amostras físicas para serem submetidas a testes localmente.

De posse de toda essa informação, a equipe de projeto desenvolveu um conceito, suprimido por razões de confidencialidade, capaz de atender todas as principais necessidades dos clientes levantadas nas etapas anteriores. A seguir, como será explicitado nos tópicos posteriores, teve lugar o processo de detalhamento do subsistema, à busca de definir valores aos seus parâmetros e tolerâncias que proovessem a ele a robustez necessária para atender os requisitos de qualidade impostos.

#### **4.3. Fase 2: Determinar $Y=f(x)$**

A segunda fase do modelo de PDP direcionado à qualidade envolve as seguintes atividades:

- Identificar  $x$ 's do produto;
- Identificar  $x$ 's críticos do produto;
- Desenvolver soluções para o processo;
- Identificar  $x$ 's do processo;
- Identificar  $x$ 's críticos do processo.

A partir do início da execução destas atividades, em cor verde no modelo de PDP adaptado (FIGURA 4.2), tem início a fase de Conversão do modelo adaptado.

Assim como ficará evidente durante a descrição da execução das atividades desta fase, o modelo de PDP direcionado à qualidade, diversamente aos modelos de PDP tradicionais, mostrou-se capaz de associar de forma harmoniosa a experiência empírica dos projetistas com a experimentação científica. De modo geral, em PDP tradicionais, as decisões relativas às questões de qualidade são tomadas tardiamente no curso no desenvolvimento e com base exclusiva na experiência empírica do time de projeto, conforme discussão do capítulo 2. O modelo de referência ora apresentado, dada a sua estrutura de atividades e às suas relações de dependência, consegue capturar teorias advindas do empirismo, por meio das experiências pessoais dos projetistas, e executar experimentos planejados para comprovar ou rejeitar com fatos e dados as teorias vigentes durante as etapas iniciais e intermediárias do desenvolvimento.

Esta característica garante maior qualidade das informações geradas para suportar o processo decisório a cada novo *gate*, permitindo que as decisões sejam tomadas com maior segurança, além de antecipar sobremaneira as decisões relativas à qualidade. Estas últimas, em PDP usuais vêm à tona, em geral, após as falhas ocorridas durante as fases de teste do produto em desenvolvimento. No caso desta aplicação prática, muitas decisões relativas à qualidade do produto puderam ser tomadas ainda na fase de Concepção do modelo adaptado (FIGURA 4.2).

#### 4.3.1. Identificar x's do produto

A identificação dos x's do produto neste projeto, seguindo a sugestão do modelo de PDP direcionado à qualidade, foi feita através das ferramentas FMEA e mapa de produto, ambas, de certa forma, interrelacionadas.

A confecção do FMEA foi conduzida por um time de especialistas que, a partir do mapa funcional do subsistema, listou, num primeiro momento, todos os potenciais modos de falha relacionados a cada uma das funções exibidas no mapa. O próximo passo foi, para cada modo de falha identificado, definir seus efeitos, causas e métodos atuais de prevenção e detecção, pontuando quanto a severidade, grau de ocorrência e possibilidade de detecção interna, na fábrica. O critério de pontuação para cada fator severidade, ocorrência e detecção pode ser visualizado no ANEXO A. Da multiplicação destes fatores pontuados vem o NPR, ou número de prioridade de risco, que ajudou a priorizar os fatores (x) a serem investigados posteriormente.

Para ilustrar como o FMEA suporta a identificação dos x's do produto, a TABELA 4.3 evidencia uma linha do FMEA construído para o subsistema A.

TABELA 4.3 – Exemplo de FMEA como ferramenta de suporte à identificação dos x's de produto.

Component/ System/ Process/ Operations/ Index	Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	Occurrence	Current Design/ Process Control PREVENTION	Current Design/ Process Control DETECTION	Detection	NPR
Subsistema A	Impedir o fluxo de ar entre o ambiente externo e interno do produto	Não mantém contato suficiente com o subsistema B	Baixa força de imantação	7	Dimensão do imã menor que o especificado (seção de ??mm X ??mm)	5	Inspeção amostral no fornecedor	Teste de imantação pela norma NTB02018, sob demanda	8	280

Para que o subsistema A exerça a função prevista no seu mapa funcional de impedir o fluxo de ar entre os ambientes externo e interno do produto, a força de imantação é uma característica importante (identificada na Casa da Qualidade da

Fase 1). Assim, é preciso identificar quais as características, ou parâmetros, críticos do subsistema A, ou de seus componentes, que podem levar a uma baixa força de imantação. Neste caso específico, o time de especialistas apontou as dimensões do componente “ímã” do subsistema A como uma destas características críticas. Todavia, esta constatação tem base exclusiva na experiência empírica dos especialistas e, portanto, deve ser comprovada cientificamente. Dessa forma, a variável  $x$  “dimensões da seção do ímã” será um fator a ser testado na atividade seguinte do modelo. Se a teoria for comprovada, ou seja, este  $x$  é efetivamente crítico, o time de projeto deverá, inicialmente, trabalhar para melhorar a qualidade do produto tornando-o robusto às variações de dimensão da seção do ímã e, conseqüentemente, descriticalizar esta característica. Caso contrário, se este  $x$  não é crítico, qual deve ser a sua dimensão mínima para, por exemplo, reduzir seu custo agregado sem interferir no nível de qualidade do produto?

Neste ponto é importante observar que o modelo de PDP direcionado à qualidade demonstrou grande capacidade de mudança cultural dos integrantes do time de projeto. As relações de dependência existentes no modelo, e explicitadas no tópico 3.1, e as entregas esperadas de cada uma de suas fases fizeram com que todo o grupo executasse cada atividade com foco primordial na geração de informação que alimente o processo de tomada de decisão a cada novo *stage-gate*. Diferentemente, os *check lists* de modelos de PDP tradicionais, aplicados nos *stage-gates* como guia de avaliação do projeto pela alta direção, estão centralizados em verificações do tipo “sim ou não”, por sugerirem exclusivamente o questionamento relativo à realização ou não daquele determinado item, como a confecção de um FMEA de produto, por exemplo. Este *modus operandis* comum nos PDP tradicionais incentiva os times de projeto a focarem fundamentalmente a confecção do documento ou a execução completa da atividade em si, e não no conteúdo por eles gerados.

A outra ferramenta utilizada nesta etapa do projeto, o mapa de produto, igualmente suportou o levantamento dos  $x$ 's do produto, indicando alguns potenciais  $x$ 's críticos com base na experiência dos projetistas. O seu desenvolvimento seguiu o mesmo procedimento descrito no tópico 3.3.1 do capítulo 3. De modo geral, o subsistema foi desdobrado nos componentes que o integram e, para cada um deles, uma tabela contendo as funções específicas de cada componente (em cor azul) e os fatores que, por teoria e experiência dos projetistas, impactam positiva ou

negativamente no atendimento destas funções pelo componente (em cor vermelha) foi desenvolvida. A FIGURA 4.5 mostra esquematicamente este mapa, já que seu conteúdo é confidencial e de pouco valor para a validação a que este capítulo se propõe.

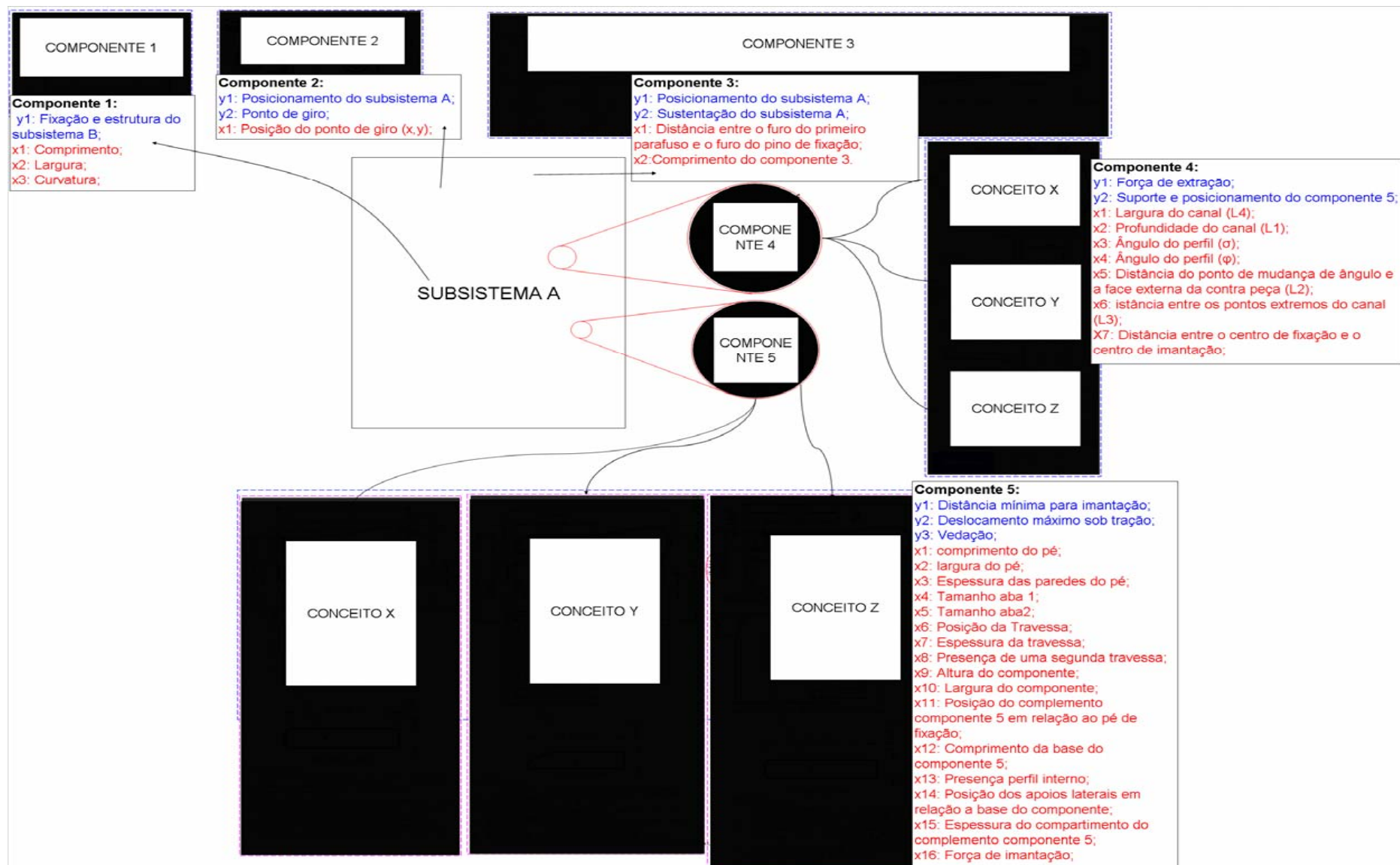


FIGURA 4.5 – Mapa de produto do Subsistema A.



#### *4.3.2. Identificar x's críticos do produto*

Para o estudo de identificação dos x's críticos do produto foram realizados uma série de experimentos planejados com o intuito de testar as variáveis identificadas como potencialmente críticas na atividade anterior e, eventualmente, comprovar a sua criticidade.

