

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**Centro Tecnológico**

**PósMCI - Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial**

**Labmetro – Laboratório de Metrologia e Automação  
Departamento de Engenharia Mecânica**

**“PLANEJAMENTO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE NO  
CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS:  
ESTUDO DE CASO DE UM TERMINAL ELETRÔNICO”**

Dissertação submetida à: Universidade Federal de Santa Catarina para  
a obtenção do Grau de Mestre em Metrologia

**André Dias de Oliveira**

**Florianópolis, 04 de outubro de 2001**

**“PLANEJAMENTO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE NO CONTEXTO DO  
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS: ESTUDO DE CASO DE UM TERMINAL  
ELETRÔNICO”**

***André Dias de Oliveira***

**Especialidade:** Metrologia Científica e Industrial

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de Mestre em Metrologia aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial.

Prof . Carlos Alberto Schneider, Dr. Ing.

ORIENTADOR

Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr. Eng.

COORDENADOR DO CURSO DE MESTRADO EM METROLOGIA CIENTÍFICA E INDUSTRIAL

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Nelson Back, Dr. Eng.

---

Prof. Abelardo Alvez de Queiroz, Ph.D.

---

Prof. André Roberto de Souza, Dr. Eng.

*Dedico este trabalho aos meus pais,  
Maria do Carmo e Alcides, pelo amor  
e apoio incondicional que me  
dispensaram durante toda minha vida.*

## AGRADECIMENTOS

À minha família : meus pais, Maria do Carmo e Alcides, e meus queridos irmãos, Adriana e Alex, que nunca me faltaram com seu apoio;

Aos novos membros desta família: Priscila, Teresinha e à pequena Amanda, minha sobrinha, que com sua chegada veio iluminar nossos caminhos;

A Antônio Dias de Oliveira, meu tio, pelo seu apoio durante meu período como estudante, com toda certeza um dos grandes responsáveis por eu ter aqui chegado;

À CAPES pelo financiamento e incentivo ao Programa de Mestrado em Metrologia Científica e Industrial da UFSC;

À Fundação CERTI, particularmente ao Centro de Metrologia e Inovação de Processos, pela oportunidade de participar intensivamente em um importante projeto, o que contribuiu não apenas para esse trabalho, mais também para minha formação profissional;

Ao LABMETRO por me conceder a oportunidade de participar de um programa de pós-graduação de alto nível;

A Günther Pfeiffer, pela oportunidade concedida e confiança depositada, por também compartilhar comigo seu conhecimento e experiência;

Ao Professor Carlos Alberto Schneider, pela orientação, incansável incentivo, pelo espaço e apoio às minhas idéias;

Ao Professor Armando Albertazzi Gonzalves Jr., pela serenidade e sensatez com que coordenada o Curso de Mestrado em Metrologia Científica e Industrial.

Ao amigo Vicente Machado, pela revisão e valiosa contribuição que deu a este trabalho.

A todos os amigos do LABMETRO, pelo companheirismo e apoio durante o período de pós-graduação. Em especial à turma 99, com os mesmos objetivos auxiliamos uns aos outros e estou certo de que, independente do trabalho que cada um desenvolveu, fomos um sucesso como grupo – espero encontrá-los novamente.

# Sumário

<b>Sumário .....</b>	<b>v</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>ix</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>Cenário – O Processo de Desenvolvimento de Produtos Tecnológicos .....</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Porque desenvolver produtos rapidamente? .....</i>	1
1.2 <i>As particularidades dos Produtos Mecatrônicos .....</i>	5
1.3 <i>O Papel do Planejamento e Avaliação da Qualidade no Processo de Desenvolvimento de Produtos .....</i>	7
1.4 <i>Proposta de Trabalho: O Planejamento e Avaliação da Qualidade Ancorada no Processo de Desenvolvimento com vistas à transferência de especificações do Projeto ao Processo de Montagem. ....</i>	9
1.4.1 <i>O Modelo de Processo de Desenvolvimento adotado. ....</i>	9
1.4.2 <i>Resultados almejados com o trabalho. ....</i>	12
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>13</b>
<b>Planejamento e Avaliação da Qualidade no Desenvolvimento da Arquitetura e Projeto Detalhado do Produto .....</b>	<b>13</b>
2.1 <i>Planejamento e Avaliação da Qualidade do Produto e do Processo. ....</i>	13

2.2 A Engenharia Simultânea.....	14
2.3 Envolvimento de Fornecedores.....	15
2.3.1 Envolvimento entre Empresa Integradora e Fornecedores - Cenário Nacional.....	15
2.3.2 A Tendência de Fornecimento.....	16
2.3.3 Quando Envolver Fornecedores no PDP.....	18
2.3.4 Homologação de Fornecedores .....	20
2.4 Investigação de Características Críticas e Significativas.....	21
2.5 Análise das Tolerâncias de Fabricação e de Montagem.....	22
2.5.1 Determinação de Tolerâncias utilizando o Método do Pior Caso.....	23
2.5.2 Determinação Estatística de Tolerâncias.....	24
2.5.3 Análise Crítica do Processo de Especificação de Tolerâncias .....	26
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>30</b>
<b>A Avaliação da Qualidade na Transferência do Projeto ao Processo de Montagem.....</b>	<b>30</b>
3.1 As Diferentes Formas de Avaliação da Qualidade .....	30
3.2 O Planejamento da Inspeção .....	33
3.2.1 Definição da Característica a Inspeccionar .....	35
3.2.2 Definição do Tipo de Inspeção de Recebimento.....	36
3.2.3 Definição dos Recursos Humanos .....	40
3.2.4 Definição do Meio de Inspeção .....	40
3.2.5 Definição da Documentação .....	41
3.3 Análise Crítica da Viabilidade da Inspeção.....	41

<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>44</b>
<b>Inspeção da Qualidade na Fase de Montagem .....</b>	<b>44</b>
4.1 <i>Utilização dos Resultados de Inspeção.....</i>	44
4.2 <i>Otimização dos Planos de Inspeção de Recebimento.....</i>	47
4.2.1 <i>Mudança do Regime de Inspeção – ISO 2859 .....</i>	47
4.2.2 <i>Mudança da Característica a Inspeccionar.....</i>	50
4.2.3 <i>Redução do Nível de Qualidade Aceitável (N.Q.A).....</i>	50
4.3 <i>A Auditoria de Produto Acabado. ....</i>	52
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>55</b>
<b>Garantia da Qualidade no Processo de Desenvolvimento do Terminal Eletrônico .....</b>	<b>55</b>
5.1 <i>A Escolha do Estudo de Caso.....</i>	55
5.2 <i>Caracterização do Produto e do Processo .....</i>	56
5.3 <i>A Sistemática de Desenvolvimento de Garantia da Qualidade no Desenvolvimento. ....</i>	57
5.3.1 <i>Abordagem Adotada para Componentes Injetados. ....</i>	58
5.3.2 <i>Abordagem Utilizada aos Componentes Eletrônicos. ....</i>	58
5.3.3 <i>Detalhamento da Inspeção de Recebimento Aplicada. ....</i>	60
5.4 <i>Os Resultados Obtidos .....</i>	60
5.4.1 <i>Inspeção de Recebimento.....</i>	61
5.4.2 <i>Unidades Defeituosas no Processo de Montagem. ....</i>	63
5.4.3 <i>Resultados do Processo de Inspeção Final do Produto.....</i>	65

<i>5.4 Constatação dos Efeitos do Planejamento/Avaliação da Qualidade.....</i>	<i>67</i>
<b>Considerações Finais e Conclusões .....</b>	<b>71</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>74</b>



# Índice de Figuras

Fig. 1.1 Evolução da Abordagem da Garantia da Qualidade [4].....	3
Fig. 1.2 Os Três Pilares da Organização Capaz [1].....	4
Fig. 1.3 Características Gerais dos Produtos Focados [14].....	5
Fig. 1.4 Atores do Processo de Produção de Produtos Mecatrônicos.....	6
Fig. 1.5 Planejamento e Avaliação da Qualidade no Contexto da Garantia da Qualidade .....	7
Fig. 1.6 Frequência de Modificações de Projeto no Japão e USA [5].....	8
Fig. 1.7 O PDP Adotado e Exemplos de Atividades de Planejamento/Avaliação da Qualidade.....	11
Fig. 2.1 Tendência a ser seguida pela indústria Integradora [5].....	17
Fig. 2.2 Estágio de Envolvimento do Fornecedor no PDP.....	19
Fig. 2.3 Exemplo de Etapas para Homologação de Fornecedores.....	21
Fig. 2.4 Constatação de Interferência não Realista via Análise do Pior Caso [Adaptado de 25].....	25
Fig. 2.5 Requisito de montagem é satisfeito segundo o método da Análise Estatística.....	26
Fig. 2.6 Nova abordagem necessária a competitividade.....	28
Fig. 2.7 Processo para Especificação de Tolerâncias em Produto Integrado.....	29
Fig. 3.1 Desdobramento dos Custos Relativos à Qualidade [20].....	31
Fig. 3.2 Evolução dos Custos da Qualidade com aplicação em avaliação e prevenção .....	32
Fig. 3.3 Ênfase em Avaliação na Diminuição dos Custos da Qualidade [35].....	33

Fig. 3.4 Localização da Inspeção no Cenário da Qualidade.....	34
Fig. 3.5 Operação Esquemática de Amostragem Simples, Dupla e Múltipla [31].....	39
Fig. 3.6 Sequência para preparar e armazenar ordens de inspeção [Adaptado de 5].....	42
Fig. 4.1 Papel da Inspeção no Ciclo de Realimentação da Qualidade em Processo de Montagem [Adaptado de 4].....	45
Fig. 4.2 Troca de Regime de Inspeção Segundo ISO 2859 [31].....	49
Fig. 4.3 Exemplo de Dinamização segundo ISO 2859 [5].....	49
Fig. 4.4 Dinâmica de Atualização de Plano de Inspeção.....	52
Fig. 4.5 Baixa probabilidade de produtos integrados livres de defeitos [25].....	54
Fig. 5.1 – Estrutura do Produto Objeto do Estudo de Caso.....	57
Fig. 5.2 Sistemática da Garantia da Qualidade para Componentes Injetados.....	59
Fig. 5.3 Dez Componentes mais Críticos em Inspeção de Recebimento.....	63
Fig. 5.4 Defeitos ocorridos durante o processo de montagem.....	64
Fig. 5.5 Não Conformidades Constatadas em Inspeção Final de Produto Acabado....	67
Fig. 5.6 Constatação do efeito do Planejamento/Avaliação da Qualidade no Desempenho Fabril.....	68
Fig. 5.7 Yield de Processo de Montagem – Empresa de Qualidade Classe Mundial...	69

## Resumo

### **“PLANEJAMENTO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE NO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS: ESTUDO DE CASO DE UM TERMINAL ELETRÔNICO”**

A atual tendência da diminuição do ciclo de vida de produtos e conseqüente diminuição de seu tempo de desenvolvimento torna o projeto de um produto de qualidade uma tarefa desafiadora. Particularmente para a indústria integradora de produtos tecnológicos, constituídos por componentes/módulos/sistemas mecânicos e eletrônicos esta é uma atividade ainda mais difícil, uma vez que a liberação de um produto de alta qualidade é extremamente dependente não só do desempenho da empresa integradora, mas também de sua cadeia de fornecedores.

Dentro deste contexto, o presente trabalho discute e alinha atividades básicas de Planejamento e Avaliação da Qualidade ao Processo de Desenvolvimento de Produtos Tecnológicos tendo como objetivo principal culminar em uma inspeção de recebimento nas instalações da indústria integradora que possa ser ao mesmo tempo otimizada e agregadora de valor no processo de desenvolvimento de produtos. Este conjunto de atividades básicas de planejamento e avaliação da qualidade constitui-se de : *Envolvimento e Qualificação de Fornecedores; Determinação de Características Críticas, Principais e Secundárias; Análise e Determinação de Tolerâncias; Desenvolvimento da Inspeção de Recebimento; Dinamização da Inspeção de Recebimento.*

Tais atividades são expostas e têm sua aplicação em um ambiente com restrições de recursos e de tempo - situação muito comum neste setor industrial brasileiro - extensamente discutida. O trabalho também apresenta um estudo de caso no qual teve-se a oportunidade de aplicar todas as atividades aqui exploradas no desenvolvimento de um produto e conseqüentemente constatar seu impacto na melhoria de desempenho do processo de montagem. Os principais problemas encontrados tanto na inspeção de recebimento quanto no processo de montagem são discutidos e procura-se assinalar as principais causas de um ponto de vista macro. Apesar dos bons resultados obtidos procura-se também, através de uma comparação com um benchmark, mostrar o potencial ainda existente para a melhoria da qualidade no processo de montagem do produto através da aplicação sistemática de planejamento e avaliação da qualidade.

## **Abstract**

### **“QUALITY PLANNING AND EVALUATION IN THE CONTEXT OF PRODUCT DEVELOPMENT: ELECTRONIC TERMINAL CASE STUDY”**

The current trend of shortening product lifecycle and the shrinking design time has made the design of high quality products a challenging task. The task is particularly hard for the assembly industry which manufactures high-technology products, comprised of mechanic and electronic components/modules/systems, since the delivery of a high quality product depends not only on the assembly industry's performance, but also depends on its supplier chain's performance.