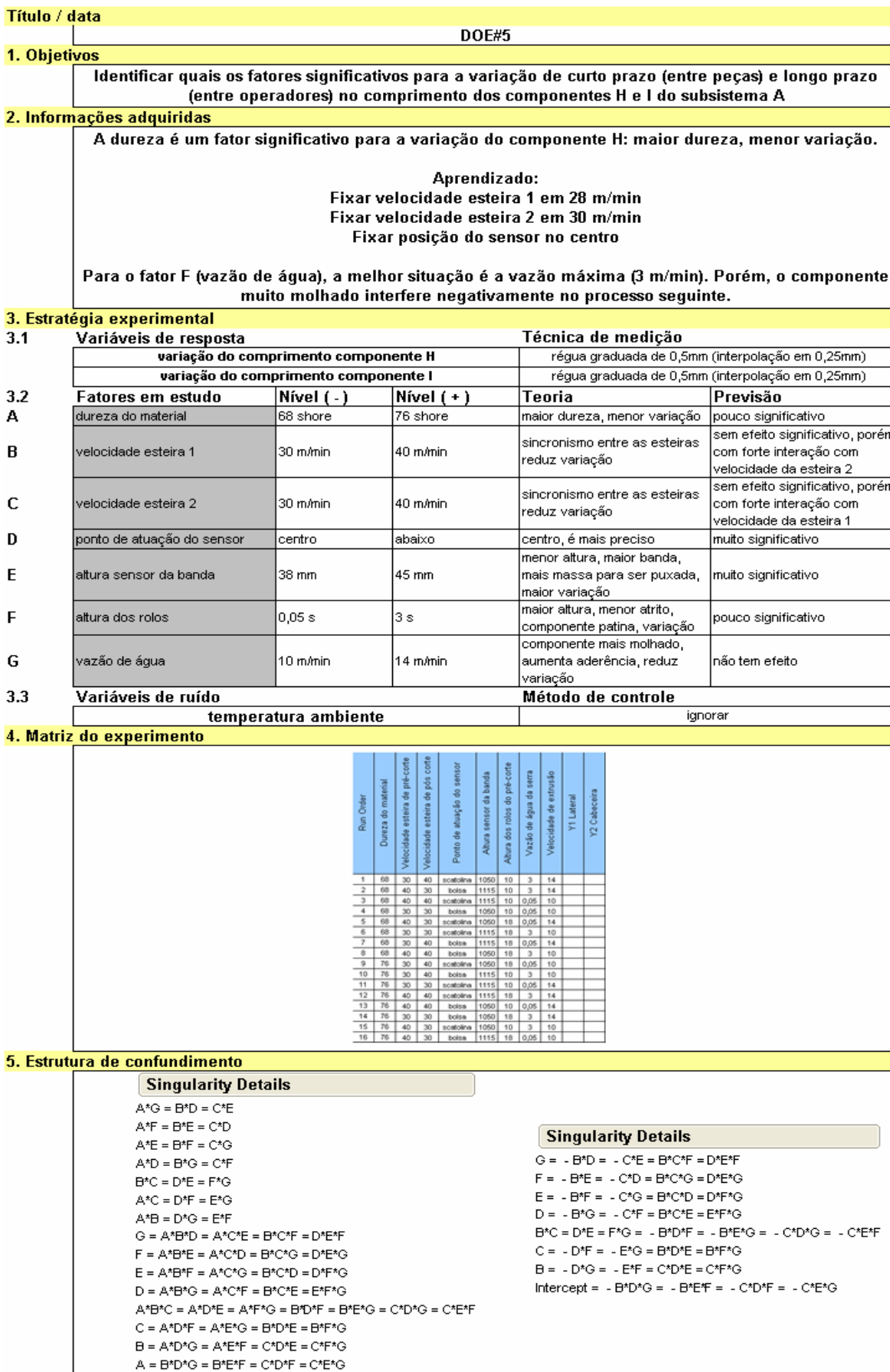


FIGURA 4.6 – Ficha padronizada de planejamento de experimentos.

A cada experimento um planejamento prévio foi executado e documentado em uma ficha padronizada de planejamento (FIGURA 4.6). Esta ficha contém informações relativas ao objetivo do experimento, quais os fatores a serem testados, qual o comportamento esperado para estes fatores segundo a teoria corrente, quais as variáveis de ruído envolvidas no experimento e qual o mecanismo adotado de controle destas variáveis, qual a matriz do experimento, ou seja, quais as combinações de fatores a serem testadas, qual o custo envolvido e qual a estrutura de confundimento do experimento (MOEN, 1991). O preenchimento desta ficha tem dois benefícios principais, quais sejam:

- Documentar o experimento, teorias e fatores envolvidos, permitindo análise posterior de qualquer membro de qualquer outro time de projeto;
- Confrontar teorias vigentes com o resultado do experimento. Isto permite que experimentos que não gerem resultados esperados conforme as teorias forneçam, ainda assim, aprendizado importante para próximos experimentos.

No projeto de validação do modelo, um primeiro experimento testou cinco fatores diferentes relacionados às funções “isolar mecanicamente” e “isolar termicamente” e suas subfunções, desdobradas no mapa funcional a partir da função global do subsistema, “vedar”. Este experimento foi executado eletronicamente por meio do simulador computacional ANSYS<sup>®</sup> e seus resultados foram lançados no software estatístico JUMP<sub>TM</sub> para formulação de gráficos (FIGURAS 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10) e dados que permitissem uma análise técnica dos projetistas.

O experimento consistiu em forçar condições muito boas e muito ruins dos cinco fatores identificados de forma que cada fator pudesse ser ajustado em dois níveis muito distintos: (-1) melhor condição, ou seja, condição que impacta positivamente na variável resposta do experimento, e (+1) pior condição, ou seja, aquela que impacta negativamente na variável resposta. A variável resposta em questão foi a troca térmica entre os ambientes externo e interno ao produto e os experimentos foram planejados de forma a combinar os cinco fatores em diferentes níveis: (-1) ou (+1). Foram executados 16 experimentos com distintas combinações entre os cinco fatores e seus níveis.

A seguir, será feito um demonstrativo da análise realizada para o experimento

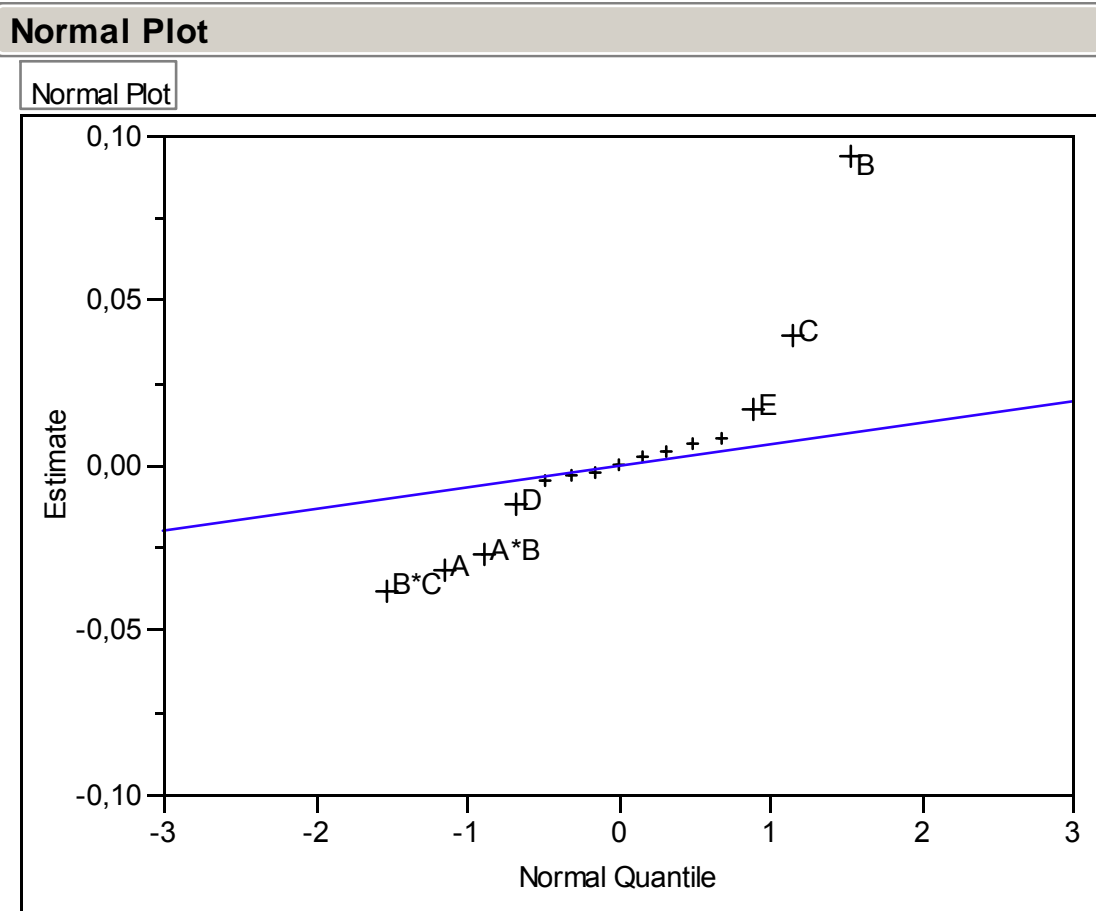


FIGURA 4.7 – Gráfico Normal do experimento 1.

O gráfico acima (FIGURA 4.7) representa o resultado obtido do software estatístico para o experimento 1. Os fatores que aparecem nele relacionados podem ser interpretados como “estatisticamente significativos”, ou seja, do ponto de vista estatístico, os fatores B, C, E, D e A, e as interações A\*B e B\*C são críticas. O efeito de cada fator sobre a variável resposta encontra-se na FIGURA 4.8.

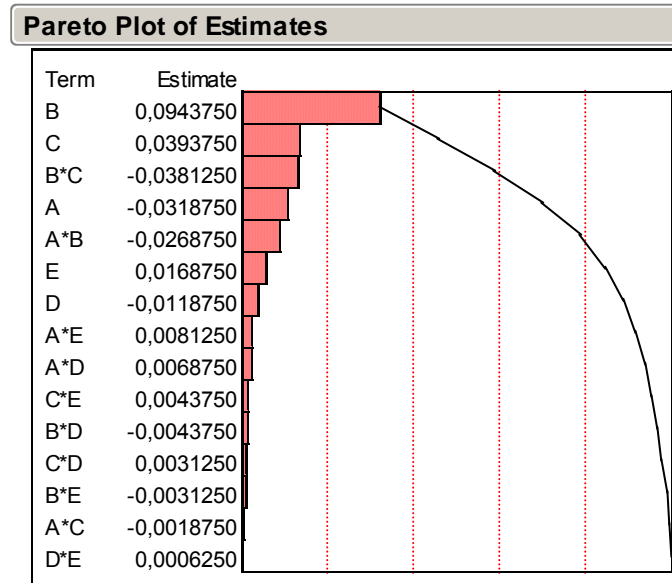


FIGURA 4.8 – Gráfico de Pareto dos efeitos de cada fator do experimento 1.

O software também permite uma análise mais detalhada das interações A\*B e B\*C, conforme ilustrado nas FIGURAS 4.9 e 4.10. Os gráficos de interação demonstram o *trade-off* existente entre dois fatores: qual o comportamento de um fator genérico W quando um fator genérico Z está no seu valor -1 (menor valor) e quando está no seu valor +1 (maior valor), e, da mesma forma, qual o comportamento do fator Z quando W está em -1 e quando está em +1.

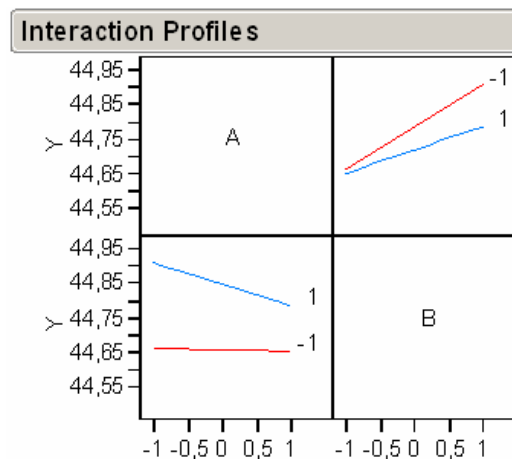


FIGURA 4.9 – Gráfico de interação para as variáveis A e B do experimento 1.

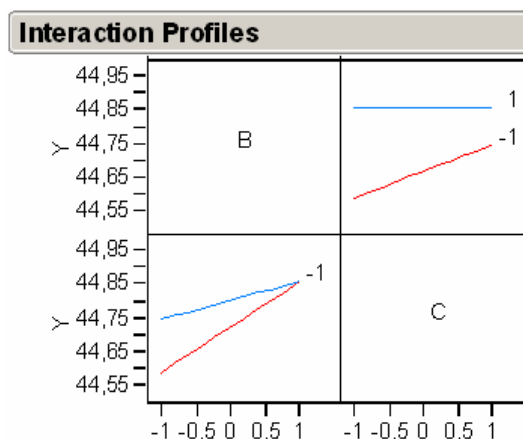


FIGURA 4.10 – Gráfico de interação para as variáveis B e C do experimento 1.

Com base nestes dados, os projetistas chegaram às seguintes conclusões a partir do experimento 1, com relação às funções “isolar mecanicamente” e “isolar termicamente”:

- O fator B destacou-se como o mais significativo e deve, obrigatoriamente, ser tratado como variável crítica do produto;
- Outras variáveis que serão consideradas críticas dada a intensidade dos seus efeitos, são as variáveis C e A;
- O fator A é robusto a variações do fator B se este último estiver em seu menor valor (-1), ou seja, a variável resposta não sofre alterações devido às variações do fator A, se o valor de B estiver fixado em seu menor valor;
- A variável C é robusta a variações do fator B se este último estiver em seu maior valor (+1), ou seja, o valor da variável resposta não é influenciado pelas variações no valor de C se o valor de B estiver fixado no seu maior valor.
- Os fatores E e D não serão considerados críticos por apresentarem baixo efeito sobre a variável resposta.

Portanto, para as funções “isolar mecanicamente” e “isolar termicamente” a função  $Y=f(x)$  será composta pelos fatores A, B e C, e pelas interações  $A*B$  e  $B*C$ , conforme obtido pelo software estatístico:

$$Y = 44,754 + (-0,0318 \times A) + (0,094 \times B) + (0,039 \times C) + (-0,026 \times A \times B) + (-0,038 \times B \times C)$$

Esta equação será a base para a atividade de melhoria executada na fase 3 do modelo de PDP direcionado à qualidade.

O mesmo procedimento descrito no estudo para as funções “isolar mecanicamente” e “isolar termicamente” foi aplicado para as demais funções principais do mapa funcional.

#### *4.3.3. Desenvolver soluções para o processo*

A etapa de desenvolvimento do processo, no caso desta aplicação, englobou, basicamente, a incorporação dos processos de fabricação, pré-montagem e montagem atuais pelo subsistema A. Apesar de envolver uma solução diferenciada para o subsistema, os processos de manufatura a ele relacionados deverão ser os mesmos atuais, conceitualmente. Obviamente, algumas adaptações no sentido de melhorar a sua robustez deverão ser feitas, mas esta é tarefa a ser realizada nas etapas posteriores do modelo de PDP direcionado à qualidade.

#### *4.3.4. Identificar x's do processo*

Da mesma forma que a atividade de identificação dos x's do produto, onde foram aplicados o FMEA e o mapa de produto/processo, esta atividade igualmente fez uso dessas ferramentas de suporte ao PDP e o procedimento seguido foi o mesmo que aquele descrito no tópico 5.3.1. O FMEA de processo e os mapas de processo dos processos de fabricação, pré-montagem e montagem do subsistema A estão disponíveis às FIGURAS 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14 respectivamente. O conteúdo das figuras foi novamente suprimido. O seu objetivo específico é demonstrar esquematicamente o trabalho desenvolvido sem ater-se às informações e dados nelas descritos.

Y= Variação na fabricação do subsistema A

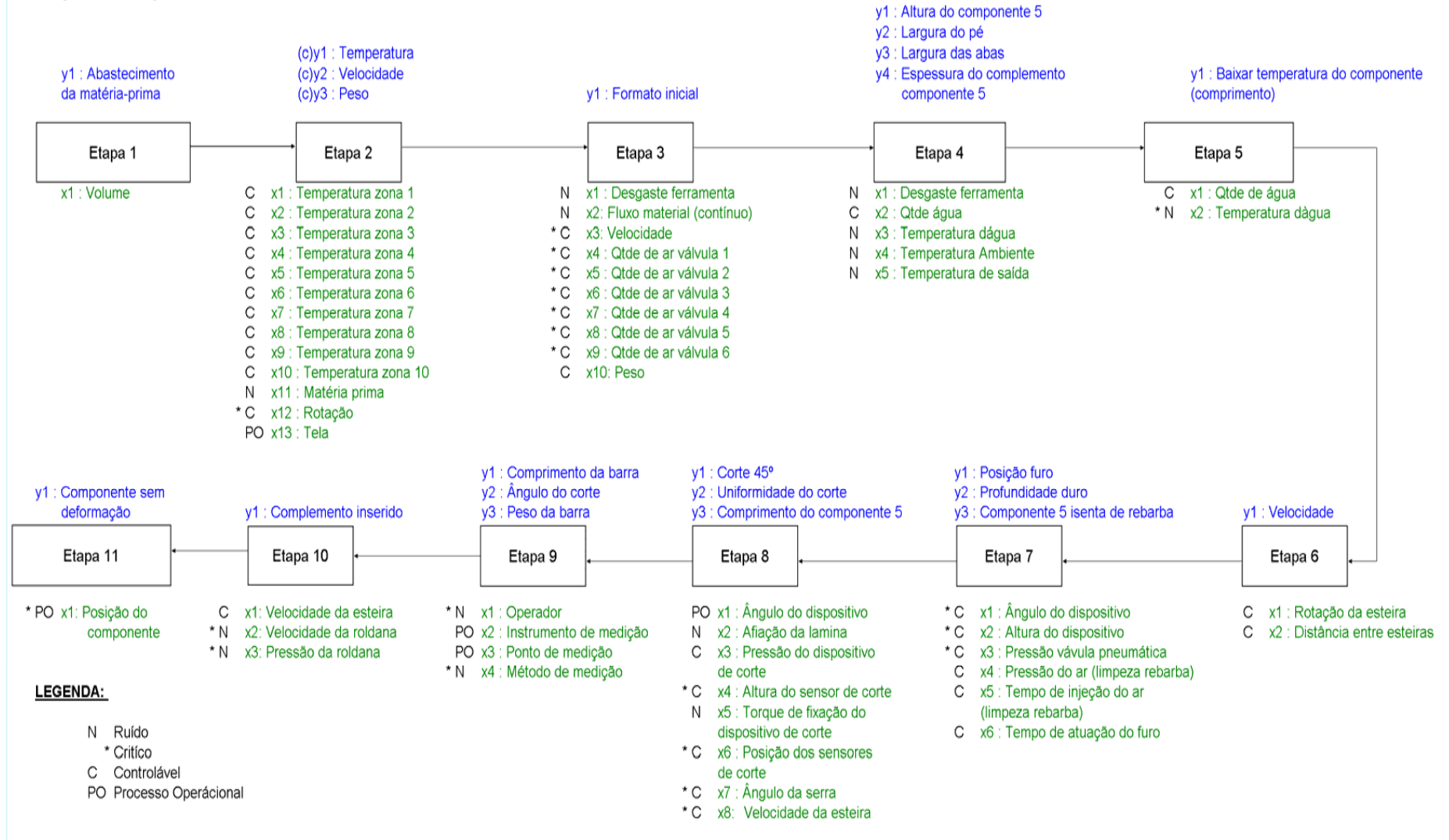


FIGURA 4.11 – Mapa de processo do processo de fabricação dos componentes do Subsistema A.



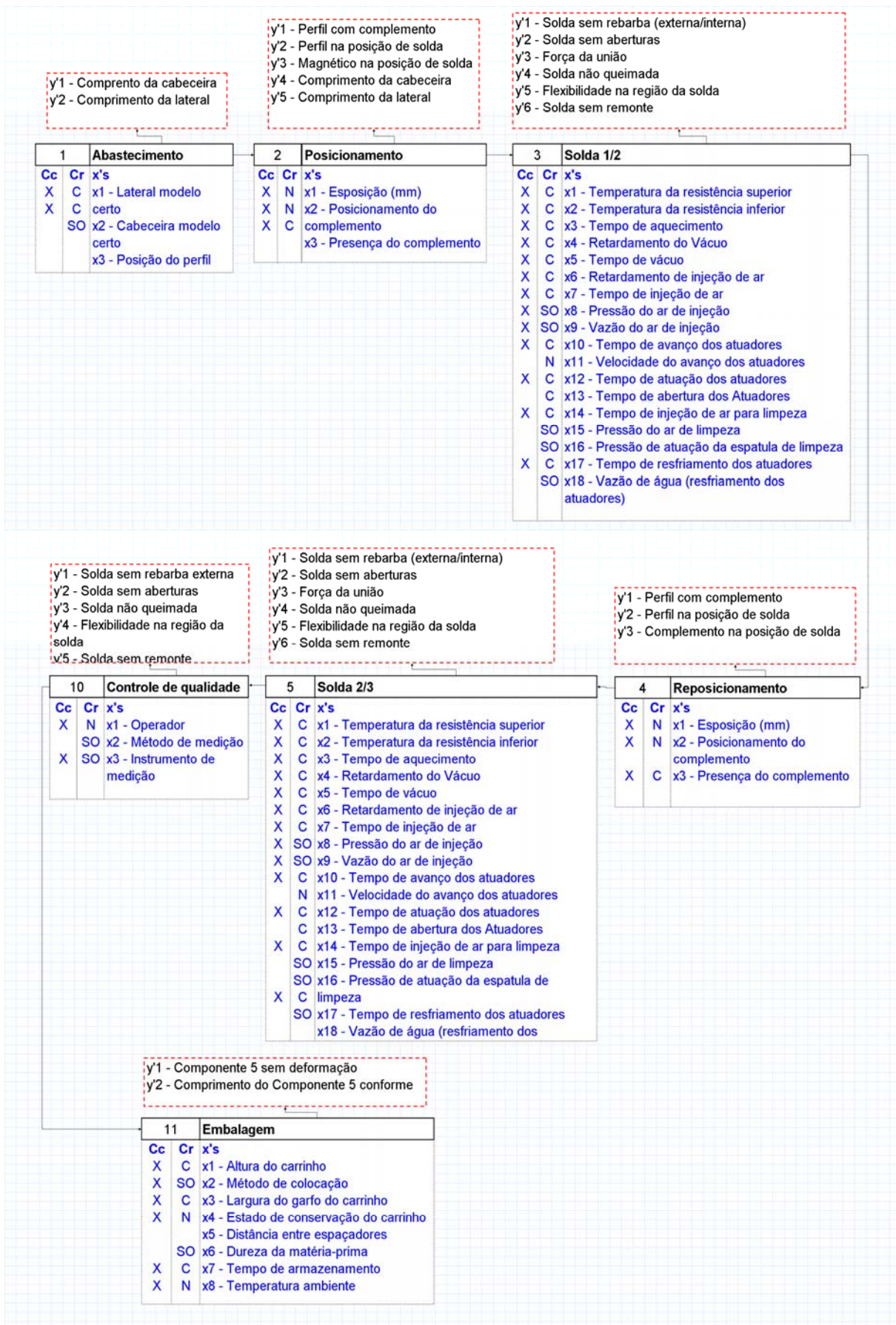


FIGURA 4.12 – Mapa de processo do processo de pré-montagem do Subsistema A.