In this context, the present work discusses and aligns Quality Planning and Evaluation activities with the Rapid Product Development Process for high-tech products. The main goal is to culminate in an optimized incoming inspection in the manufacturing plant that is also able to add value to the Product Development Process. The basic Quality Planning and Evaluation activities include: Suppliers' Evaluation and Involvement in the Product Development Process; Determination of Critical, Main and Secondary Characteristics; Tolerance Analysis and Design; Development of the Incoming Inspection; Dinamization of the Incoming Inspection.

Such activities are exposed and are applied in an environment with restrictions of time and resources, a very common scenario in this Brazilian industrial sector. The work also presents a case study where all the activities listed above are applied in the development of a product and consequently evidences its impact by improving performance of the assembly process. The main difficulties met in the incoming inspection as well as in the assembly process are discussed, the work also seeks to assign the main causes from a macro standpoint. Even obtaining good results in the performance of the assembly process, an assembly process benchmark is presented to show the latent potential for quality improvement that can be achieved applying systematically further quality planning and evaluation.



# CAPÍTULO 1

## Cenário – O Processo de Desenvolvimento de Produtos Tecnológicos

O atual cenário da competitividade mundial aponta para uma situação onde são componentes chaves para o sucesso de uma organização: inovação, rapidez e credibilidade. Empresas dispostas geograficamente em todas as partes do planeta se deparam com a crescente necessidade de colocar produtos no mercado rápida e eficientemente rompendo barreiras geográficas, culturais e tarifárias.

Nesta *batalha* apenas sobreviverão as empresas que mostrarem habilidades para lidar com este novo ambiente, sendo de importância estratégica sua capacidade de prospectar as necessidades de seus clientes, conceber conceitos que satisfaçam tais necessidades, desenvolvê-los e produzi-los competitivamente em um tempo reduzido, tempo este que hoje, mesmo no cenário de produtos complexos, já pode estar reduzido a poucos meses [1]. Neste processo, cada área da empresa (marketing, pesquisa e desenvolvimento, manufatura, garantia da qualidade, compras, suporte etc.) tem seu papel, sendo este mais ou menos crítico dependendo do tipo de produto, parcela do mercado a ser alcançada, tempo de desenvolvimento entre outros fatores.

Dentro do contexto desta difícil tarefa, a de desenvolver produtos complexos em um tempo reduzido a custo competitivo, um fator de suma importância que pode ser facilmente atropelado é a qualidade alcançada do produto. Portanto, resulta indispensável explorar como os meios/métodos para alcançar tal qualidade se inserem neste contexto, o do Desenvolvimento de Produtos Tecnológicos.

### 1.1 Porque desenvolver produtos rapidamente?

Diante desta tendência, é razoável questionar o que causa o encurtamento do tempo de vida de um produto e o associado encurtamento do seu tempo de desenvolvimento. Cita-se aqui como principais causas dessa tendência [1] :

- **Avanços Tecnológicos:** a base mundial de conhecimento e tecnologia cresce a uma taxa exponencial, este crescimento estimula a inovação de produtos e de processos tornando possível hoje soluções impensáveis no passado, soluções estas que naturalmente encontram seu lugar no mercado.
- **Globalização:** tem-se hoje acesso ao chamado mercado global, conseqüentemente os mercados domésticos são disputados por concorrentes internacionais.
- **As expectativas/necessidades dos clientes:** o indiscutível desenvolvimento da tecnologia da informação fez com que os clientes fossem expostos a uma gama maior de informações o que provoca o despertar constante de expectativas latentes.

A comprovação da tendência do encurtamento do ciclo de vida de produtos pode ser mostrada por estudos realizados por A. D. Little, onde se constata que o ciclo de vida de produtos tem encurtado por um fator de 4 nos últimos cinquenta anos [1]. Tal tendência também é comprovada na indústria automobilística, que teve o tempo de desenvolvimento de seus produtos que era de 5-6 anos reduzido para 2-3 anos [2,3].

Os fatores acima descritos impulsionam constantemente a criação de produtos com alta qualidade, curto tempo de desenvolvimento e baixo custo [1,4,5,6]. Na busca pela satisfação desses três critérios, o processo de garantia da qualidade evoluiu em sua abordagem passando pelos seguintes estágios [7]:

- **1º. Estágio:** Busca da Garantia da Qualidade orientada pela inspeção;
- **2º. Estágio:** Busca da Garantia da Qualidade orientada pelo Controle de Processos;
- **3º. Estágio:** Busca da Garantia da Qualidade orientada pelo Desenvolvimento Integrado de Produtos.

Tal evolução pode ser modelada de acordo com a figura 1.1.

O primeiro dos estágios – GQ orientada pela Inspeção Seletiva – não promovia uma melhoria da qualidade no processo produtivo, assegurando a qualidade do produto apenas pela triagem ao final do processo, isto levou a errônea crença de que melhoria da qualidade estava intrinsecamente ligada ao aumento do custo do produto.

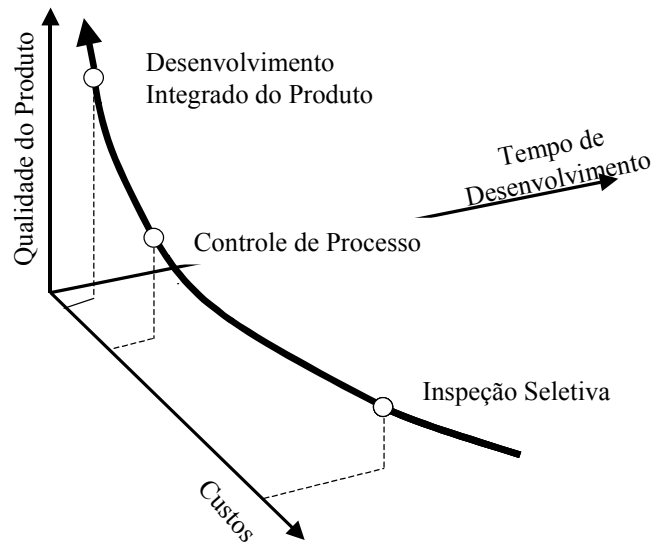


Fig. 1.1 – Evolução da Abordagem da Garantia da Qualidade [4]

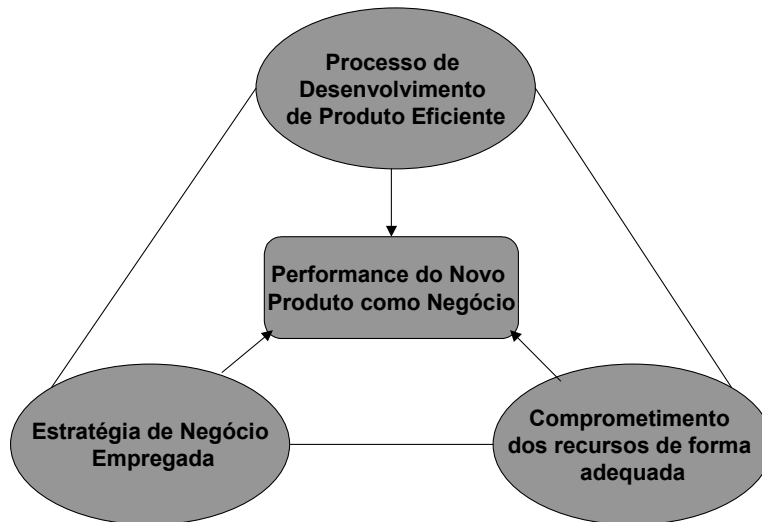
Já no segundo estágio – GQ orientada pelo Controle de Processo – alcançou-se um progresso significativo uma vez que problemas originados no processo não mais se proliferavam até o final da linha de produção e sim eram solucionados na sua fonte, no entanto, problemas intrínsecos de cada produto ainda continuavam a se manifestar em todos os estágios do desenvolvimento.

A grande mudança de paradigma ocorreu com o terceiro estágio – GQ orientada pelo Desenvolvimento Integrado de Produtos – com a percepção de que a qualidade do produto, ou seja, o atendimento às expectativas do cliente, deve ser construída desde os estágios mais precoces do desenvolvimento [17,5,9,10].

Objetivando o atendimento às expectativas dos clientes a organização precisa:

- Prospectar precisamente as necessidades/oportunidades;
- Conceber e desenvolver soluções para tais oportunidades;
- Produzi-las de forma eficiente a custo competitivo em um tempo reduzido;
- *Reconhecer, entender e gerir* os diferentes aspectos do processo de desenvolvimento de forma a maximizar o sucesso do produto [14]





**Fig. 1.2 – Os Três Pilares da Organização Capaz [1]**

Alcançar o acima descrito não constitui tarefa fácil para uma organização composta por vários departamentos (cada qual com objetivos distintos) e diferentes níveis de compreensão da missão da empresa. Na figura 1.2 pode-se visualizar o resultado de um estudo de benchmarking [1] envolvendo centenas de organizações desenvolvedoras de produtos, mostrando que todas as organizações de sucesso apresentavam uma base formada por três elementos fundamentais: boa estratégia de novos produtos, adequada alocação de recursos e um processo de desenvolvimento de produtos eficiente.

Ainda neste mesmo estudo, foi demonstrado que o Processo de Desenvolvimento de Produtos constitui o mais importante deles, embora a sinergia promovida quando da interação dos três fatores levem aos melhores resultados.

Cabe salientar também, que a mera existência de um processo de desenvolvimento formalizado, não tem direta relação com o sucesso do produto, o que determina o sucesso é a natureza deste processo, ele precisa constituir um instrumento que catalise o desenvolvimento [11]. Deve, portanto, incorporar as diversas visões parciais (marketing, projeto, manufatura, suporte e etc.) de forma balanceada, harmonizando as atividades e visando um produto de alta qualidade.

## 1.2 As particularidades dos Produtos Mecatrônicos

Objetivando delimitar o escopo da discussão ao longo deste trabalho, focou-se especialmente nos produtos com as seguintes características:

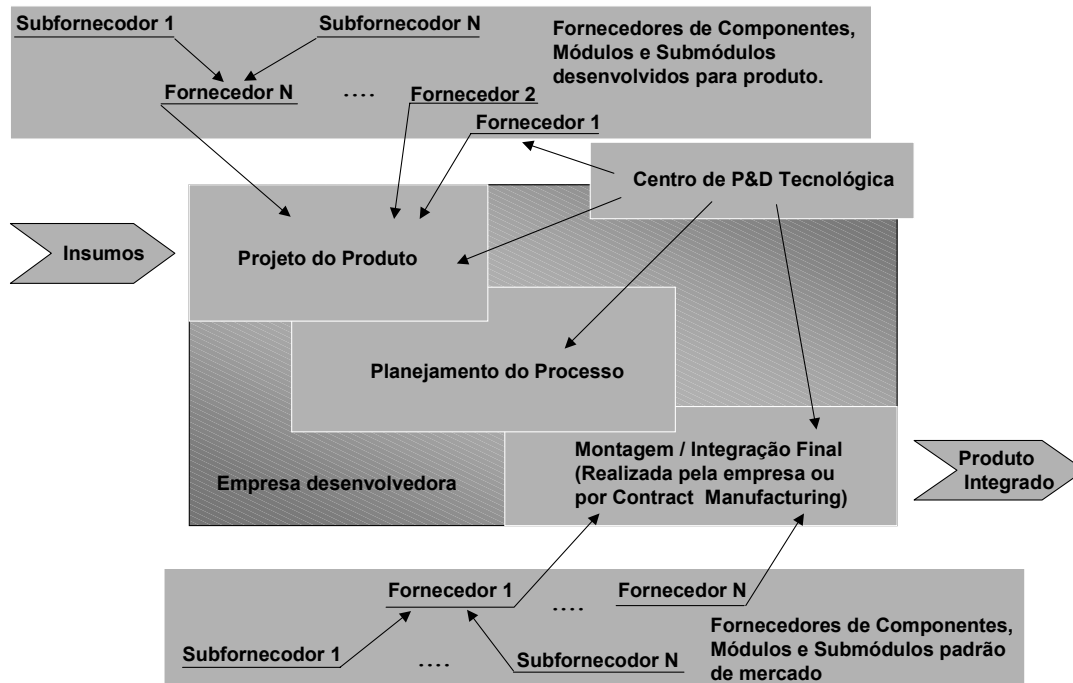
- Alto valor agregado (muita engenharia) – o processo de criação é muito importante no seu desenvolvimento;
- Discretos, isto é, produzidos em unidades;
- Possuindo Mecânica, eletrônica e software integrados.

Dentro do universo de produtos com as características acima citadas, a ênfase se dá em produtos destacados na figura 1.3, que são produtos pertencentes a uma das duas categorias listadas abaixo:

- Produtos que têm seu desenvolvimento motivado pela necessidade do mercado;
- Produtos desenvolvidos sobre uma plataforma pré-determinada.

Diferentes Tipos de Produtos					
Tipo de produto	Desenvolvimento Motivado pelo Mercado	Desenvolvimento Motivado por nova Tecnologia	De Plataforma	De Processo Intensivo	Customizado
<b>Descrição</b>	A empresa inicia com a oportunidade e encontra tecnologias apropriadas para satisfazer as necessidades dos clientes	A companhia inicia com uma nova tecnologia e então encontra uma oportunidade de mercado	É assumido que o produto será desenvolvido sobre uma plataforma tecnológica já existente	O produto é fortemente influenciado pelo processo – São inseparáveis.	Novos produtos são variações de configurações já existentes.
<b>Particularidade</b>	Processo de Desenvolvimento de Produtos é de importância acentuada.	Fase de planejamento consiste em casar tecnologia e mercado	Desenvolvimento de conceito assume a plataforma.	Produto e processo “precisam” ser desenvolvidos ao mesmo tempo	Similaridade de projetos permitem um processo de desenvolvimento altamente estruturado
<b>Exemplos</b>	Produtos baseados em microprocessadores, eletrônica, brinquedos e etc..	Ligas metálicas, substâncias químicas e etc...	Computadores, impressoras.	Produtos químicos, semicondutores.	Motores, baterias, Relés e etc..