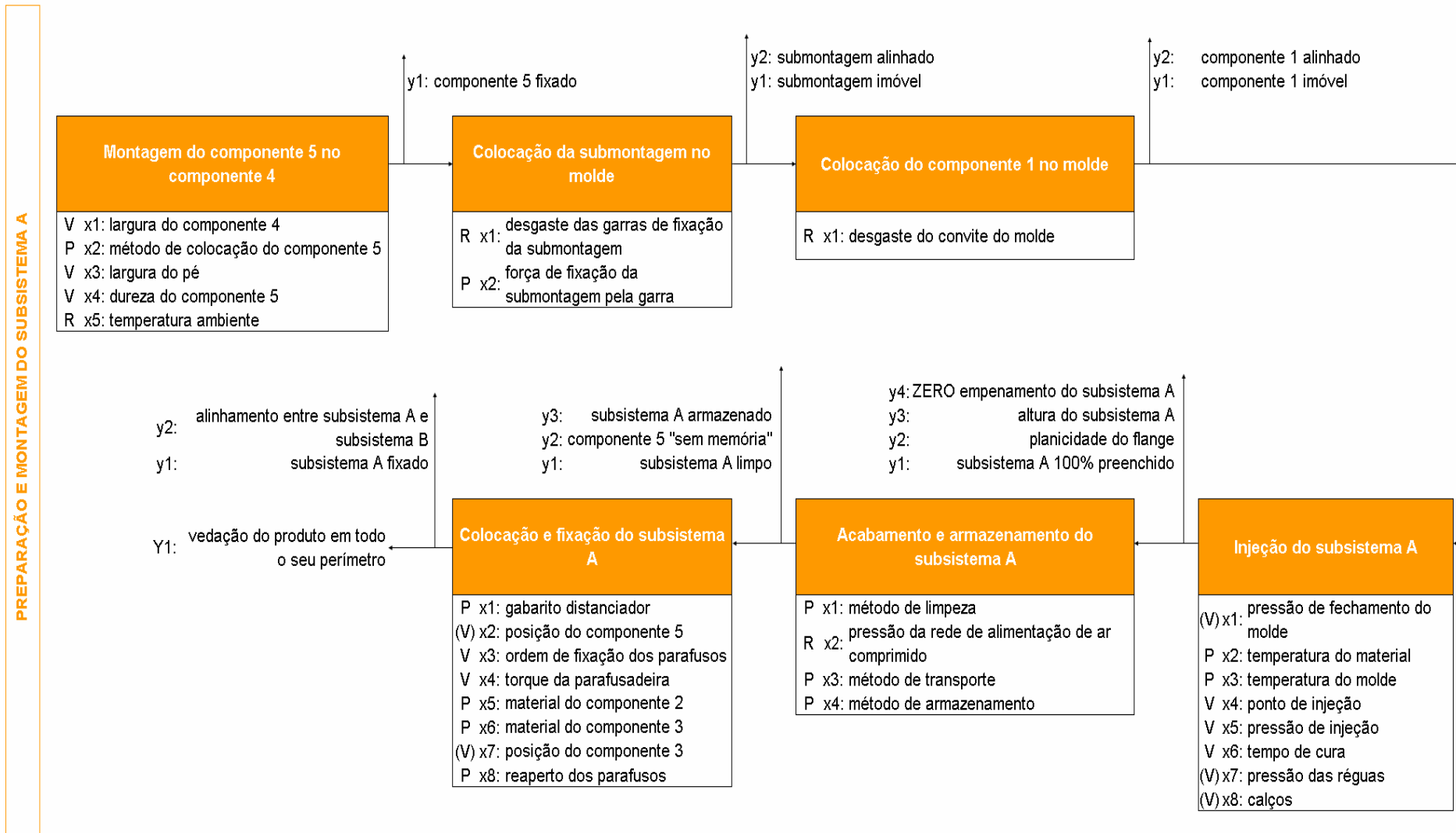


FIGURA 4.13 – Mapa de processo do processo de montagem do Subsistema A.

#### 4.3.5. Identificar $x$ 's críticos do processo

A atividade de identificação dos  $x$ 's críticos do processo envolveu, assim como na atividade voltada para o produto, uma série de experimentos planejados executados com o objetivo de identificar, dentre aqueles levantados na atividade precedente, quais os  $x$ 's críticos. Neste caso, o foco maior desta atividade foi voltado às funções “facilitar a montagem”, “manter contato magnético com o subsistema B” e “resistir à tração”. Os estudos deram origem a equações  $Y=f(x)$  para cada função estudada, que foram utilizadas como norteadores das melhorias executadas na fase 3 do modelo.

### 4.4. Fase 3: Melhorar qualidade

A fase de melhoria da qualidade envolve as atividades de “Descriticalizar  $x$ 's críticos do produto” e “Descriticalizar  $x$ 's críticos do processo”, ainda na fase de Conversão do modelo adaptado.

#### 4.4.1. Descriticalizar $x$ 's críticos do produto e do processo

Com base nas equações  $Y=f(x)$  identificadas nas fases anteriores é possível identificar quais as características críticas de produto e processo e propor melhorias em ambos de forma a tornar o produto mais robusto a variações ambientais e de processo. Isto significa melhorar efetivamente o patamar de qualidade do produto.

No caso do subsistema A, uma série de soluções foram propostas para buscar resolver problemas aos quais os produtos atuais, de linha, estão vulneráveis. Estas soluções propostas foram todas testadas por meio de experimentos planejados.

Mais uma vez, a confidencialidade impede que o detalhamento destas soluções seja apresentado, porém, em linhas gerais, buscar-se-á nos parágrafos seguintes ilustrar o trabalho de melhoria executado em algumas características de produto e de processo.

Uma das importantes funções que o subsistema A deve executar é a de resistir à tração, conforme descrito no mapa funcional do produto (FIGURA 4.4). Pela Casa da Qualidade desenvolvida nas etapas iniciais do projeto (FIGURA 4.3), o requisito técnico mensurável responsável pela qualificação desta função como adequada é a força de extração, que corresponde à força mínima de tração necessária para desmontar o componente de seu subsistema e que, neste caso,

deve ser maior que 10 kgf. Ainda, no telhado daquela figura pode-se notar que, segundo as teorias vigentes até o momento, esta força de extração está intimamente vinculada ao formato do pé e ao formato do canal, teorias estas ratificadas pelos experimentos realizados durante a identificação dos  $x$ 's críticos do produto. Na prática, esta constatação significa que uma pequena variação no formato do pé ou do canal dos componentes do subsistema A influencia fortemente a variável resposta força de extração. Assim sendo, foi preciso desenvolver pé e canal cujas pequenas variações naturais provenientes dos processos de fabricação dos componentes não mais interfiram de forma significativa no valor da força de extração, que, além disso, deve estar nos patamares determinados pela especificação-meta de 10 kgf.

Da mesma forma, uma outra função esperada do subsistema A é a de manter contato com o subsistema B, a fim de impedir o fluxo de ar entre os ambientes externo e interno. Do aprendizado de plataformas semelhantes e do estudo realizado durante a identificação de  $Y=f(x)$  para esta função, ratificou-se a teoria de que as dimensões (largura e altura) do componente 5 (FIGURA 4.5) do subsistema A são críticas para que o contato do subsistema A com o subsistema B aconteça em 100% do seu perímetro, sem falhas ou infiltração de ar. Na prática esta constatação significa que uma pequena variação nas dimensões do componente 5 influencia fortemente a variável de resposta “área de contato com o subsistema B”. Assim sendo, é preciso desenvolver processo de fabricação do componente 5 cujas variações naturais não mais interfiram de forma significativa no contato entre os subsistemas A e B.

Conhecendo de antemão  $Y=f(x)$  para a função “manter contato com o subsistema B” e, conseqüentemente, as suas variáveis críticas foi possível propor melhorias no processo de fabricação do componente que o tornasse mais robusto às variações ambientais de ruído como, por exemplo, a temperatura ambiente, ou a outras variáveis igualmente críticas como máquinas ou operadores. Assim, como conseqüência, a variação das dimensões do componente 5, fruto direto da variação do processo, pôde ser reduzida, garantindo que este fator (dimensões do componente 5) não mais interferisse no contato entre os subsistemas. As FIGURAS 4.14 e 4.15 mostram a variação, representada pela variância, do valor da altura e da largura do componente 5 no estágio inicial e no estágio final, após a melhoria no processo 100% executada.

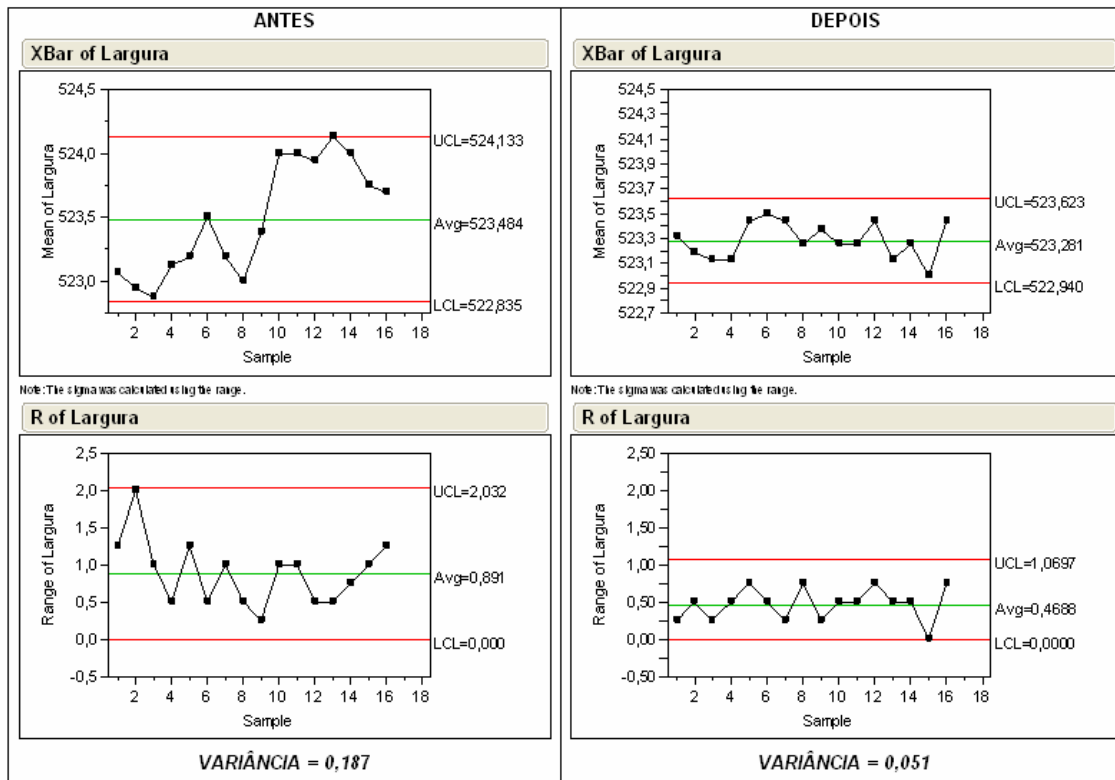


FIGURA 4.14 – Variação de largura do componente 5.

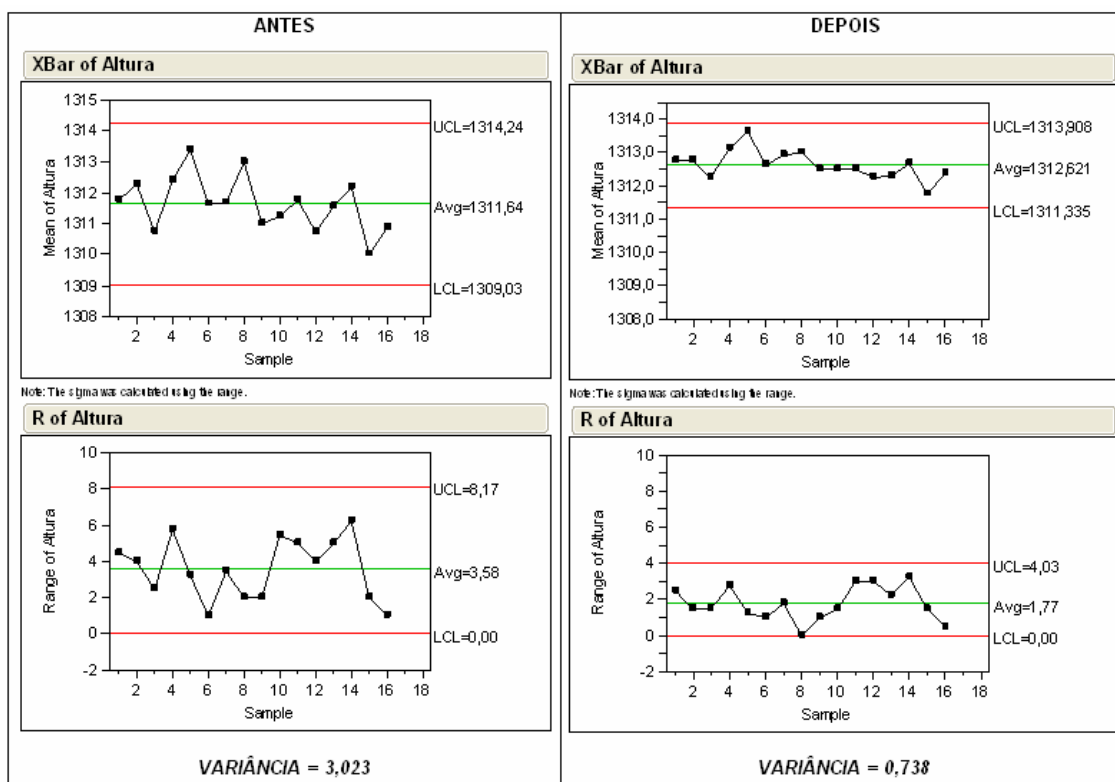


FIGURA 4.15 – Variação de altura do componente 5.

Este procedimento foi aplicado às principais funções sob estudo neste projeto.

#### 4.5. Fase 4: Padronizar melhoria

A quarta e última fase do modelo compreende as seguintes atividades, conforme modelo de PDP direcionado à qualidade apresentado neste trabalho:

- Especificar parâmetros do produto;
- Especificar tolerâncias dos parâmetros do produto;
- Especificar parâmetros do processo;
- Desenvolver planos de inspeção e controle;
- Monitorar estabilidade do processo;
- Desenvolver *design guide* do produto;
- Desenvolver *design guide* do processo.

Estas atividades permeiam, no modelo adaptado, as fases de Conversão e Execução do projeto.

##### 4.5.1. Especificar parâmetros do produto e do processo

Durante a execução da fase 3, atividades de melhoria da qualidade, os parâmetros do produto e do processo foram definidos com base na análise estatística concernente àquelas atividades. Nesta fase, a preocupação exclusiva foi de garantir que todas as especificações estivessem registradas nos desenhos do produto e nas folhas de instrução de trabalho, o que aconteceu devidamente.

##### 4.5.2. Especificar tolerâncias dos parâmetros do produto

Da mesma forma, uma análise conclusiva sobre a variação natural dos processos foi conduzida na fase precedente do modelo, conforme exemplo explicitado no tópico 5.4.1. Por outro lado, pela característica do subsistema A em questão, dos seus componentes, em grande parte flexíveis, e da natureza do seu processo de montagem, não houve a necessidade da aplicação da análise de tolerância estatística recomendada no modelo. Assim, as tolerâncias registradas nos desenhos de produto são frutos diretos das mensurações das variações intrínsecas aos processos de fabricação dos componentes do subsistema.

##### 4.5.3. Desenvolver planos de inspeção e controle

Com base nas funções  $Y=f(x)$  definidas nas etapas anteriores, e com base na quantidade de variação existente nos processos e na detecção de sua fonte primordial (operador, máquina, *setup*, lote de matéria-prima, etc.) desenvolveu-se planos específicos de inspeção e controle para cada característica crítica não

descritalizada, englobando dispositivos, frequência e amostragem de controle. Estes planos foram documentados e serão disponibilizados às áreas de fabricação quando do lançamento do produto. Até este ponto a produção piloto não havia ainda sido realizada, de forma que estes planos de inspeção e controle não são ainda definitivos; devem ser retro alimentados com o aprendizado adquirido do lote piloto.

Durante o processo de validação, ficou claro que esta atividade concentra uma das principais distinções entre o modelo de PDP direcionado à qualidade e os modelos de PDP usuais. De um modo geral, nos PDP tradicionais, os planos de inspeção e controle são construídos sobre a experiência empírica dos projetistas, que definem quais as características e cotas críticas devem ser controladas. Além disso, comumente, a confecção desses planos acaba sendo um dos poucos mecanismos disponíveis ao time de projeto para garantir o nível de qualidade desejado pelo cliente.

Por outro lado, o modelo de PDP direcionado à qualidade busca elucidar os meios pelos quais o nível de qualidade de um produto pode ser garantido sem a necessidade de controlar todas aquelas características que se acredita serem críticas: através da geração de robustez do produto frente às variações de produto, processo e ambientais. Isto garante que um menor número de características seja controlado ao final do desenvolvimento e que somente aquelas características realmente críticas, que não puderam, de alguma forma, serem descritalizadas, sejam efetivamente controladas.

Por fim, os planos de inspeção e controle desenvolvidos durante a execução do PDP direcionado à qualidade controlarão menos características, mas, ao mesmo tempo, garantirão o nível adequado de qualidade do produto controlando apenas aquelas características realmente críticas, com planos de amostragem, frequência e método adequados. Assim, o modelo de PDP direcionado à qualidade culmina com uma aplicação mais adequada da verba do projeto em dispositivos e mecanismos de controle, evitando desperdícios tanto de recursos quanto de produtividade com o controle de características não críticas.

#### *4.5.4. Monitorar estabilidade do processo*

Esta atividade depende, basicamente, do início da produção do produto, o que deve ocorrer somente a alguns meses da defesa desta dissertação. Assim, não foi possível verificar esta atividade em sua plenitude.

#### 4.5.5. *Desenvolver design guides do produto e do processo*

Durante toda extensão do capítulo de validação do modelo proposto procurou-se explicitar uma série de documentos utilizados para registrar a evolução do projeto de desenvolvimento do subsistema A. Estes dados juntos comporão o *design guide* do produto e do processo para este subsistema.

#### **4.6. Considerações finais sobre a validação do modelo**

Neste capítulo procurou-se demonstrar a partir da aplicação, sobre dados de uma situação real, que o modelo é adequado para cumprir os objetivos para ele estabelecidos. Sua aplicação na empresa-alvo mostrou que os procedimentos nele contidos são capazes de desenvolver um produto com o nível de qualidade exigido pelo consumidor.

Apesar de a referida empresa fazer uso de um PDP maduro e bem constituído há bastante tempo, o modelo proposto pôde contribuir de maneira positiva na rotina de projeto, corrigindo a cultura de tomada de decisões relativas à qualidade com base em teorias inconsistentemente suportadas pela experiência prática dos projetistas.

Como a estratégia da empresa alvo é ser competitiva em nível mundial pela capacidade de inovação, seu PDP precisaria ser mais proativo para questões relacionadas ao nível de qualidade dos produtos desenvolvidos, isto é, sua estrutura deveria ser capaz de antecipar os problemas de qualidade que conceitos inovadores podem gerar e tratá-los durante os estágios iniciais do projeto, sem comprometer metas de custo e prazo. Com a aplicação do modelo de PDP voltado à qualidade foi possível colocar em evidência atividades que precisariam receber um tratamento mais apurado com vistas a dar maior robustez ao produto.

Ao longo dos tópicos apresentados neste capítulo, a aplicação dos procedimentos propostos mostrou como a variação das características críticas, das funções e, conseqüentemente, do nível de qualidade do produto podem ser reduzidos a partir do levantamento de dados com base científica que apóiem a equipe nos processos de tomada de decisão.

Conclui-se, então, com base nessa aplicação, que o modelo contempla os objetivos inicialmente estabelecidos, seus procedimentos podem antecipar as decisões relativas à qualidade no processo de desenvolvimento de produtos e, dessa forma, entende-se que ele é válido para os fins a que se propôs.



## **5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Em um cenário de reforçada competição em todo o mundo e uma ampla percepção da qualidade por parte dos consumidores, a entrega de produtos ao mercado com alto grau de qualidade percebida, que atendam perfeitamente às necessidades dos clientes deve ser um assunto de especial importância para as organizações. Paradoxalmente, o papel do processo de desenvolvimento de novos produtos como mecanismo primordial de geração de qualidade é, muitas vezes, subestimado pelas empresas. Muito já foi feito em prol da melhoria da qualidade do produto em termos de processos produtivos, porém os resultados produzidos por esta estratégia reativa já não são suficientes na acirrada disputa pela conquista do consumidor.