Fig. 1.3 – Características Gerais dos Produtos Focados [14]



**Fig. 1.4 – Atores do Processo de Produção de Produtos Mecatrônicos**

O enfoque parte do ponto de vista da indústria integradora final. Todas as reflexões, recomendações e conclusões partem da problemática enfrentada pela companhia que desenvolve um produto constituído por vários módulos, submódulos e componentes, sendo estes padrão de mercado ou não, sendo também muito dependente do desenvolvimento de sua cadeia de fornecedores. A figura 1.4 ilustra este cenário, onde figuram fornecedores importantes que trabalham já no projeto do produto e também os fornecedores de componentes padrão, que tomam parte no processo já na fase de montagem. Figuram no cenário também Centros de Pesquisa e Desenvolvimento que dependendo de sua área de competência tomam parte em todo o processo de desenvolvimento do produto.

Finalmente há de se salientar que a ênfase maior é colocada nas características mecânicas destes produtos, isso se justifica pelo foco durante o desenvolvimento dos estudos e também da aplicação prática desenvolvida. No entanto, muitas considerações ao longo do trabalho se aplicam também a características não mecânicas dos produtos.

### 1.3 O Papel do Planejamento e Avaliação da Qualidade no Processo de Desenvolvimento de Produtos

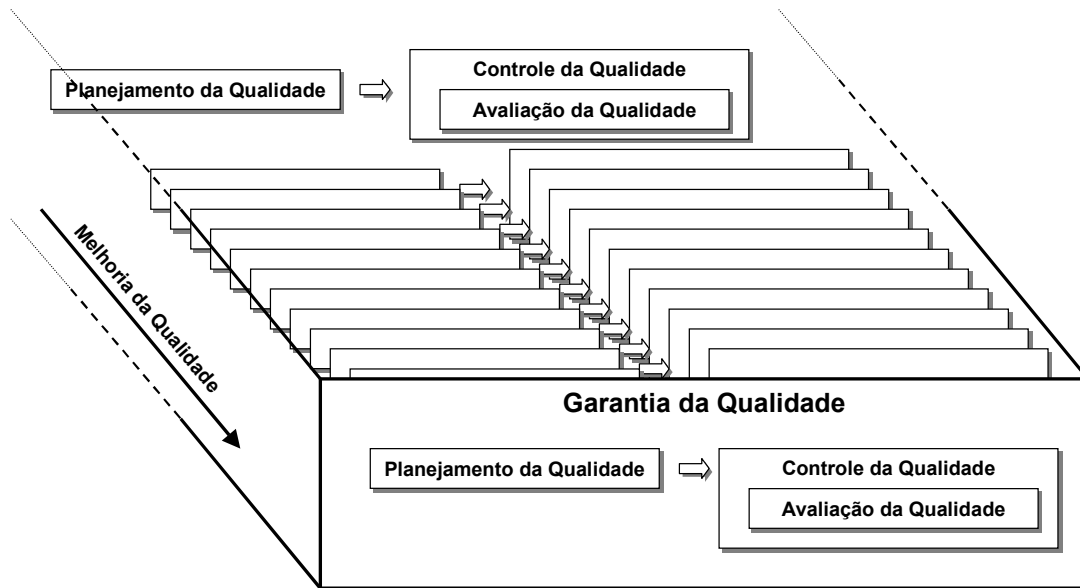
Tendo compreendido a tendência do desenvolvimento e limitado o escopo de discussão, resta esclarecer o papel que exercem as atividades de Planejamento e Avaliação da Qualidade dentro do Processo de Desenvolvimento Rápido de Produtos Tecnológicos.

É fato que existe certa confusão quanto à compreensão e utilização de termos referentes à temática da qualidade. Visando determinar como tais termos serão utilizados neste trabalho parte-se da definição de que o Planejamento da Qualidade *são atividades de determinação das metas da qualidade e dos métodos para alcançá-la*, tais atividades geram o Controle da Qualidade que, por sua vez, *são técnicas e atividades operacionais usadas para atender os requisitos para a qualidade* [12].

O Controle da Qualidade engloba a Avaliação da Qualidade que constitui o *exame sistemático para determinar até que ponto uma entidade é capaz de atender os requisitos especificados* [12]. Ocorre que as atividades de Planejamento e Controle da Qualidade, aplicadas sistemática e continuamente, são aperfeiçoadas e geram através da Melhoria da Qualidade, como mostrado na figura 1.5, a Garantia da Qualidade.

Garantia da Qualidade constitui o *conjunto de atividades planejadas e sistemáticas, implementadas e demonstradas como necessárias para prover confiança adequada de que uma entidade atenderá os requisitos para a qualidade* [12]. Conclui-se que a Garantia da Qualidade não pode ser diretamente implantada (como equivocadamente tratada por muitos), constitui sim uma conquista (resultado) da interação de uma série de atividades no âmbito a organização, a Figura 1.5 objetiva mostrar a evolução deste processo, observa-se que no início dos esforços - parte superior da figura – não se tem a garantia da qualidade consolidada, é necessário aplicação do Planejamento, Controle e Avaliação da Qualidade interativamente até que a Garantia da Qualidade se consolide. A organização, por sua vez, que atua neste mercado deve imperativamente possuir um Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) sendo este mais ou menos estruturado e que deve englobar as atividades de Garantia da Qualidade em sua estrutura como uma forma de assegurar a qualidade das atividades desenvolvidas e do produto resultante.

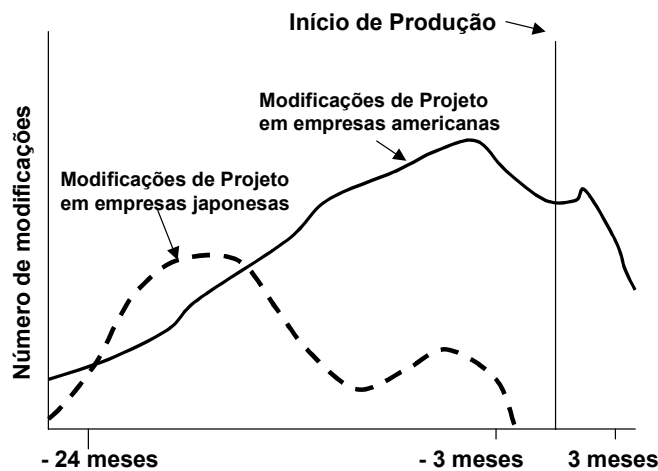
Tais atividades quando propriamente executadas, deslocam o foco do desenvolvimento da correção para a prevenção. A eficácia da abordagem com foco na prevenção pode ser mostrada comparando-se dois ambientes: um onde foi empregado o foco preventivo e outro



**Fig. 1.5 Planejamento e Avaliação da Qualidade no Contexto da Garantia da Qualidade**

onde se utilizou a abordagem convencional. Esta comparação pode ser visualizada na figura 1.6 onde se contrasta o número de modificações de projeto em empresas americanas (foco convencional) com o de empresas japonesas (foco preventivo).

O foco preventivo diminui a necessidade de modificações e antevê potenciais problemas ao longo do processo de desenvolvimento [13]. Já o foco na correção faz com que modificações sejam necessárias até mesmo depois do início da produção.



**Fig. 1.6 Frequência de Modificações de Projeto no Japão e USA [41]**

## **1.4 Proposta de Trabalho: O Planejamento e Avaliação da Qualidade Ancorada no Processo de Desenvolvimento com vistas à transferência de especificações do Projeto ao Processo de Montagem.**

Com a problemática do desenvolvimento rápido de produtos exposta e a preocupação na atuação em atividades de planejamento e avaliação da qualidade, o presente trabalho tem como proposta alinhar estas atividades com o PDP.

Adotou-se como referência o PDP apresentado por Ulrich e Eppinger [14] que servirá como um guia para apresentação, conceituação e discussão de tais atividades de planejamento e avaliação ao longo do processo de desenvolvimento. Ênfase maior é dada às atividades de avaliação, principalmente visando suavizar a transferência do projeto para a fase de montagem.

### **1.4.1 O Modelo de Processo de Desenvolvimento adotado.**

A partir de alguns dos modelos de processo de desenvolvimento de produtos mais conhecidos [8,1,14,15], optou-se por adotar um que bem se adequasse ao tipo de produto abordado. Definindo-se o PDP:

- **Processo de Desenvolvimento de Produtos:** a seqüência de etapas ou atividades que uma empresa emprega para conceber, projetar e produzir um produto. [14,16]

Importante salientar que não existe um modelo padrão de desenvolvimento de produto que “funcionará” para toda empresa. Cada empresa tem a missão de adotar um modelo de processo de desenvolvimento e adaptá-lo à sua realidade organizacional e às particularidades de seu produto. É possível lançar mão de uma vasta bibliografia contendo diversas visões particulares (modelos particulares) do processo de desenvolvimento de produtos, embora algumas delas sejam apenas levemente diferentes umas das outras.

O modelo de Processo de Desenvolvimento de Produto adotado (Fig. 1.7) possui as seguintes etapas:

- **Planejamento do Produto:** Esta fase se inicia com a estratégia da empresa e oportunidades de mercado. O resultado desta fase são as metas do projeto, que especificam parcela do mercado para o produto, metas econômicas e algumas limitações. Ao final desta fase se decide por iniciar ou não a fase de projeto.

- **Desenvolvimento do Conceito:** nesta fase, conceitos alternativos de produtos são gerados e avaliados e um ou mais conceitos são selecionados para maiores desenvolvimentos e testes. Um conceito é uma descrição de formas e funções de um produto e usualmente é acompanhado por um conjunto de especificações, uma análise de produtos concorrentes no mercado e uma justificativa econômica.
- **Desenvolvimento da Arquitetura:** esta fase consiste no desdobramento do produto em subsistemas e componentes. Como resultado desta fase usualmente se tem um layout geométrico do produto e uma especificação funcional de cada um dos subsistemas do produto. Muitos autores utilizam a designação “Projeto Preliminar” para descrever esta fase [15,8,18].
- **Projeto Detalhado:** a fase de projeto detalhado inclui a completa especificação da geometria, material e tolerâncias de cada uma das partes constituintes do produto e também a definição de todas as partes padronizadas a serem compradas de fornecedores. Um plano de processo é estabelecido e o ferramental é projetado para cada uma das partes a serem fabricadas integrantes do sistema. Como produto desta fase se tem a documentação de controle para o produto sendo esta constituída de: desenhos ou arquivos de computadores descrevendo a geometria de cada parte e seu respectivo ferramental, especificação de partes compradas e o plano de processo para fabricação e montagem do produto.
- **Aprovação do Projeto/Fabricação/Montagem:** Esta fase envolve a construção e avaliação de várias versões de pré-produção do produto. Protótipos são extensivamente avaliados internamente pela empresa e também por clientes em seu ambiente de utilização, sendo seu objetivo avaliar a performance e confiabilidade do produto.
- **Produção:** esta fase se inicia gradualmente. No início a taxa de produção é propositalmente baixa objetivando treinar pessoal de montagem e detectar alguns problemas de produção que possam ainda existir. Unidades produzidas durante o início de produção algumas vezes são fornecidos a clientes escolhidos e são cuidadosamente avaliados.

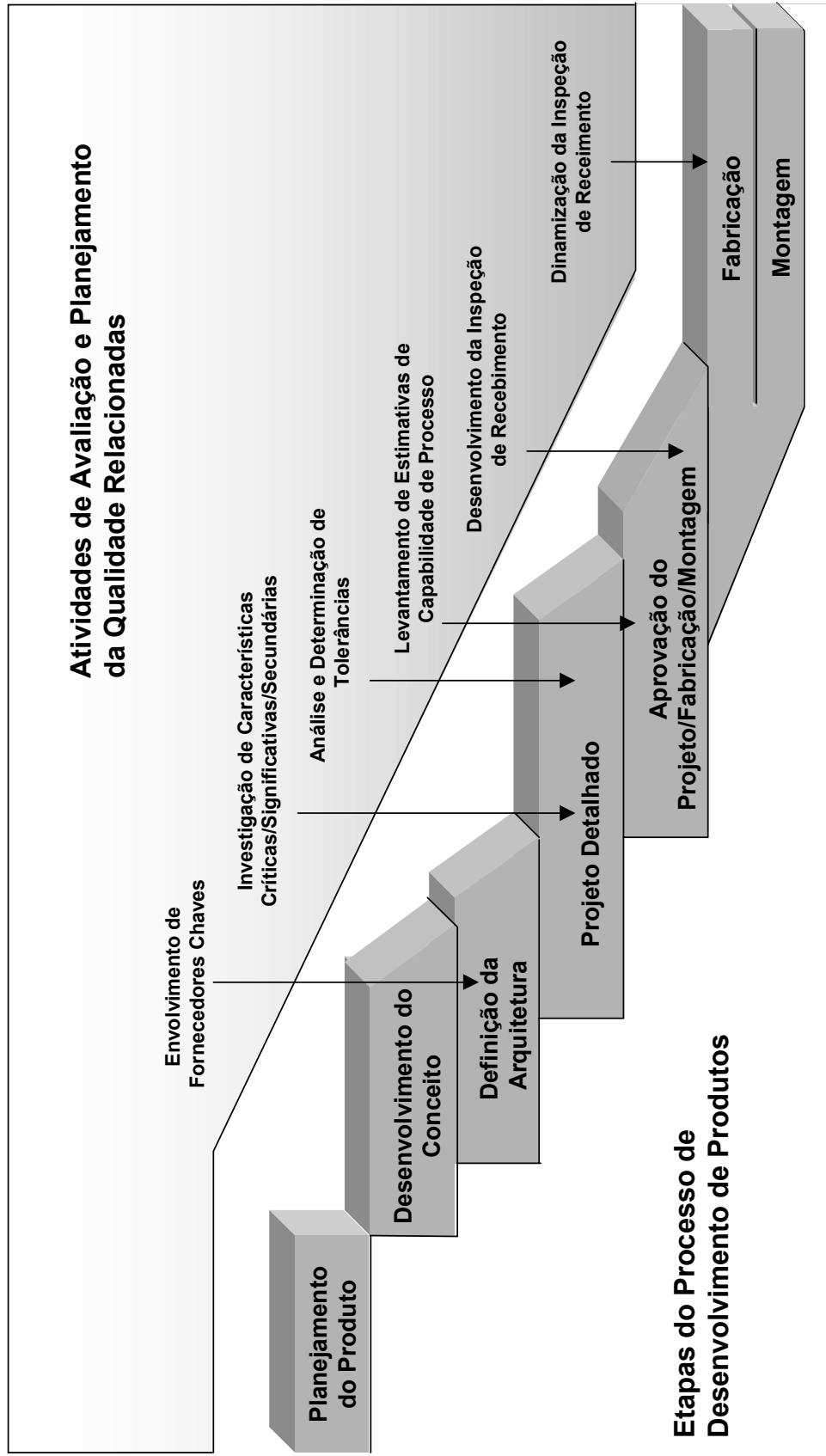


Fig. 1.7 O PDP Adotado e Exemplos de Atividades de Planejamento/Avaliação da Qualidade.



### **1.4.2 Resultados almejados com o trabalho.**

Como produto deste trabalho espera-se um conjunto de considerações, reflexões e recomendações de como atividades de planejamento e avaliação da qualidade alinhadas ao PDP (ver Figura 1.7) podem contribuir na transferência da fase de projeto para a fase de produção (montagem) com mínima sensibilidade a ruídos inerentes a esta transição.

Ao iniciar-se este estudo, planejava-se estruturar uma série de atividades que apoiassem e embutissem no processo de desenvolvimento de produtos mecatrônicos a visão da garantia da qualidade. Selecionou-se, baseando-se em extensiva pesquisa bibliográfica e também na experiência de profissionais atuantes na área, as atividades descritas na figura 1.7 como sendo atividades âncoras/principais neste processo, tendo sempre em mente que para a validação da estratégia muito provavelmente não se teria disponibilidade de muitos recursos, portanto, requisito primeiro sempre foi a preocupação com as limitações financeiras e segundo com as de tempo, uma vez que se trata de desenvolvimento rápido de produtos.

Após um período de estudo e conceituação, teve-se a feliz oportunidade de aplicar a estratégia desde o início do desenvolvimento de um produto de tal forma a afirmar e consolidar o conceito inicial. Como resultado desta experiência pode-se entender de uma forma mais clara como essas atividades se inter-relacionam e qual sua importância relativa dentro do Processo de Desenvolvimento do Produto.

O produto deste trabalho que se apresenta nos capítulos seguintes, é resultado de uma primeira etapa de estudo e conceituação enriquecida com a experiência de sua aplicação na prática. Os capítulos 2, 3 e 4 discutem como as atividades são desenvolvidas e quais as principais dificuldades de aplicação quando se tem limitações de recursos e tempo, no capítulo 5 apresenta-se um estudo de caso onde se procura ilustrar e comprovar a valia da estratégia aqui apresentada.

# CAPÍTULO 2

## **Planejamento e Avaliação da Qualidade no Desenvolvimento da Arquitetura e Projeto Detalhado do Produto**

Buscando gerar um produto de alta qualidade, as atividades preventivas devem ser iniciadas o mais precocemente possível no desenvolvimento do produto. O aumento da complexidade dos produtos e do número de tecnologias envolvidas tem como consequência a tendência da especialização [5,2]. Busca-se aqui demonstrar a importância e também a problemática do envolvimento de fornecedores nos estágios iniciais do desenvolvimento.

Já na fase de projeto detalhado, com a necessidade de especificação completa de todos os módulos, submódulos e componentes, é vital a prospecção e determinação de características importantes da qualidade a serem foco de atenção durante todas as etapas seguintes do processo produtivo [8,19]. São de especial interesse as formas de investigação e determinação de tais características, que serão o ponto de partida para a especificação adequada de tolerâncias e também para o desenvolvimento da Inspeção de Recebimento.

### **2.1 Planejamento e Avaliação da Qualidade do Produto e do Processo.**

O planejamento da qualidade tem como tarefas básicas [4]:

- Planejamento das características da qualidade do produto;
- Planejamento das características da qualidade do processo de produção;
- Planejamento da gestão da qualidade.

Observa-se dos itens citados que na visão moderna de planejamento da qualidade, produto e processo estão intrinsecamente correlacionados, o que nada mais é do que o reflexo de uma realidade que anteriormente não era assumida pelos desenvolvedores de produtos.

O foco crescente no planejamento se justifica pelo fato de que 70% dos custos para produzir um produto são definidos nas fases de planejamento, e com isso, 70 a 80% de todas as falhas/defeitos tem suas causas também definidas nesta etapa, no entanto, 80% de todas as falhas somente são percebidas na inspeção final do produto [5].

Tendo em vista a importância do assunto, ênfase no planejamento da qualidade, em conjunto com uma avaliação mais confiável da conformidade, vem sendo proposta por sistemas e normas da qualidade mundialmente difundidas, tais como ISO 9000 [5,20], QS 9000 [20] e seus manuais específicos como, por exemplo, o PPAP – Processo de Aprovação de Peça de Produção [21], o APQP – Planejamento Avançado da Qualidade do Produto [8], entre outros.

## **2.2 A Engenharia Simultânea**

A crescente complexidade dos produtos é uma tendência que força um aumento no tempo de desenvolvimento. No entanto, para se manterem competitivas as empresas precisam lançar novos produtos em espaços de tempo cada vez mais curtos [1,5,2]. Resulta indispensável portanto, esforços sistemáticos no sentido da redução do ciclo de desenvolvimento de produtos. Uma das alternativas adotadas por algumas organizações no início dos anos 80 foi o aumento do grau de paralelismo das atividades de desenvolvimento [22]. Atividades que eram realizadas somente após o término e aprovação das atividades anteriores são antecipadas de forma que seu início não dependa dos demorados ciclos de aprovação.

Iniciou-se em 1982 um estudo, conduzido pelo DARPA (Defense Advanced Research Project Agency), sobre maneiras de se aumentar o grau de paralelismo das atividades de desenvolvimento de produtos. O resultado desse trabalho, publicado em 1988, definiu o termo Engenharia Simultânea, tornando-se uma importante referência para novas pesquisas nessa área [22].

Engenharia Simultânea constitui-se em uma abordagem sistemática para o desenvolvimento integrado e paralelo do projeto de um produto e os processos relacionados, incluindo compras, manufatura e suporte. Essa abordagem procura fazer com que as pessoas envolvidas no desenvolvimento considerem, desde o início, todos os elementos do ciclo de vida do produto, da concepção ao descarte, incluindo qualidade, custo, prazos e requisitos dos clientes.

Do ponto de vista do qual estamos aqui interessados, ou seja, da indústria integradora, essa abordagem se torna ainda mais importante e vital pois estão envolvidos com muita intensidade no processo de desenvolvimento elementos externos à organização – os fornecedores – que constituem o próximo tópico a ser explorado.

## **2.3 Envolvimento de Fornecedores**

Com o já citado aumento da complexidade dos produtos e necessária diminuição do seu tempo de desenvolvimento, uma tendência natural é a especialização [5,2]. Empresas que detêm um bom domínio do nicho tecnológico em que atuam têm conseqüentemente maior capacidade de inovar no desenvolvimento de produtos dentro deste nicho de uma forma confiável.

As empresas integradoras finais precisam, portanto, tirar o máximo proveito das diversas tecnologias, plataformas e padrões estabelecidos no mercado a fim de desenvolver produtos que satisfaçam o usuário final. Como isto representa um espectro muito amplo de conhecimento, não existe organização que tenha capacidade de dominá-las solitariamente.

Para ilustrar como isso se reflete na prática, a proporção de componentes subcontratados em produtos complexos supera hoje 70% [5]. A porcentagem de valor agregado no produto coberto pela subcontratação neste seguimento da indústria é maior que o da própria fabricação, o que mostra a *fundamental importância* do sucesso da base de fornecedores.

### **2.3.1 Envolvimento entre Empresa Integradora e Fornecedores - Cenário Nacional**

Cabe aqui apresentar o *cenário nacional* do fornecimento neste segmento da indústria. O autor pode constatar na prática e também em conversas com diversos profissionais atuantes neste setor que a base de fornecimento hoje se caracteriza por:

- Um número elevado de fornecedores para cada componente;
- Conseqüente base de fornecimento horizontalizada;
- Falta de abordagem/preocupação com a qualidade do produto fornecido (por ambas as partes – fornecedor e integrador);
- Foco único no preço do componente;

- Certo “desconhecimento” por parte dos fornecedores sobre as ferramentas básicas de garantia da qualidade – um problema de linguagem;
- Contratos de muito curto prazo.

Os fatores acima citados mostram uma visão bastante imediatista e despreocupada com a qualidade final do produto. A indústria nacional deste segmento resiste em entender que existe uma grande diferença entre preço e custo de produtos. O custo de produtos comprados é o preço de compra mais os custos adicionais em virtude de sucata, retrabalho, atrasos, falhas manifestadas durante o uso e outras conseqüências da qualidade insatisfatória do fornecedor. Esses custos adicionais muitas vezes excedem bastante as economias pelo fato de se ter comprado do licitante cujo preço era mais baixo. Não atentando para esse fato, o setor de compras de determinadas empresas insistem em se guiar pelo preço do produto.

Em virtude disso não têm uma estrutura preocupada com a garantia da qualidade. Possuem também uma escala de produção relativamente pequena que aliada com os apertados tempos de desenvolvimentos e com o “intrínseco” retrabalho que se tem quando desenvolvendo produtos de alto valor agregado, ofuscam os grandes prejuízos que se originam de um fornecimento deficiente.

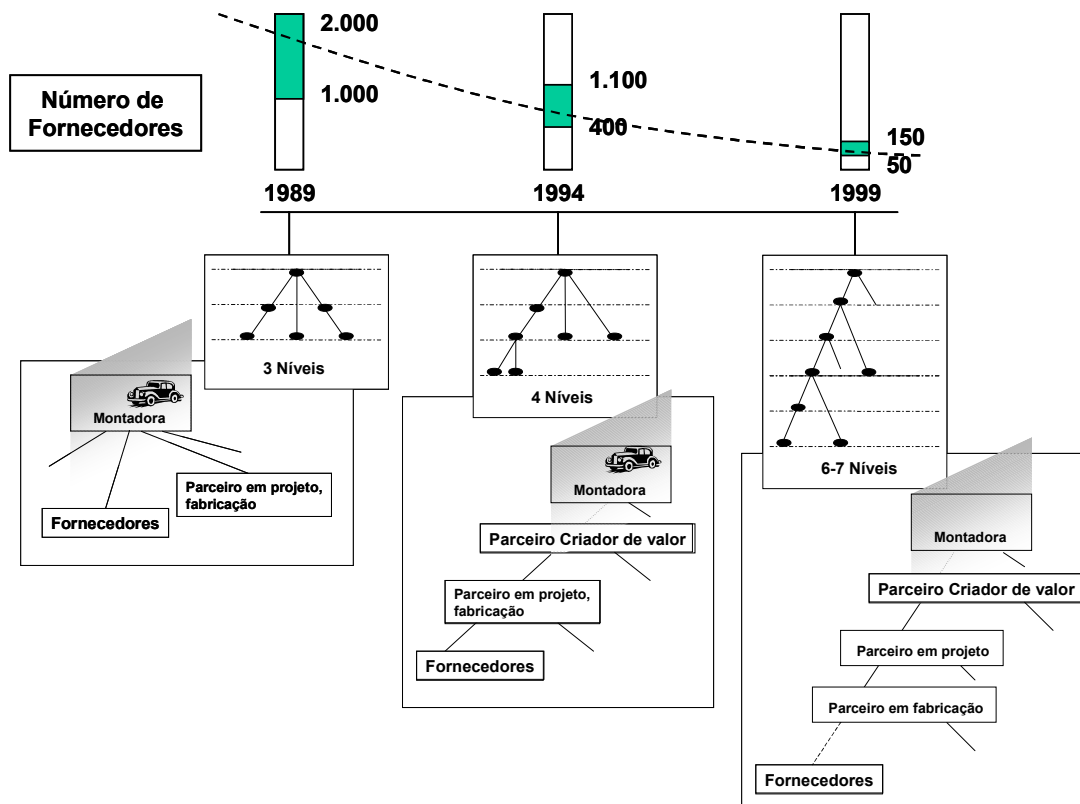
Há de ser feita uma importante consideração: as empresas brasileiras deste setor se caracterizam por serem no máximo de médio porte. Como conseqüência disso, não tem uma estrutura abrigadora para os fornecedores como se constata em grandes empresas internacionais, como por exemplo: IBM, Compaq [2,23].