O reconhecimento do fato de que trabalhar mais à montante da cadeia produtiva, mais especificamente no processo de desenvolvimento de produtos, berço de toda esta cadeia, deu origem a este trabalho, que buscou responder à seguinte questão: Como antecipar as decisões acerca da qualidade do produto para as etapas iniciais do PDP?

Diante dessa demanda, realizou-se pesquisa bibliográfica, de campo e um estudo de caso com o intuito de buscar informações que propiciassem uma melhor compreensão do problema e conduzissem a resposta sólida adequada à questão formulada. Este esforço culminou com a formulação de um modelo de referência que, fazendo uso de teorias, conceitos e ferramentas oriundos dos campos de gestão do projeto e gestão da qualidade, estabelece um meio claro e objetivo de transformar necessidades em um produto plenamente capaz de atendê-las, a partir da estruturação formal do processo de desenvolvimento de produtos voltado à qualidade.

Assim sendo, esta dissertação será finalizada a partir da apresentação, ao longo deste capítulo, das principais conclusões a respeito do modelo e dos demais aprendizados capturados durante a pesquisa.

### **5.1. Análise do modelo proposto**

Por representar o principal resultado obtido no trabalho, apresenta-se, neste tópico, uma análise geral do modelo desenvolvido, visando, com isso, destacar as suas características primordiais.

Neste modelo, os procedimentos necessários à sua aplicação foram agrupados em quatro fases constitutivas, – Identificar vetor Y, Determinar  $Y=f(x)$ , Melhorar Qualidade, Padronizar melhoria – compostas por atividades, por sua vez, subdivididas em tarefas. Esta apresentação do modelo facilita a sua compreensão e o seu desdobramento até o nível mais operacional. Isto provê ao time de projeto rápida fluência sobre o modelo, permitindo fácil comunicação sobre as tarefas a serem desempenhadas por cada membro do time.

Por outro lado, a divisão do modelo em fases distintas é meramente orientativa, já que diversas atividades de uma determinada fase têm início em outras fases, sobrepondo-se às suas atividades. Isto concede ao modelo uma versatilidade muito grande de arranjos, fazendo com que ele possa ser deliberadamente agregado a um outro modelo de referência de PDP mais amplo que envolva as atividades alheias ao modelo de PDP voltado à qualidade, que trata exclusivamente das questões relacionadas à geração da qualidade no produto. O limite dessa versatilidade é determinado pelas relações de dependência representadas no modelo apresentado. Ou seja, qualquer arranjo das atividades é possível, desde que as relações de dependência não sejam quebradas. Esta capacidade pôde ser evidenciada praticamente no capítulo 4 de validação com relativo sucesso e caracteriza o modelo de PDP direcionado à qualidade como um modelo de referência, que pode ser moldado e adaptado para o desenvolvimento de outros modelos de PDP mais específicos.

O revés da característica discutida no parágrafo anterior é que o modelo não é, absolutamente, auto-suficiente. Quer dizer, segui-lo não é tarefa suficiente para a entrega de um novo produto com o nível de qualidade esperado pelo consumidor. É tarefa, porém, necessária. O objetivo do modelo, explicitado no capítulo 3, é elucidar as atividades de projeto relacionadas às questões da qualidade, exclusivamente, de forma que todas as outras atividades concernentes ao desenvolvimento do produto, alheias à qualidade, não são por ele abordadas. Desenvolver um modelo completo voltado à qualidade, por outro lado, poderia sobrepujar a sua versatilidade e tolher o seu predicado de modelo de referência, que traduz a sua peculiaridade de poder ser aplicado nas mais diversas organizações independentemente do modelo de PDP nelas vigentes, desde que estas sejam empresas de manufatura de bens de consumo duráveis, conforme limitação apresentada do modelo. Portanto, esse é um revés plenamente aceitável, imposto em benefício da versatilidade do modelo.

Uma outra característica importante do modelo de PDP voltado à qualidade é a linearidade do desdobramento das necessidades identificadas dos clientes em funções, soluções conceituais, características críticas, soluções específicas, até o produto final com qualidade assegurada. Esta linearidade é representada pelas relações de dependência e significa que, ao acompanhá-las, executando com completeza as atividades a que elas direcionam, o nível adequado de qualidade do produto será desenvolvido naturalmente, sem a necessidade de desvios ou incongruências.

Quanto às ferramentas, o modelo não impõe o uso de nenhuma pontualmente, mas induz à aplicação de algumas em especial. Importante notar que, conquanto recomende o uso de algumas ferramentas, o modelo o faz dentro de um contexto particular, com objetivos claros a serem atendidos. Enfim, o seu foco não é a aplicação de ferramentas, nem a geração de documentos, e sim a execução das atividades, objetivando responder a perguntas específicas. Então, o modelo de PDP voltado à qualidade pretende, a cada fase, responder a algumas perguntas por intermédio de qualquer ferramenta ou documento capaz de respondê-las. As principais perguntas de cada fase são, a saber:

- Fase 1: “quais as necessidades dos clientes?”;
- Fase 2: “quais as características críticas de produto e processo que podem interferir no nível de qualidade entregue pelo produto?”;
- Fase 3: “como minimizar o efeito das características críticas sobre o nível de qualidade do produto?”;
- Fase 4: “como assegurar a estabilidade do processo produtivo e garantir que o produto estará sempre dentro de determinados níveis de qualidade?”.

Contudo, apesar de não impor o uso de ferramentas específicas, o modelo deixa clara a necessidade da aplicação da estatística como norteador do desenvolvimento. Este fato é característica fundamental de qualquer modelo com foco na qualidade do produto por conduzir a tomadas de decisão alicerçadas em fatos e dados e não somente na teoria ou experiência vigente dos membros do time de projeto. Um dos principais motivos pelos quais os modelos de PDP tradicionais falham em entregar produtos com níveis de qualidade satisfatórios é justamente o fato de que as decisões acerca da qualidade são tomadas tardiamente no projeto e sem base científica sólida. O modelo de PDP voltado à qualidade provou ser

plenamente capaz de vencer estes obstáculos e aumentar a probabilidade de sucesso do produto no mercado.

Por fim, é importante salientar que todos os elementos presentes no modelo não surgiram de forma fortuita. Eles foram concebidos a partir da análise de uma coletânea de críticas levantadas em publicações científicas que apontam a deficiência dos modelos de PDP tradicionais em atender de forma mais ampla as necessidades dos consumidores, pela dificuldade de se antecipar os problemas de qualidade que porventura venham a lograr a imagem do produto no mercado.

Assim, em linhas gerais, pode-se dizer que o modelo tem consistência teórica e pode ser uma importante contribuição para os estudos voltados ao processo de desenvolvimento de produtos e o seu papel no aumento da probabilidade de sucesso no lançamento de novos produtos.

## **5.2. Análise dos resultados obtidos durante a aplicação prática do modelo**

O processo de aplicação prática e validação do modelo de PDP direcionado à qualidade gerou resultados significativos, de onde afloraram alguns aspectos benéficos fundamentais do modelo, discutidos nos tópicos seguintes.

### *5.2.1. Mudança de postura do time de projeto quanto à qualidade*

A forma estrutural do modelo de PDP direcionado à qualidade e a forma como as suas atividades, fundamentalmente alicerçadas por tarefas focadas na geração da qualidade no produto, distribuem-se ao longo de todo o PDP, fomentam a discussão acerca das questões de qualidade em todos os níveis – time de projeto, gerência de projetos, alta direção – durante todo o curso do desenvolvimento. Este fato provoca uma mudança cultural na equipe de projeto, que passa a ter, naturalmente e de modo evidente, o elevado nível de qualidade do produto como um grande objetivo a ser perseguido, comparável em mesma instância aos objetivos de redução de custo e inovação, que, normalmente, norteiam os principais projetos da maior parte das indústrias de bens de consumo duráveis.

No longo prazo, à medida que os times de projetos vão sendo desfeitos e reorganizados, e que mais projetos são avaliados pela alta direção, o potencial de criação de um processo de disseminação de uma cultura voltada à qualidade na organização é latente.

### 5.2.2. Foco na geração de informação de qualidade para a tomada de decisão

O fato de deixar em evidência atividades exclusivamente focadas na geração de qualidade do produto imprimem ao modelo de PDP direcionado à qualidade o poder de evidenciar o meio pelo qual o PDP é capaz de melhorar antecipadamente o nível de qualidade do produto. Isto é feito na medida em que as *deliverables* de cada uma das fases são definidas de forma a exigir uma série de tarefas com foco na geração qualitativa de informações, e não quantitativa. Ou seja, não importa quantas matrizes de QFD foram construídas, ou quantas linhas contêm cada FMEA desenvolvido, e sim se as respostas a que as matrizes de QFD e os FMEA se propunham a responder foram efetivamente respondidas. Enfim, o modelo de PDP direcionado à qualidade tem foco preponderante na geração de informações úteis ao processo decisório que tem lugar cativo durante todo o desenvolvimento e, de modo mais explícito, durante as revisões de *gate* com a alta direção.

Em comparação com os modelos de PDP usuais, não deixar explícitas as atividades concernentes à qualidade conduz a um modo de falha muito característico nos processos de desenvolvimento de produtos das organizações: o time de projeto foca principalmente o prazo para entrega dos *deliverables* daquela fase, e, conseqüentemente, na formalização dos documentos exigidos nos *check lists* de cada *gate*, deslocando a segundo plano a qualidade da informação gerada.

As relações de dependência do modelo proposto também reforçam esta característica. Isto porque da informação gerada na atividade anterior depende a atividade seguinte do modelo. Assim, uma atividade realizada de forma displicente ou não completa incorrerá em erros e conseqüentes decisões equivocadas mais adiante, pondo em risco todo o objetivo do modelo e o sucesso do novo produto no mercado.

### 5.2.3. Menor nível de retrabalho

Por ater-se à construção de uma base sólida de informações geradas a partir de experimentações científicas, cujo objetivo central é confirmar ou rejeitar as teorias desenvolvidas ao longo do tempo pelas experiências empíricas dos membros do time de projeto, o nível de retrabalho observado durante a condução do projeto segundo o modelo de PDP direcionado à qualidade é mínimo.

Ao contrário do que acontece normalmente nos processos de desenvolvimento de produtos, o modelo de PDP direcionado à qualidade não

fomenta o desenvolvimento baseado no método da tentativa-e-erro em que, diante de um problema e com base em uma teoria, soluções diferentes são testadas até que se chegue à situação ótima. Este método, como já discutido nos capítulos anteriores, é excessivamente moroso e caro devido ao grande número de tentativas frequentemente necessárias até que se atinja o resultado esperado. O modelo de PDP direcionado à qualidade incentiva, por sua estrutura de atividades e relações de dependência, que, diante de um problema, uma hipótese ou teoria seja formulada, testada e confirmada antes da proposição de uma solução. Com este ciclo, a possibilidade de que a solução fracasse é reduzida de forma significativa, evitando o dispêndio de tempo e recursos em vão e culminando com um tempo total de desenvolvimento mais reduzido.