### **2.3.2 A Tendência de Fornecimento**

O cenário exposto no item 2.3 é responsável por uma tendência que vem sendo constatada nas grandes corporações integradoras de produtos finais, das quais são maior exemplo as montadoras de automóveis.

A figura 2.1 ilustra o comportamento apresentado por este setor industrial; constata-se que em 1989 existiam entre 1.000 e 2.000 fornecedores em média com relação direta com os fabricantes de automóveis, em 1994 eram entre 400 e 1.100 e em 1999 se encontra entre 50 e 150 fornecedores por fabricante de automóveis [5]. Interessante notar que os japoneses foram pioneiros nesta tendência, a *Toyota Motor Car Company*, por exemplo, tinha cerca de 200 fornecedores já ao final da década de 1970 [9,7]. Cedo ou tarde, fato é que de uma larga base de fornecedores a situação evoluiu para uma base estreita.

## Evolução da estrutura de fornecimento das montadoras de automóveis



**Fig. 2.1 Tendência a ser seguida pela indústria Integradora [5]**

Mas esta tendência não está somente relacionada com o número de fornecedores da cadeia, relaciona-se também com a natureza do fornecimento. Consta-se o crescente repasse de responsabilidade que a indústria integradora vem promovendo ao longo da cadeia de fornecimento. Assim, empresas anteriormente responsáveis apenas pela fabricação de um determinado item, passaram por exemplo, a serem responsáveis pelo seu inteiro desenvolvimento, atendendo os requisitos explicitados pelo cliente. A cadeia que em 1989 apresentava a grosso modo 3 níveis, em 1999 conta com 6 a 7 níveis (Fig. 2.1).

Tal tendência foi motivada pelos seguintes fatores:

- Tempos mais curtos de desenvolvimento;
- Crescente número de tecnologias envolvidas no desenvolvimento de um produto complexo;
- Dependência Tecnológica;

- Custos de projeto/desenvolvimento mais baixos;
- Tecnologia da Informação mais avançada facilitando a comunicação.

Com uma base de fornecedores mais estreita é possível cultivar um relacionamento mais forte entre cliente e fornecedor, progredindo de um relacionamento conflitivo para aquilo que se pode chamar de relacionamento cooperativo. Neste tipo de relacionamento, cliente e fornecedor trabalham juntos, como se ambos fizessem parte da mesma empresa, de forma contínua, planejada, baseada na confiança mútua, no planejamento conjunto e assistência mútua. O fornecedor é considerado um prolongamento da empresa.

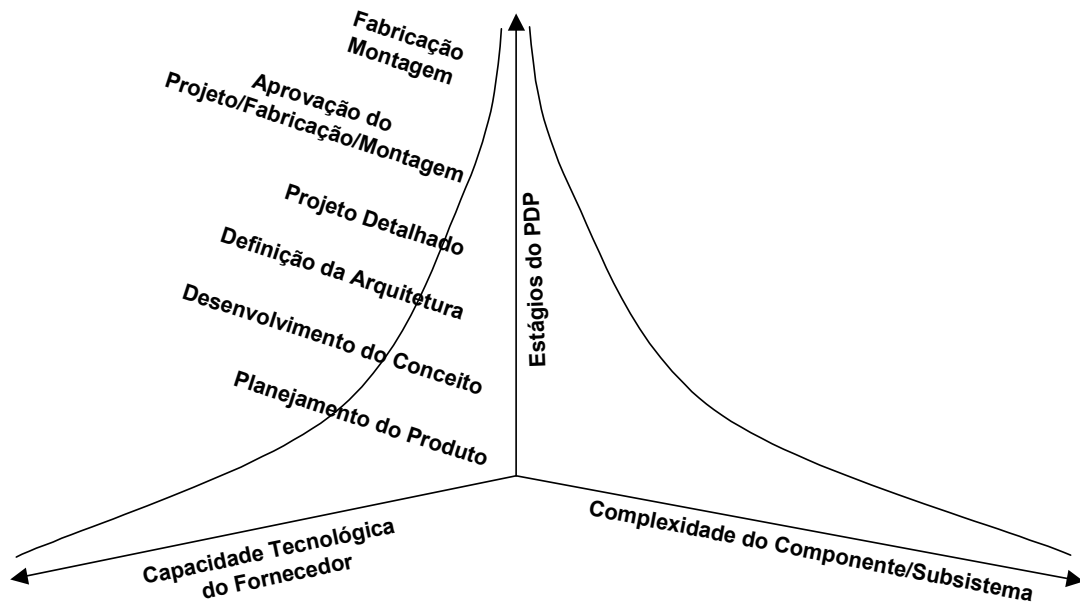
### **2.3.3 Quando Envolver Fornecedores no PDP**

Reconhecendo a importância do envolvimento de fornecedores parceiros, resta entender o tempo certo de envolvê-los no processo de desenvolvimento. Neste cenário de desenvolvimento rápido, é importante que todos os participantes possam contribuir o mais cedo possível no processo. A figura 2.2 ilustra como o estágio de envolvimento do fornecedor depende das seguintes características:

- Complexidade do Componente/Subsistema;
- Capacidade de Desenvolvimento (Tecnológica) do fornecedor.

Sendo o primeiro item de maior relevância que o segundo, embora eles estejam inter-relacionados. De acordo com o exposto, quanto maior a complexidade (ou grau de particularidade) do componente mais cedo o fornecedor deve ser inserido no processo, de tal forma que possa contribuir ou talvez até mesmo assumir partes do desenvolvimento. O envolvimento precoce do fornecedor beneficia ambas as partes; primeiro porque propicia por parte deste um melhor entendimento da real necessidade e conseqüentemente a vislumbração de melhores soluções. Segundo porque envolvido precocemente no processo, o fornecedor pode fazer com que a empresa cliente compreenda como novas tecnologias podem ajudar para melhorar a performance do seu produto, ou até mesmo na criação de novos produtos.

Quanto ao segundo item – capacidade tecnológica do fornecedor – quanto maior sua capacidade, maior o potencial de contribuição do fornecedor no processo. Novas tecnologias e inovações podem ser inseridas mais rapidamente em produtos finais o que pode trazer uma vantagem competitiva a empresa, isto é especialmente crítico no contexto de produtos tecnológicos. Como exemplo desta tendência pode-se citar a



**Fig. 2.2 Estágio de Envolvimento do Fornecedor no PDP**

iniciativa da IBM que promove os chamados “Fórum de Fornecedores” [2], onde fornecedores parceiros, representantes de compras e engenheiros de desenvolvimento participam de um evento interno que tem como foco:

- Como melhorar os processos produtivos para qualificar novos produtos e componentes;
- Como inovações tecnológicas de cada nicho tecnológico podem ser inseridas em novos produtos e/ou novas gerações de produtos.

Isso ilustra a contribuição de parceiros até mesmo na fase de planejamento do produto.

Obviamente nem todos os fornecedores serão envolvidos precocemente no PDP. Componentes que são padrão de mercado e/ou não apresentam risco elevado de processo não justificam todo um esforço de cooperação entre cliente e fornecedor, o trabalho cooperativo, embora traga bons resultados, também consome recursos e conseqüentemente deve ser exercitado com discernimento.

Conclui-se desta discussão que fornecedores chaves devem ser envolvidos no mínimo na fase de definição de arquitetura do produto e devem cooperar no decorrer do processo de desenvolvimento. Conscientes da importância de tal questão, as três grandes montadoras norte americanas (Ford, Chrysler e General Motors)



desenvolveram um manual, o APQP – Advanced Product Quality Planning [8], (parte integrante da norma QS 9000) dedicado exclusivamente para o planejamento da qualidade do produto e facilidade de interface com o fornecedor.

### **2.3.4 Homologação de Fornecedores**

Toda empresa que objetiva formar uma base de fornecedores que possa contribuir de forma significativa ao desenvolvimento de produtos precisa quando do envolvimento de um novo fornecedor se certificar de que este novo ator do processo esteja apto a contribuir. Para tanto, a empresa deve imperativamente ter um processo sistematizado de homologação de fornecedores [24].

Tal processo de homologação deve submeter o potencial fornecedor a critérios técnicos e organizacionais, sendo portanto necessária uma avaliação global, pois parte-se do princípio que a organização não poderá manter um fornecimento de qualidade se não possui processos/procedimentos de qualidade e uma estrutura organizacional orientada para o desenvolvimento.

Os critérios de homologação descritos na figura 2.3 são requisitos básicos para um início de cooperação produtiva entre cliente e fornecedor. A aprovação condicional de fornecedor parece ser *hoje* um estágio necessário uma vez que seria difícil no atual cenário nacional encontrar um número representativo de empresas que satisfaçam todos os requisitos plenamente.

Uma vez aprovado condicionalmente o fornecedor passaria por um estágio de desenvolvimento onde a cooperação entre cliente e fornecedor rumariam no sentido de um melhor conhecimento por parte do fornecedor a respeito do produto e das formas de controlar/garantir/melhorar sua qualidade.

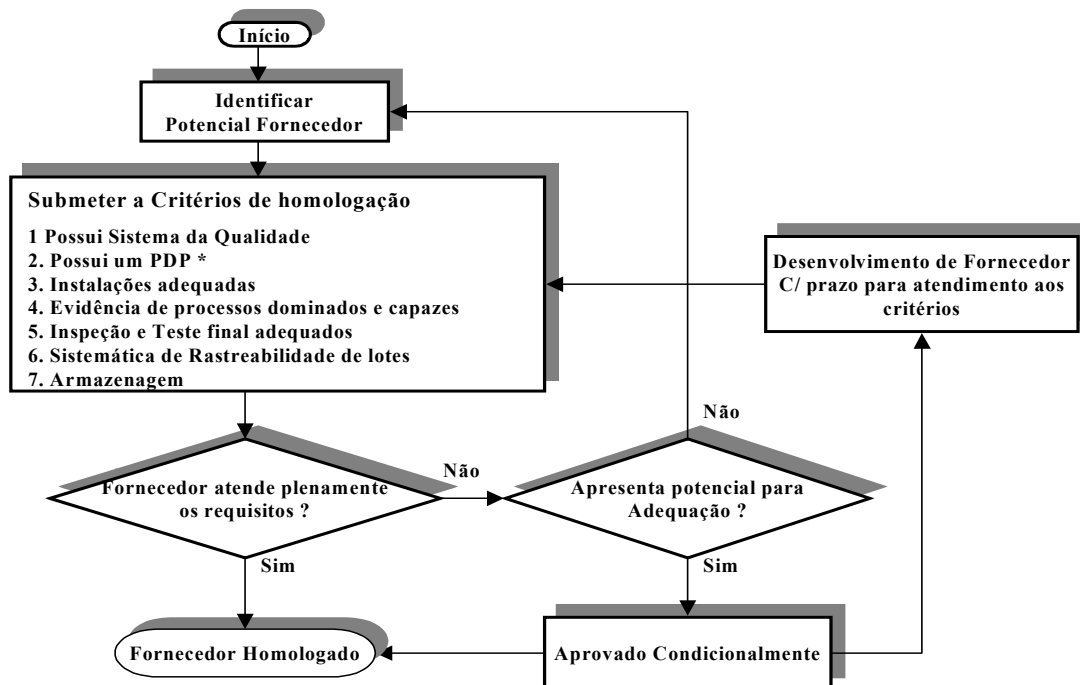


Fig. 2.3 – Exemplo de Etapas para Homologação de Fornecedores

## 2.4 Investigação de Características Críticas e Significativas.

No universo de características especificadas de um produto existe uma parcela que se diferencia das demais por serem relevantes no atendimento a requisitos da qualidade, de funcionalidade, de segurança e de confiabilidade tanto em nível de produto final quanto em nível de processo. Estas características podem ser de material, geométricas, funcionais, físicos, químicos, de estética/aparência e de quantidade [4].

Faz-se necessária uma classificação no que diz respeito a severidade causada quando da não conformidade de tal característica. No que diz respeito a este assunto, existe uma certa confusão na bibliografia corrente. Diferentes autores adotam diferentes nomenclaturas.

A norma DIN 55350 distingue três tipos de falhas: [5]

- **Falhas críticas:** Supõe-se ou sabe-se que podem gerar, previsivelmente, situações perigosas ou inseguras para as pessoas que usam ou se relacionam com produto, ou para grandes instalações dependentes deste.
- **Falhas principais:** São falhas não críticas que produzem, previsivelmente, avarias ou reduzem notavelmente a utilidade prevista.

- **Falhas secundárias:** São falhas ou desvios quanto às especificações que influenciam pouco sobre o uso ou funcionamento do produto.

Neste trabalho refere-se a uma característica, sempre com relação às não conformidades que pode causar.

As fontes de informação para investigação de tais características podem ser:

- Documentos gerados no projeto conceitual e detalhado, revisões de projetos, FMEA de projeto;
- Caderno de encargos;
- Documentos gerados no desenvolvimento de produtos similares: planos de fabricação, FMEAs de processo, planos de inspeção, procedimentos de homologação e relatórios de lote piloto;
- Feedback de campo de produtos similares ou de gerações anteriores;
- Profissionais (de projeto e de processo) experientes com produtos similares ou de geração anteriores.

Esta fase de determinação se faz importante, pois o universo de características especificadas em um produto é muito amplo e esforços precisam ser focados apenas naquelas características cuja não conformidade afetaria a funcionalidade do produto ou que traria um desconforto ao cliente (no caso de características visuais) – controlar todo o universo de características de um produto é inviável tanto economicamente quanto pelo fator tempo. Afortunadamente este espectro de características relevantes é relativamente reduzido. Estudos têm mostrado que menos de 20% das características de um componente (especialmente componentes mecânicos) afetam efetivamente sua funcionalidade [25]. O restante das cotas/dimensões de um produto típico poderia estar fora de sua zona de especificação e o respectivo produto ainda operaria satisfatoriamente.

Uma vez que se fez a determinação de tais características, e aqui se concentrará em características mecânicas, as características consideradas relevantes são objeto de uma importante etapa a seguir: A determinação de tolerâncias e suas cadeias.

## **2.5 Análise das Tolerâncias de Fabricação e de Montagem.**

Quando da expressão de um projeto por meio de desenho com vistas à fabricação, o valor nominal de uma característica é sempre acompanhado por uma tolerância.

Defini-se tolerância como sendo a diferença entre o valor máximo e mínimo admissíveis de uma característica tal que sua funcionalidade seja assegurada [26,27].

O conceito de tolerâncias se desenvolveu de dois aspectos relativamente distintos [25]:

- **Requisitos funcionais de um componente:** relacionado com a faixa de funcionamento e não preocupado diretamente com o número de componentes produzidos.
- **Variações intrínsecas do processo de fabricação:** relacionado com a impossibilidade de se produzir mais de uma unidade com o mesmo valor nominal devido a variações de caráter aleatório de todo processo natural, nos quais os processos de fabricação estão incluídos.

A preocupação com os requisitos funcionais apareceu primeiro com o desenvolvimento de produtos unitários, já a consciência quanto às variações intrínsecas do processo de fabricação só apareceu com a produção seriada e com os problemas provenientes dela. [25].

Cabe ao projetista, desenvolver tolerâncias que não sejam demasiadamente apertadas pensando somente em satisfazer os requisitos funcionais, isto poderia conduzir à condições de manufatura demasiadamente caras.

Num produto composto por vários componentes que serão montados, o estudo de cadeias de tolerâncias se torna de especial importância, portanto, apresenta-se aqui dois dos métodos mais utilizados na determinação de cadeias de tolerâncias:

- **Determinação de Tolerâncias utilizando o Método do Pior Caso;**
- **Determinação de Tolerâncias utilizando Análise Estatística.**

### **2.5.1 Determinação de Tolerâncias utilizando o Método do Pior Caso.**

Esta abordagem é assim chamada pelo fato de ser usada para somar ou subtrair máximos ou mínimos valores associados ao nominal de cada componente de uma montagem, tendo em vista satisfazer um requisito de montagem [27].

A figura 2.4 apresenta a análise de tolerâncias em um conjunto simples com pinos e furos para ilustrar o método. O conjunto é composto pelas partes A (com os pinos) e B (com os furos) e devem ser montados, para tanto, assume-se aqui que não deve haver

interferência entre as partes. Na seqüência apresenta-se as cotas e suas tolerâncias e em seguida é mostrado um cenário onde se tem cada uma das partes em situações limites contrárias (o que levaria a uma interferência caso as tolerâncias não estejam bem especificadas).

A tabela mostrada na figura 2.4 apresenta o cálculo da cadeia de tolerâncias, onde se constata que, utilizando o método do pior caso, haverá interferência entre as duas partes o que impossibilitaria a montagem. Isso levaria a uma redeterminação das tolerâncias individuais de tal forma que o conjunto possa ser montado.

Há de ser observado, no entanto, que este método não leva em consideração as leis da probabilidade, desta forma, não é representativo da forma como as tolerâncias realmente se sobrepõe em um processo real. Dificilmente em uma montagem todos os componentes estarão em sua situação crítica limite *ao mesmo tempo*. Portanto, o resultado obtido na análise acima deve ser **observado com cuidado**, pois parte de um ponto de vista **muito conservador**.

Constitui, por outro lado, um método bastante fácil de ser utilizado pela sua simplicidade. É também bastante seguro e por esse motivo deve ser usado quando se está analisando uma característica **crítica** dependente da montagem, pois nestes caso sim, uma análise conservadora se justificaria.

## 2.5.2 Determinação Estatística de Tolerâncias.

A realidade de manufatura de um componente é dominada pelas leis da probabilidade [9,28,23,29]. Isto significa que não é possível produzir um componente com exatamente seu valor nominal, todo processo de manufatura produz unidades dentro de uma certa distribuição ao redor de seu valor nominal [5,25,30,23].

A determinação estatística de tolerâncias é empregada com o intuito de levar em conta tal distribuição e, conseqüentemente, tratar da baixa probabilidade de todas as dimensões estarem em seu limite extremo *ao mesmo tempo*. Uma montagem composta de  $n$  componentes, tem a cada componente associado um desvio padrão relacionado com seu processo de manufatura. A soma dos quadrados dos desvios padrão de cada componente definirão a *variância* do requisito funcional de montagem, como ilustrado a seguir:

$$S^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + \dots + S_n^2 \quad \text{Eq. 2.1}$$

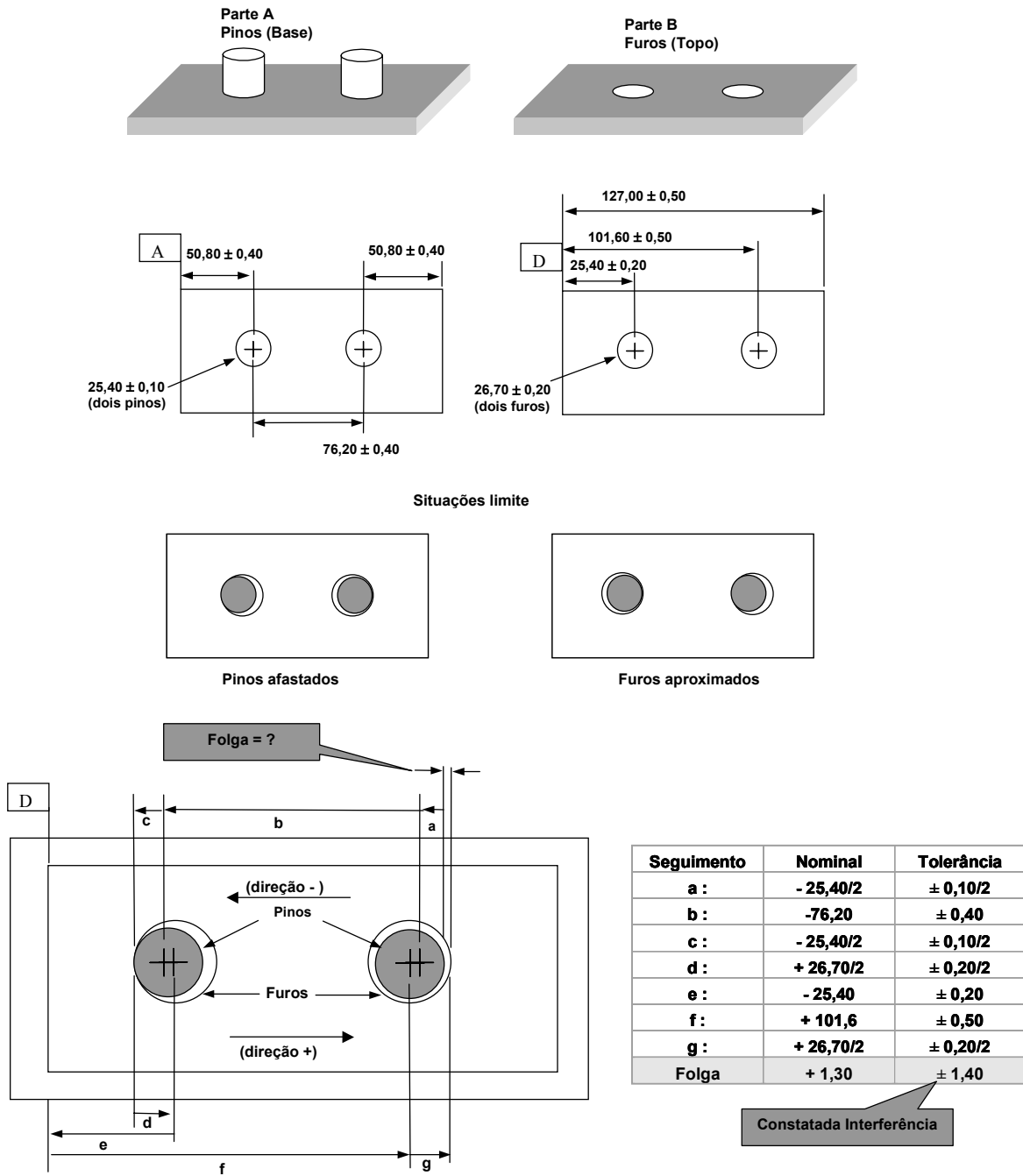


Fig. 2.4 Constatação de Interferência não Realista via Análise do Pior Caso [Adaptado de 25]

Resulta disso, que este requisito funcional (que tanto pode ser uma folga ou uma interferência) que depende de como os componentes se sobrepõem na montagem terá também um comportamento resultante de uma distribuição de probabilidade.

$$T = \sqrt{T_1^2 + T_2^2 + T_3^2 + \dots + T_n^2} \quad \text{Eq. 2.2}$$

Portanto, a determinação estatística de tolerâncias leva em consideração como os componentes realmente se sobrepõem e, em função disso, constitui uma análise mais realista. Para ilustrar a diferença que flui das duas abordagens, análise o mesmo exemplo da figura 2.4 utilizando o método estatístico, constata-se na figura 2.5 que a tolerância resultante da análise estatística do mesmo caso, mostra que não haverá uma folga negativa (o que constituiria uma interferência), portanto o requisito de montagem é satisfeito.

Na análise realizada anteriormente utilizando o método do pior caso, constatou-se que a folga poderia assumir valores negativos, o que constituiria um não atendimento a um requisito de montagem. Conclui-se que pode, dependendo da análise utilizada, chegar a conclusões distintas, cabe portanto utilizar adequadamente uma ou outra técnica, dependendo da criticidade da característica em questão.

### 2.5.3 Análise Crítica do Processo de Especificação de Tolerâncias

A especificação de tolerâncias no projeto de produtos integrados na indústria nacional hoje ainda se encontra muito deficiente. O autor pôde constatar em entrevistas com experientes projetistas atuantes no mercado que não é utilizado nenhum procedimento sistematizado para especificação de tolerâncias em produtos a serem submetidos a uma etapa bastante crítica: o processo de montagem.

O que realmente predomina hoje é o tratamento desta etapa como uma etapa final (e periférica) do processo de projeto do produto. Ocorre que normalmente a especificação de tolerâncias é uma atividade com a qual o projetista não despense o tempo e energia necessários, não utilizando critérios adequados para a especificação e na maioria dos casos não conhecendo o processo de fabricação com o qual se produzirá a peça. Não é raro obter-se comentários tais como: “Se não se adequar, a

<b>Seguimento</b>	<b>Nominal</b>	<b>Tolerância</b>
<b>a :</b>	<b>- 25,40/2</b>	<b><math>\pm (0,10/2)^2</math></b>
<b>b :</b>	<b>-76,20</b>	<b><math>\pm (0,40)^2</math></b>
<b>c :</b>	<b>- 25,40/2</b>	<b><math>\pm (0,10/2)^2</math></b>
<b>d :</b>	<b>+ 26,70/2</b>	<b><math>\pm (0,20/2)^2</math></b>
<b>e :</b>	<b>- 25,40</b>	<b><math>\pm (0,20)^2</math></b>
<b>f :</b>	<b>+ 101,6</b>	<b><math>\pm (0,50)^2</math></b>
<b>g :</b>	<b>+ 26,70/2</b>	<b><math>\pm (0,20/2)^2</math></b>
<b>Folga</b>	<b>+ 1,30</b>	<b><math>\pm 0,48</math></b>

Fig. 2.5 Requisito de montagem é satisfeito segundo o método da Análise Estatística

solução do problema cabe ao pessoal de Controle de Qualidade ou Processo de Fabricação”. O que mostra toda uma cultura de que projeto e fabricação não estão relacionados.

O procedimento normalmente utilizado pelos projetistas é ter como referência tabelas sobre graus de tolerâncias e utilizá-las indiscriminadamente. Ter como referência tabelas e normas para especificação de tolerâncias não constitui uma prática inválida, mas apresenta como desvantagens os seguintes pontos:

- Não consideram a geometria de produtos em geral;
- Partem de um paradigma de *Qualidade 3 Sigmas*;
- Não se leva em consideração os processos de fabricação **correntes** na empresa.

Quanto ao primeiro dos itens listados, componentes diferem em sua geometria e, obviamente, as tabelas não conseguem compreender o quanto um determinado componente com específica geometria variará em sua fabricação.