### **5.3. Sugestões para trabalhos futuros**

Segue algumas sugestões para trabalhos futuros:

1. Ao longo da confecção do modelo proposto neste trabalho e análise da bibliografia relacionada, ficou evidente a ausência de estudos mais completos e consistentes sobre os mecanismos de captura das necessidades dos clientes de forma fidedigna. Esta atividade é crítica no modelo de PDP direcionado à qualidade e uma falha na sua execução eleva consideravelmente o potencial de falha do novo produto. Assim, sugere-se um trabalho nesta linha de identificação e definição de mecanismos ou ferramentas de voltados à captura fiel das necessidades dos clientes.
2. Estudo acerca de ferramentas de suporte ao projeto de processos produtivos. Durante a revisão bibliográfica realizada para este trabalho, pouco material foi encontrado sobre mecanismos que facilitem o projeto de processos de manufatura. O uso deste tipo de ferramenta no modelo apresentado pode facilitar o desenvolvimento de processos que reduzam as variações das características críticas de produto e processo.
3. Estudo comparativo entre produtos de mesma plataforma desenvolvidos de acordo com um modelo de PDP tradicional e o modelo de PDP direcionado à qualidade. Assim, pode-se ampliar o escopo de avaliação do modelo voltado à qualidade comparando-o em termos de tempo de desenvolvimento, custos e índices de qualidade de campo.

4. Aplicação do modelo de PDP voltado à qualidade em um projeto completo, englobando todos os seus subsistemas/componentes, objetivando mensurar o ganho global da sua aplicação. Na validação realizada nesta dissertação, devido limitações de tempo, o modelo foi aplicado ao desenvolvimento de um subsistema e, portanto, os resultados coletados foram locais, para este subsistema. Mensurar todo o potencial do modelo quando aplicado ao desenvolvimento de todo um produto pode trazer valiosas contribuições.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462, Confiabilidade e manutenibilidade – terminologia. Rio de Janeiro, 1994.
- ALMEIDA, F. A.; MIGUEL, P. The first stage of a proposal of a theoretical model for managing a new product development process. *Product: Management & Development*, v. 5, n. 1, Junho, 2007.
- ANDERSSON, P. Early design phases and their role in designing for quality. *Journal of Engineering Design*, v. 5, n. 4, p. 283-98, 1994.
- ANTONY, J. Design for six sigma: a breakthrough business improvement strategy for achieving competitive advantage. *Work Study*, v. 5, n. 1, p. 6-8, 2002a.
- ANTONY, J. Robust design in new product development process: a neglected methodology in UK manufacturing organizations. *Work Study*, v. 51, n. 2, p. 81-84, 2002b.
- BARTOLOMEI, J. E.; MILLER, T. Functional analysis system technique (F.A.S.T.) as a group knowledge elicitation method for model building. *Proceedings of the 19th International Conference on System Dynamics Society*, 2001.
- BASSO, J. L. Engenharia e análise de valor - EAV: mais as abordagens da administração, contabilidade e gerenciamento do valor: um guia prático para aplicação. São Paulo: IMAM, 1991.
- BAXTER, M. Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos. São Paulo: Edgard Bluncher, p. 432-437, 1998.
- BENTLEY, K. A discussion of the link between one organisation's style and structure and its connections with its market. *Journal of Product Innovation Management*, v. 7, p. 19-34, 1990.
- BEZERRA, M. B. P. Mapeamento da usabilidade do produto através do diagrama de afinidades.
- BONNET, D. O. L. Nature of the R&D/Marketing co-operation in the design of technologically advanced new industrial products. *R&D Management*, v. 16, n. 2, p. 117-126, 1986.
- BOOKER, J. D. Industrial practice in designing for quality. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 20, n. 3, p. 288-303, 2003.
- BRALLA, J. G. Handbook of product design for manufacturing. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1986.
- BROCKA, B.; BROCKA, M. S. Gerenciamento da qualidade. São Paulo: Makron Books, 1994.
- CASSANELI, G.; MURA, G.; FANTINI, F.; VANZI, M.; PLANO, B. Failure analysis-assisted FMEA. *Microelectronics Reliability*, n. 46, p. 1795-1799, 2006.
- CHOWDHURY, S. Design for Six Sigma. Prentice Hall Financial Times, 2003.
- COOPER, R. G. Stage-gate systems: a new tool for managing new products. *Business Horizons*, v. 33, n. 3, Maio-Junho, 1990.
- COOPER, R. G. The invisible success factors in product innovation, *Journal of Product Innovation Management*, v. 16, p. 115-133, 1999.
- COOPER, R. G. Doing it right: winning with new products. *Ivey Business Journal*, v. 64, n. 6, p. 54-60, Julho/Agosto, 2000.
- COOPER, R. G.; MILLS, M. S. Succeeding at new product development: the P&G way. *PDMA Visions*, v. 29, n. 4, Outubro, 2005.
- COOPER, R. G. Formula for success in new product development. *Marketing Management*, v. 15, n. 2, p. 18, 2006.
- COOPER, R. G.; EDGETT, S. J.; KLEINSCHMIDT, E. J. Optimizing the stage-gate process: what best practice companies are doing part 1. *Research Technology Management*, v. 45, n. 5, 2002.
- COOPER, R. G.; KLEINSCHMIDT, E. J. Benchmarking the firm's critical success factors in new product development. *Journal of Product Innovation Management*, v. 12, p. 374-391, 1995.
- COTEC – Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica. Temaguide: a guide to technology management and innovation. Barcelona: Cotec Part III, 198p, 1998. Disponível em [www.cotec.es](http://www.cotec.es). Acessado em: 11 de outubro de 2007.



- CRAIG, A.; HART, S. Where to now in new product development research? *European Journal of Marketing*, v. 26, n. 11, p. 2-49, 1992.
- CRISTIANO, J. J.; LIKER, J. K.; WHITE III, C. C. Customer-driven product development through quality function deployment in te U.S. and Japan. *Journal of Product Innovation Management*, n. 17, p. 286-308, 2000.
- CROSBY, P. B. *Qualidade: falando sério*. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.
- CSILLAG, J. M. *Análise do valor: metodologia do valor*. São Paulo: Atlas, 1991.
- CURKOVIC, S.; VICKERY, S. K.; DRODGE, C. L. M. An empirical analysis of the competitive dimensions of quality performance in the automotive supply industry. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 20, n. 3, p. 386-403, 2000.
- DANE, F. C. *Research methods*. Brooks-Cole Publishing Company, Pacific Grove, California, USA, 1990.
- DEMING, W. E. *Saia da crise*. Futura, 2003.
- EUREKA, W. E.; RYAN, N. E. *QFD: perspectivas gerenciais do desdobramento da função qualidade*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003.
- FEIGENBAUM, A. V. *Controle da qualidade total*. São Paulo: Makron, 1994.
- FIOD NETO, M. *Desenvolvimento de um sistema computacional para auxiliar a concepção de produtos industriais*. Florianópolis: PPGEM-UFSC (Tese de doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina), 1993.
- FOKER, L. B.; VICKERY, S. K.; DRODGE, C. L. M. The contribution of quality to business performance. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 16, n. 8, p. 44-62, 1996.
- FORCELLINI, F. A. *Projeto de produtos*. Apostila da disciplina Projeto Conceitual do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2004.
- FOX, J. *Managing design for quality product*. *Assembly Automation*, v. 15, n. 1, p. 12-14, 1995.
- 2000.
- FRANCESCHINI, F.; ZAPPULLI, M. Product's technical quality profile design based on competition analysis and customer requirements: an application to real case. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 15, n. 4, p. 431-442, 1998.
- GARVIN, D.A. *Competing on the eight dimensions of quality*. *Harvard Business Review*, November-December, p. 101-109, 1987.
- GARVIN, D.A. *What does product quality really mean?* *Sloan Management Review*, Fall, p. 25-43, 1984.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 1991.
- GONÇALVES, J. *As empresas são grandes coleções de processos*. *RAE*, v. 40, n. 1, p. 6-19, Jan./Mar., 2000.
- HART, S.; SERVICE, L. M. The effects of managerial attitudes to design on company performance. *Journal of Marketing Management*, v. 4, n. 2, p. 217-229, 1988.
- HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. *Análise de falhas (aplicação dos métodos de FMEA-FTA)*. UFMG, Escola de Engenharia: Fundação Christiano Ottono, Belo Horizonte. 156 p., v. 11, 1995.
- ISHIKAWA, K. *Controle da qualidade total à maneira japonesa*. Rio de Janeiro: Campus, 1993.
- JACOBS, L.; HERBIG, P. Japanese product development strategies. *Journal of Business and Industrial Marketing*, v. 13, n. 2, p. 132-154, 1998.
- JAYARAM, J. S. R.; IBRAHIM, Y. Multiple response robust design and yield maximization. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 16, n. 9, p. 826-837, 1999.
- JURAN, J.M.; GRZYNA, F. M. *Controle da qualidade handbook: conceitos, políticas e filosofia da qualidade*. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991.
- JURAN, J. M. *A qualidade desde o projeto*. São Paulo: Pioneira, 1997.
- KANO, N.; SERAKU, N.; TAKAHASHI, F.; TSUJI, S. Attractive quality and must be quality. *Hinshitsu: The Journal of the Japanese Society for Quality Control*, v. 14, n. 2, p. 39-48, 1984.
- KENNEDY, M. N. *Product development for the lean enterprise*. Virginia, EUA, 2003.