Quanto ao segundo item, as tábuas constituem um conhecimento válido pois são um produto do conhecimento acumulado com a experiência de anos, no entanto, esses dados foram construídos sobre um paradigma de qualidade 3 sigmas [25]. Isso significa, como ilustrado na figura 2.6, que considera processos com  $C_p = 1$  o que resulta em 2.700 peças fora de especificação para cada 1M de peças produzidas, o que de acordo com [25,6] é considerado um índice de falhas inaceitável para empresas que pretendem permanecer competitivas atualmente. O índice hoje buscado por empresas de classe mundial, é de um  $C_p = 2$ , o que resultaria na produção de 0,002 % peças fora de especificação para cada 1M de peças produzidas [23].

O último dos itens abordados tem a ver com o fato de que embora os dados contidos em tábuas e normas serem gerais e válidos, não correspondem aos processos *correntes* na empresa. Fato é que esses dados servem como um bom ponto de partida para que o projetista tenha em mente o que é factível (a um preço aceitável), no entanto os dados que devem realmente ser levados em consideração são os indicados (Capabilidade) dos processos que **a empresa domina e pode gerenciar dentro de um custo aceitável** – O projeto, portanto, deve ser gerado dentro dessas limitações.



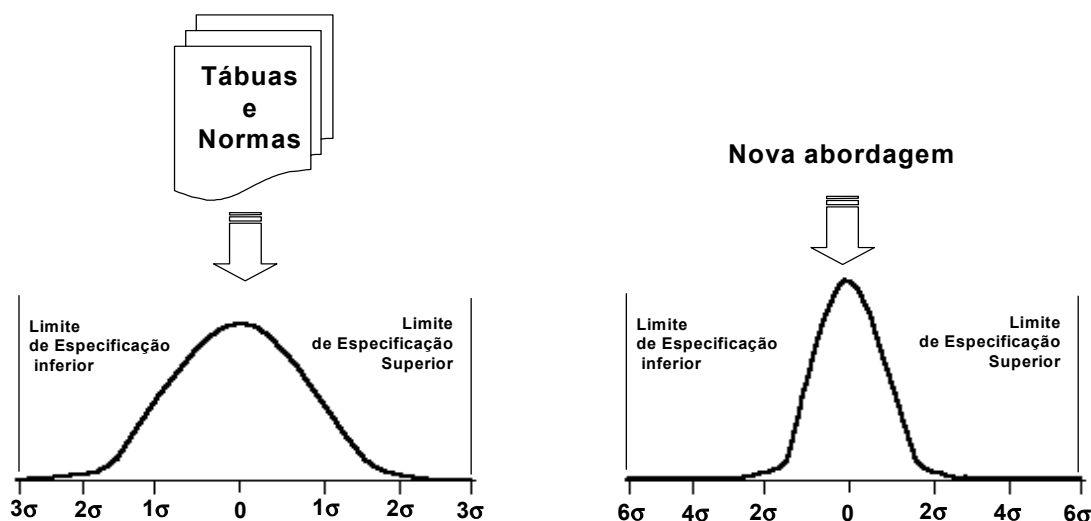


Fig. 2.6 Nova abordagem necessária a competitividade

Portanto, a mensagem principal a ser aqui deixada é que o projeto de tolerâncias constitui uma etapa importantíssima pois constitui o desdobramento dos requisitos do cliente mais as limitações dos processos de fabricação e limitações econômicas da organização. Claramente não é uma etapa pós-projeto como encarada por muitos, devem ser desenvolvidas através de ferramentas matemáticas (engenharia e estatística), análises empíricas e sempre em concordância com fatores econômicos.

Visando ilustrar como um processo de determinação de tolerâncias pode ser aplicado de forma coerente e ainda evitando gastos desnecessários, apresenta-se na figura 2.7 um processo ilustrando os passos para determinação de tolerâncias a ser seguido pelo projetista. Importante destacar a diferente abordagem tomada para características funcionais e não funcionais. Os característicos não funcionais não justificam esforços adicionais e podem portanto ter suas tolerâncias determinadas através da simples aplicação de tabelas e normas sem maiores preocupações com sua geometria e nem mesmo requerendo processos com altas capacidades.

Já as características funcionais (que se subdividem em característica críticas e principais – DIN 55350) requerem maior atenção, uma vez que sua adequada determinação é fundamental para que o Controle de Qualidade na fase de inspeção saiba exatamente **o que** controlar.

Tendo este processo aplicado de forma adequada, o produto com suas características funcionais determinadas e suas tolerâncias adequadamente especificadas, esta-se pronto para o passo seguinte : O Desenvolvimento da Inspeção.

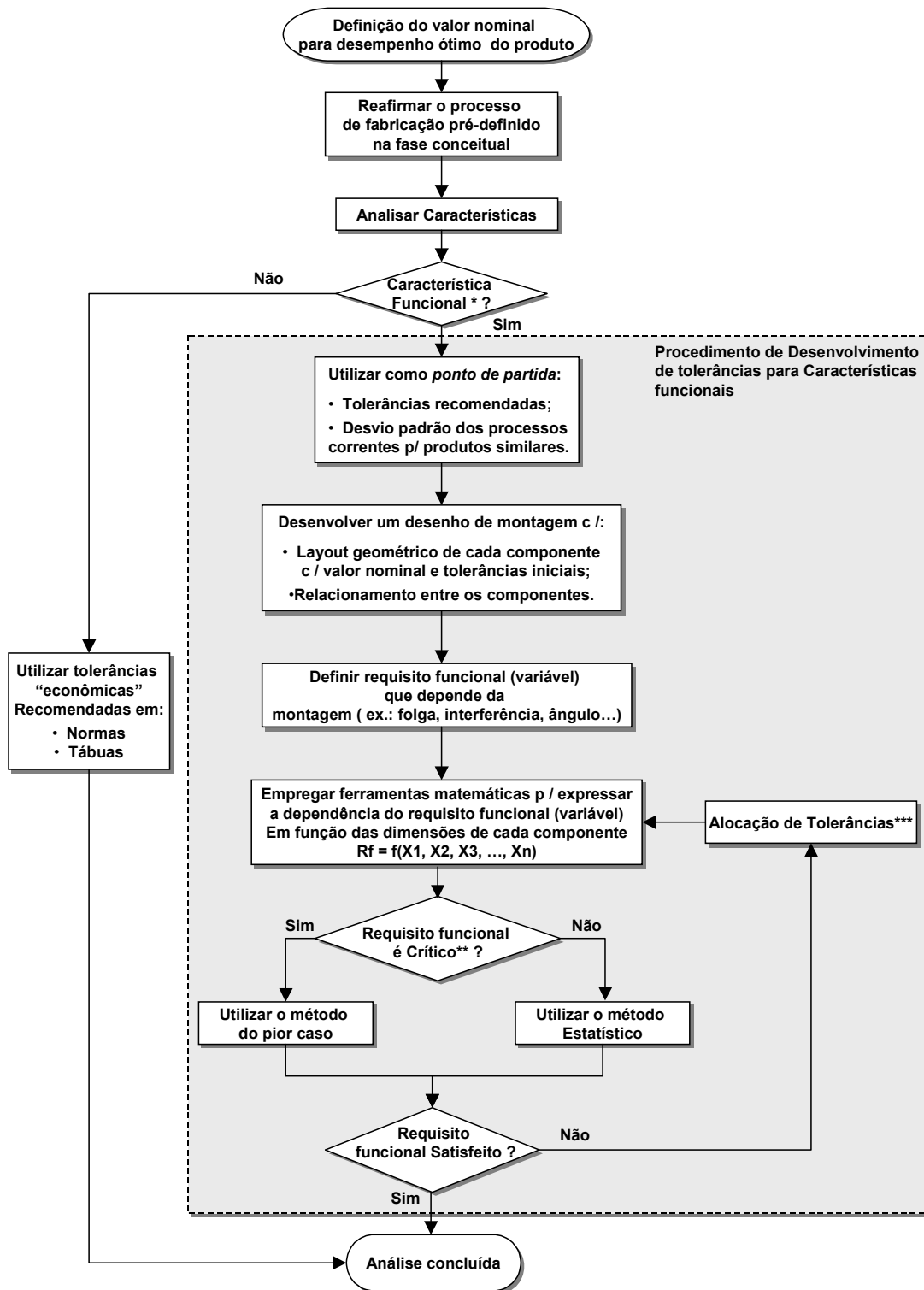


Fig. 2.7 Processo para Especificação de Tolerâncias em Produto Integrado <sup>1</sup>

<sup>1</sup> \* Estudos mostram que menos de 20% das características de um componente são funcionais [16].

\*\* Crítico de acordo com DIN 55350

\*\*\* Nesta etapa se pode :

- Diminuir o desvio padrão dos processos de um ou mais dos componentes da montagem;
- Negociar tolerâncias c/ fornecedores de itens comprados;
- Deslocar valor nominal de projeto p/ promover pequenos ajustes

# CAPÍTULO 3

## A Avaliação da Qualidade na Transferência do Projeto ao Processo de Montagem

Sendo a Avaliação da Qualidade o exame sistemático para determinar até que ponto uma entidade é capaz de atender os requisitos especificados [12], cabe entender quais as formas que tal avaliação pode assumir dentro do contexto industrial delineado neste trabalho. Dentro dos esforços de avaliação, a inspeção atua de forma muito expressiva e tem -principalmente a *inspeção de recebimento* – papel vital para a indústria integradora final, que depende, fundamentalmente, de seu fornecimento para a integração de um produto de alta qualidade.

Tem-se aqui o objetivo de explorar o planejamento desta atividade de Inspeção de Recebimento de tal forma que esta possa ser factível a um custo reduzido e que agregue valor dentro do cenário do desenvolvimento rápido de produtos tecnológicos.

### 3.1 As Diferentes Formas de Avaliação da Qualidade

A operacionalização da Avaliação da Qualidade assume distintas formas, dentre as quais pode-se citar:

- Revisões de Projeto;
- Auditorias;
- Inspeção - a mais expressiva delas.

Tais atividades consomem diversos recursos da organização culminando em custos, estes por sua vez, são historicamente chamados de custos da qualidade (Figura 3.1) e podem ser classificados da seguinte forma [5,20,31,32]:

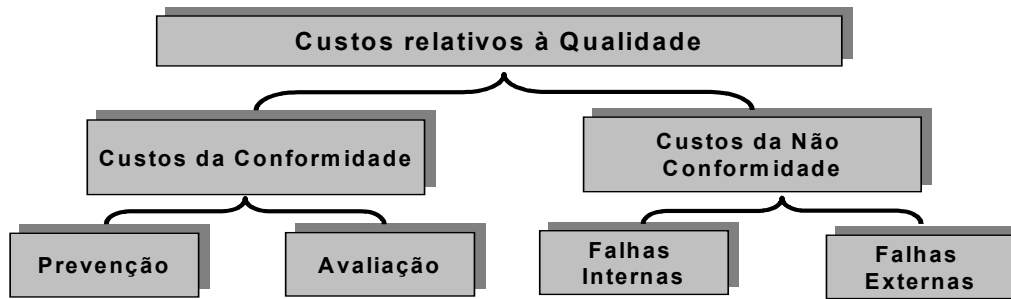


Fig. 3.1 Desdobramento dos Custos Relativos à Qualidade [20]

**Custos de Prevenção:** custos de todas as atividades especificamente desenvolvidas para *prevenir* a má qualidade de produtos ou serviços. Exemplos são os custos de revisão de projeto, planejamento da qualidade, pesquisas de capacidade de fornecedores e treinamento.

**Custos de Avaliação:** custos associados com as atividades desenvolvidas para determinar se o produto/serviço estão conformes com os requisitos da qualidade. Incluem custos de inspeção, auditorias, avaliações de performance de campo e etc..

**Custos de Falhas Internas:** Custos decorrentes de falhas ocorridas antes que o produto seja entregue ao cliente. Exemplos são custos de sucata, retrabalho, re-inspeção e etc..

**Custos de Falhas Externas:** custos decorrentes de falhas ocorridas depois da entrega do produto ao cliente. Exemplos são os custos de processamento de reclamações de clientes, devolução de material, gastos com garantia, *recall* de produtos e imagem da empresa depreciada.

**Custos Relativos à Qualidade:** constitui a soma dos acima descritos. Representa a diferença entre o real custo de um produto e o custo “fictício” do produto caso não houvesse falha no seu processo de desenvolvimento e fabricação e nem mesmo a necessidade de prevenção ou avaliação, este custo fictício é ilustrado em verde na figura 3.2.