- KOCH, P. N.; YANG, R. J.; GU, L. Design for six sigma through robust optimization. *Struct Multidisc Optim*, n. 26, p. 235-248, 2004.
- KONDA, R.; RAJURKAR, K. P.; BISHU, R. R.; GUHA, A.; PARSON, M. Design of experiments to study and optimize process performance. *International Journal of Quality and Reliability Management*, v. 16, n. 1, p. 56-71, 1999.
- KOTLER, P. *Administração de Marketing: análise, planejamento, implementação e controle*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1998.
- LAI, X.; XIE, M.; TAN, K. C. Optimizing product design using Kano model and QFD. *International Engineering Management Conference*, p. 1085-1089, 2004.
- LAKATOS, E. M., MARCONI, M. A. *Fundamentos de metodologia científica*. Atlas, São Paulo, 1991.
- LAMBERT, M.; RIERA, B.; MARTEL, G. Application of functional analysis techniques to supervisory systems. *Reliability Engineering and System Safety*, n. 64, p. 209-224, 1999.
- LIU, T. I.; YANG, X. M. Design for quality and reliability using expert system and computer spreadsheet. *Journal of Franklin Institute*, n. 336, p. 1063-1074, 1999.
- LÓPEZ, J.; ALMEIDA, R. L.; ARAÚJO-MOREIRA, F. M. TRIZ: criatividade como uma ciência exata? *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 2, p. 205-209, 2005.
- MAIDIQUE, M. A.; ZIRGER, B. J. A Study of success and failure in product innovation: the case of the U.S. Electronics Industry. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v. EM-31, n. 4, p. 192-203, 1984.
- MANSOOR, E. M. The application of probability to tolerances used in engineers design. *Proc. Institute of Mechanical Engineers*, v. 178, n. 1, p. 29-51, 1963.
- MATZLER, K.; HINTERHUBER, H. H.; BAILOM, F.; SAUERWEIN, E. How to delight your customers. *Journal of Product & Brand Management*, v.5, n. 2, p. 6-18, 1996.
- MATZLER, K.; HINTERHUBER, H. H. How to make product development projects more successful by integrating Kano's model of customer satisfaction into quality function deployment. *Technovation*, v. 18, n. 1, p. 25-38, 1998.
- MOEN, R. D.; NOLAN, T. W.; PROVOST, L. P. *Quality improvement through planned experimentation*. McGraw-Hill, 1991.
- MSA – Measurement Systems Analysis. 3 ed. DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company and General Motors Corporation, 225 p. (parte integrante da QS 9000), 2002.
- OMAR, A. R.; HARDING, J. A.; POPPLEWELL, K. Design for customer satisfaction: an information modeling approach. *Integrated Manufacturing Systems*, v. 10, n. 4, p. 199-209, 1999.
- ONODERA, K. Effective techniques of FMEA at each life-cycle stage. *Proceedings of the Annual Reliability & Maintainability Symposium*, p. 50-56, 1997.
- OSBORNE, D. M.; ARMACOST, R. L. Review of techniques for optimizing multiple quality characteristics in product development. *Computers & Industrial Engineering*, v. 31, n. 1/2, p. 107-110, 1996.
- PALADINI, E. P. *Controle de qualidade: uma abordagem abrangente*. São Paulo: Atlas, 1990.
- PALADINI, E. P. *Qualidade total na prática*. São Paulo: Atlas, 1997.
- PALADINI, E. P. *Gestão da qualidade: teoria e prática*. São Paulo: atlas, 2000.
- PALADY, P. *FMEA – Análise dos modos de falha e efeitos, prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram*. São Paulo: IMAM, 2004.
- PENSO, C. C. *Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos na indústria de alimentos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 195 p., 2003.
- PIDD, M. *Modelagem empresarial: ferramentas para a tomada de decisão*. Porto Alegre: Bookman, 1998.
- PHILLIPS, R.; NEAILEY, K; BROUGHTON, T. A comparative study of six stage-gate approaches to product development. *Integrated Manufacturing Systems*, v. 10, n. 5, p. 289-297, 1999.
- PMI Standards Committee. *A guide to the project management body of knowledge*. 3 ed. Pennsylvania: Project Management Institute Publications, 2004. Disponível em: <http://www.pmi.org>. Acessado em: 9 de julho de 2007.

- REICHHELD, F.F.; SASSER, W.E. Zero-defections: quality comes to services. *Harvard Business Review*, September/October, p. 105-11, 1990.
- ROSS, P. J. Aplicações das técnicas de Taguchi na engenharia da qualidade. São Paulo: Makron, McGram-Hill, 1991.
- ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SAKURADA, E. Y. As técnicas de análise dos modos de falhas e seus efeitos e análise da árvore de falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2001.
- SANDERS, D.; ROSS, W.; COLEMAN, J. The process map. *Quality Engineering*, v. 11, n. 4, p. 555-561, 1999.
- SEBASTIANELLI, R; TAMIMI, N. How product quality dimensions relate to defining quality. *International Journal Of Quality & Reliability Management*, v. 19, n. 4, p. 442-453, 2002.
- SILVA, C. E. S. Método para avaliação do desempenho do processo de desenvolvimento de produtos. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2001.
- SILVA, E. L. e MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 138 p. Florianópolis: UFSC, 2005.
- SILVA, J. O. Formação da equipe aplicada ao desenvolvimento de produtos: proposta de uma sistemática baseada nas atividades do projeto alinhadas ao perfil do indivíduo, necessário para desempenhar as atividades. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 196 p., 1997.
- SHARMA, J. R.; SHARMA, D. K.; RAWANI, A. M. Quality driven product development. *IET Manufacturing Engineer*, Junho/Julho, 2006.
- SHEN, X. X.; TAN, K. C.; XIE, M. An integrated approach to innovative product development using Kano's model and QFD. *European Journal of Innovation Management*, v. 3, n. 2, p. 91-99, 2000.
- SIMMS, C.; GARVIN, J. S. "It's a black art": "design of experiments" switches on the light. *Managerial Auditing Journal*, v. 17, n. 1, p. 65-71, 2002.
- SOBEK, D. K. II; WARD, A. C. Principles from Toyota's set-based concurrent engineering. In: *Proceedings of the 1996 ASME design engineering technical conference and computers in engineering conference*, p. 1-9, 1996.
- SRINIVASAN, R.; KRASLAWSKI, A. Application of the TRIZ creativity enhancement approach to design of inherently safer chemical processes. *Chemical Engineering and Processing*, n. 45, p. 507-514, 2006.
- STRATTON, R.; MANN, D. Systematic innovation and the underlying principles behind TRIZ and TOC. *Journal of Materials Processing Technology*, n. 139, p. 120-126, 2003.
- SWIFT, K.G.; RAINES, M.; BOOKER, J.D. Analysis of product capability at the design stage. *Journal of Engineering Design*, v. 10, n. 1, p. 77-91, 1999.
- SWIFT, K. G.; BOOKER, J. D. Engineering for conformance. *The TQM Magazine*, v. 8, n. 3, p.54-60, 1996.
- TAGUCHI, G. Quality engineering (Taguchi methods) for the development of electronic circuit technology. *IEEE Transactions on Reliability*, v. 44, n. 2, p. 225-229, 1995.
- TAGUCHI, G.; ELSAYED, E. A.; HSIANG, T. *Quality engineering in production systems*. McGraw-Hill, 1989.
- THIA, C. W.; CHAI, K. H.; BAULY, J.; XIN, Y. An exploratory study of the use of quality tools and techniques in product development. *The TQM Magazine*, v. 17, n. 5, p. 406-424, 2005.
- WARD, A. C. *The lean development skills box*. Ward Synthesis Inc., 2002.
- WHEELER, D. J.; CHAMBERS, D. S. *Understanding statistical process control*. SPC Press, 1992.
- WILLIAMS, M.A.; KOCHAR, A.K. New product introduction practices in the British manufacturing industry. *Proc. Instn. Mech. Engrs., Part B*, Vol. 214, pp. 853-63.
- ZHANG, Z. Application of experimental design in new product development. *The TQM Magazine*, v. 10, n. 6, p. 432-437, 1998.

## ANEXO A

TABELA A.1 – Critério de avaliação de severidade do FMEA

<b>Critério de Avaliação de SEVERIDADE</b>			
<b>Pontuação</b>	<b>Severidade</b>	<b>Descrição</b>	<b>Comer</b>
<b>1</b>	<b>Nenhuma</b>	Não tem efeito no consumidor	Não será notado
<b>2</b>	<b>Muito Leve</b>	Consumidor pode ver, mas não ficará incomodado	Não contará aos amigos
<b>3</b>	<b>Minima</b>	Consumidor verá e pode ficar levemente incomodado.	Provavelmente não contará
<b>4</b>	<b>Menor</b>	Consumidor ficará levemente incomodado	Contará aos amigos, pode produto
<b>5</b>	<b>Moderada</b>	Consumidor ficará levemente insatisfeito	Contará aos amigos, deseje
<b>6</b>	<b>Significante</b>	Consumidor ficará insatisfeito	Pode gerar um chamado de amigos, pode não voltar a o desejará uma troca de pro
<b>7</b>	<b>Séria</b>	Consumidor ficará muito insatisfeito	Tempo de reparo em campo não voltará a comprar outro comprar um produto com b demonstração no ponto de
<b>8</b>	<b>Muito Séria</b>	Consumidor ficará extremamente insatisfeito	Tempo de reparo em campo pode vir a devolver o produto produto com base em mod ponto de venda
<b>9</b>	<b>Extremamente Séria</b>	Segurança do consumidor em risco ou não cumprimento de requisitos regulatórios voluntários	Pode resultar em um proce
<b>10</b>	<b>Danosa</b>	Risco à vida ou não cumprimento de requisitos regulatórios mandatórios	Produto não pode ser vend

TABELA A.2 – Critério de avaliação de ocorrência do FMEA

<b>Critério de Avaliação de OCORRÊNCIA</b>			
<b>Pontuação</b>	<b>Ocorrência</b>	<b>Descrição</b>	<b>Comentários</b>
<b>1</b>	<b>Extremamente Improvável</b>	chance de ocorrência <0,00005% (0,5 ppm)	Severidade nível 10 DEVE ser classificado como "aceitável" para esta área. Dependendo da política da empresa, a análise da árvore de falha pode ser exigida para provar que a chance de ocorrência é suficientemente baixa para atender a esta exigência deve estar listada no campo de "recomendada"
<b>2</b>	<b>Improvável</b>	chance de ocorrência >0,00005% <0,0005% (0,5 - 5 ppm)	Severidade nível 9 DEVE ser classificado como "aceitável" para esta área. Dependendo da política da empresa, a análise da árvore de falha pode ser exigida para provar que a chance de ocorrência da falha é suficientemente baixa para atender aos requisitos de segurança deve estar listada no campo de "recomendada"
<b>3</b>	<b>Mínima</b>	chance de ocorrência >0,0005% <0,005% (5-50 ppm)	
<b>4</b>	<b>Probabilidade Muito Leve</b>	chance de ocorrência >0,005% <0,05% (50-500ppm)	
<b>5</b>	<b>Probabilidade Leve</b>	chance de ocorrência >0,05% <0,5% (500-5000 ppm)	
<b>6</b>	<b>Baixa Probabilidade</b>	chance de ocorrência >0,5% < 1% (5000-10.000 ppm)	
<b>7</b>	<b>Média Probabilidade</b>	chance de ocorrência > 1% < 2% (10.000-20.000)	
<b>8</b>	<b>Probabilidade Moderadamente Alta</b>	chance de ocorrência > 2% < 3% (20.000-30.000 ppm)	
<b>9</b>	<b>Alta Probabilidade</b>	chance de ocorrência > 3% < 4% (30.000-40.000 ppm)	
<b>10</b>	<b>Probabilidade Extremamente Alta</b>	chance de ocorrência > 4% (> 40.000 ppm)	

TABELA A.3 – Critério de avaliação de detecção do FMEA

<b>Critério de Avaliação de DETECÇÃO</b>				
<b>Pontuação</b>	<b>Detecção</b>	<b>Descrição</b>		<b>Comer</b>
<b>1</b>	<b>Certa</b>	O defeito será identificado antes da liberação do projeto para a manufatura		Severidade nível 10 DEVE s... área. Dependendo da política... análise da árvore de falha p... provar que a chance de oc... suficientemente baixa para... esta exigência deve estar l... recomendada"
<b>2</b>	<b>Quase Certa</b>			Severidade nível 9 DEVE s... Dependendo da política da... da árvore de falha pode ser... chance de ocorrência da fa... baixa para atender aos req... deve estar listada no camp...
<b>3</b>	<b>Alta Probabilidade</b>			
<b>4</b>	<b>Muito provável</b>			
<b>5</b>	<b>Provável</b>			
<b>6</b>	<b>Moderadamente Provável</b>			
<b>7</b>	<b>Pode não ser</b>			
<b>8</b>	<b>Provavelmente não será</b>			
<b>9</b>	<b>Quase Nenhuma Probabilidade</b>			
<b>10</b>	<b>Nenhuma Probabilidade</b>	O defeito não será identificado antes da liberação do projeto para a manufatura		

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)