De acordo com o apresentado na figura 3.2, as atividades de avaliação são as primeiras a serem iniciadas num processo de melhoria da qualidade uma vez que elas são responsáveis por uma fase de diagnóstico. A figura também mostra que o caminho natural seguinte são os investimentos em prevenção, com conseqüente diminuição dos custos totais da qualidade. A medida que se investe sistematicamente em avaliação e prevenção os custos relativos à qualidade tendem a diminuir. No

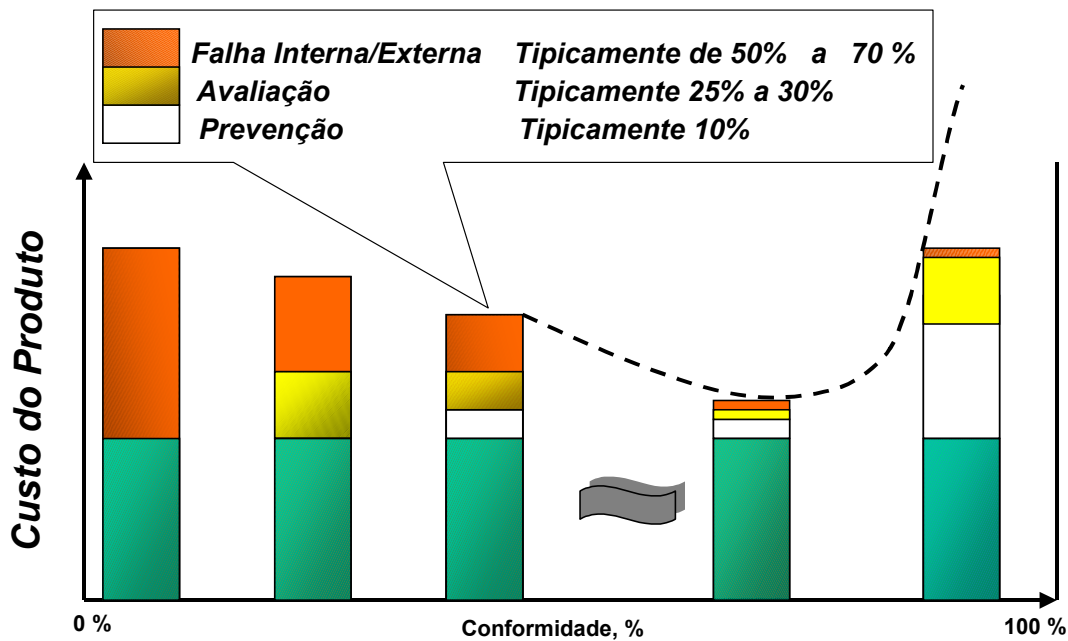
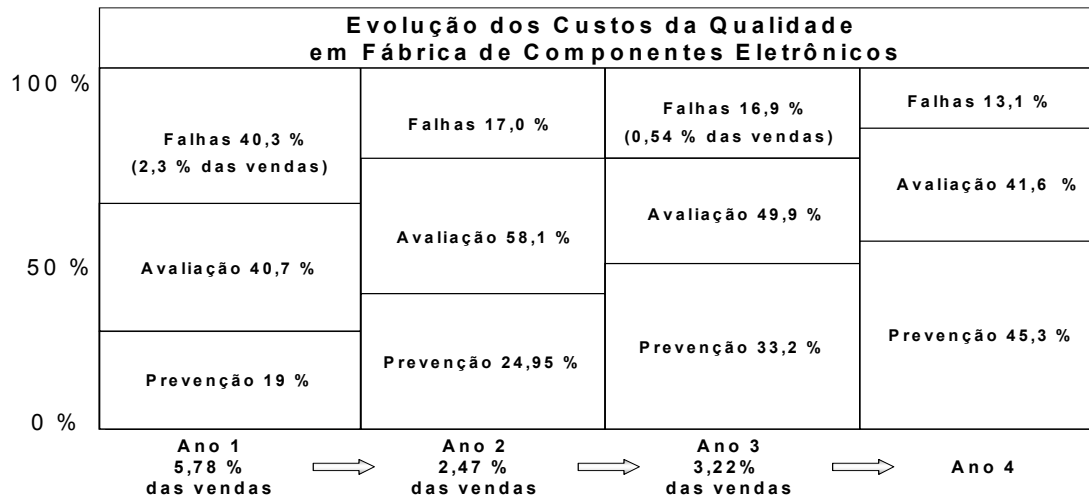


Fig. 3.2 Evolução dos Custos da Qualidade com aplicação em avaliação e prevenção

entanto, a partir de um determinado ponto, percebe-se que os investimentos adicionais em avaliação e prevenção passam a aumentar os custos relativos à qualidade assintoticamente, demonstrando que existe uma determinada região de investimento ótimo em prevenção e avaliação.

Este é o chamado *modelo clássico de custos ótimos da qualidade* [31,33,34,35]. Este modelo tem sido revisado por alguns autores [20] que defendem que a qualidade máxima (conformidade 100%) pode ser alcançada a um custo finito e que este seria o ponto ótimo de operação, este argumento é utilizado principalmente em virtude do fato de que novas tecnologias reduziram taxas de falhas inerentes a materiais e produtos, enquanto a robótica e outras formas de automação reduziram os erros humanos durante a produção e a inspeção automatizada reduziu os erros humanos de avaliação. De acordo com Campanella [20], estes desenvolvimentos resultaram na habilidade de alcançar a perfeição a um custo finito.

Este *novo modelo de custos da qualidade*, onde se obtém qualidade 100% a um custo finito, parece se adequar em sistemas de produção altamente automatizados e limitado ao ambiente fabril em condições de regime, mais no contexto global do desenvolvimento rápido de produtos tecnológicos, onde existem muitas interfaces entre áreas e onde a falha é normalmente muito alta em virtude do “novo” estar sempre presente, este novo modelo não parece se adequar, parece mesmo que o



**Fig. 3.3 Ênfase em Avaliação na Diminuição dos Custos da Qualidade [35]**

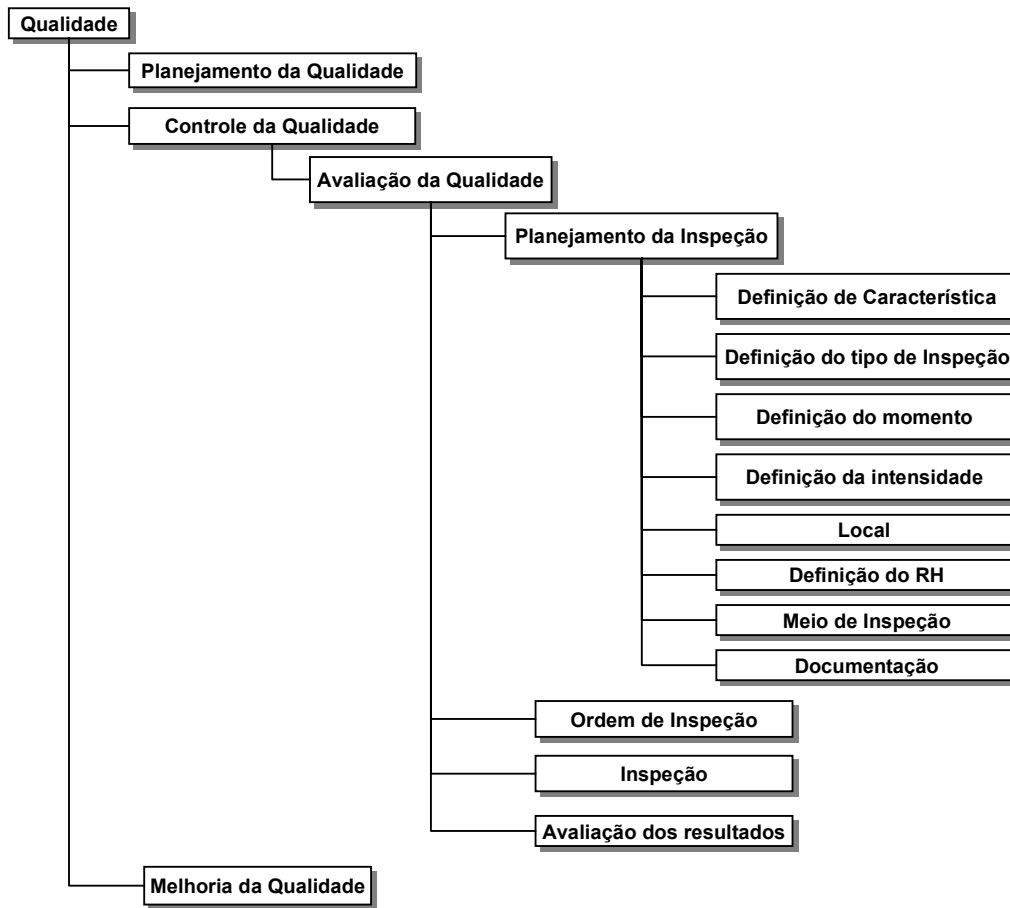
modelo clássico ainda permanece.

Como exemplo de como os custos da qualidade podem evoluir, temos um caso ilustrado na Figura 3.3, onde investimentos em avaliação são utilizados como prioridade em uma primeira fase de diagnóstico numa fábrica de componentes eletrônicos. A evolução demonstrada na figura, constata a forma como investimento em avaliação constituindo a etapa inicial num processo de melhoria da qualidade conduzem a uma redução global dos Custos da Qualidade.

### 3.2 O Planejamento da Inspeção

Diante do exposto, aborda-se aqui a mais expressiva forma de avaliação: a Inspeção. De acordo com Pfeifer [5], tem-se que inspeção – inserida no contexto da qualidade de acordo com a Figura 3.4 - se define como *qualquer operação que permite avaliar a qualidade de um produto ou serviço mediante comparação com suas especificações*.

Para realização desta tarefa, objetivando garantir a qualidade do produto, é de fundamental importância a tarefa de medição, que constitui o *conjunto de operações que tem por objetivo determinar o valor de uma grandeza* [36]. A tarefa de medição, por sua vez, para que tenha credibilidade e reflita dados confiáveis deve ser realizada com instrumentos calibrados com rastreabilidade aos padrões internacionais [5]. Esse fato embora pareça óbvio com a realidade que presenciamos hoje, onde as normalizações e certificações



**Fig. 3.4 Localização da Inspeção no Cenário da Qualidade**

se encontram em alta, muitas vezes é ignorado na operacionalização das atividades na indústria nacional.

Há de se destacar também, que hoje a inspeção tem um escopo muito amplo, abrangendo produtos em todos os seus estágios e também serviços, no entanto, o escopo deste trabalho se limita à inspeção de componentes nas instalações da empresa integradora, ou seja, a inspeção de recebimento que antecede o processo de montagem final do produto mecatrônico.

O problema aqui encontrado é que hoje na grande maioria das empresas, não existe uma eficiente e ativa interação do planejamento da inspeção com as demais áreas do desenvolvimento do produto, uma vez que neste estágio, a maioria das decisões em nível de produto e do processo produtivo já foram tomadas [4]. Desta forma, o planejamento da inspeção realiza-se com um nível elevado de restrições, perdendo o seu potencial para introduzir melhorias e otimizações tanto no produto quanto no processo.

Portanto, quanto mais próximo o planejamento da inspeção estiver junto às fases de planejamento do produto, tanto mais se poderá trazer importantes contribuições com foco na prevenção de falhas e na minimização de custos devido a não-qualidade. Para idealização de uma inspeção adequada é necessário por parte de seus desenvolvedores :

- Conhecimento da função dos componentes/subsistemas;
- Conhecimento da seqüência de sua fabricação;
- Acesso aos documentos de fabricação;
- Conhecimento dos instrumentos disponíveis;

Cabe observar também que é aconselhável utilizar normas para o planejamento da inspeção, no entanto, isso não constitui uma condição obrigatória e depende de acordo entre cliente e fornecedor.[5]

### **3.2.1 Definição da Característica a Inspeccionar**

Selecionar a característica a inspecionar é um passo do qual dependem todos os outros seguintes neste processo. Como já citado anteriormente, o conjunto de características de um produto é muito amplo, portanto, apenas aquelas características que afetam a funcionalidade do produto ou que de alguma forma podem trazer a insatisfação do cliente devem ser inspecionadas. O objetivo principal da inspeção é garantir a qualidade do produto e diminuir os custos.

Constata-se aqui um impasse, garantir a qualidade do produto nos leva a consideração de que devemos aumentar a inspeção, enquanto que diminuição dos custos nos leva a diminuição da inspeção. O ponto ótimo de operação não é fácil de ser encontrado, neste sentido destaca-se aqui o trabalho desenvolvido dentro deste contexto por Pfeiffer [4] “Uma Metodologia para Determinação da Necessidade de Inspeção”, onde o autor propõe uma sistemática para determinação da relevância da característica e critérios para avaliação de risco do processo. A metodologia tem como informação de saída a decisão (sim ou não) para a inspeção da característica em análise.

Com o objetivo de estimar tanto a relevância da característica a inspecionar, assim como o seu risco de processo, podem e/ou devem ser utilizados como fonte de informação:



- Desenhos de projeto;
- FMEA de projeto e de processo;
- Dados de capacidade de processos;
- Planos de trabalho;
- Dados econômicos, tais como custos de fabricação unitários e etc.;
- Reclamações de clientes para produtos semelhantes;
- Profissionais com experiência de projeto e processo com produtos semelhantes.

Nesta fase é importantíssimo receber inputs de diversas áreas da empresa. Neste ponto podem contribuir significativamente para a determinação as:

- Equipes de Projeto;
- Equipes de Manufatura;
- Equipes de Suporte/Manutenção;
- Fornecedores.

Esta fase é desafiadora, a interação entre equipes na prática nem sempre se dá de forma adequada uma vez que os diferentes departamentos de uma empresa têm diferentes objetivos e em algumas situações a cooperação não é facilmente alcançada. As equipes de projeto, normalmente com cronogramas apertados, muitas vezes são forçadas a ignorar importantes etapas que garantiriam a qualidade do produto, as equipes de manufatura por sua vez, se concentram muito na produtividade (número de unidades produzidas) e também ignoram procedimentos preventivos importantes que levariam à diminuição de refugos.

### **3.2.2 Definição do Tipo de Inspeção de Recebimento**

O tipo de inspeção de recebimento a ser adotado nas instalações da empresa integradora é dependente dos seguintes fatores:

- **Criticidade da característica a inspecionar** : dependendo do nível de criticidade de um determinado componente/submódulo, a inspeção pode variar de Inspeção 100% à inspeção suprimida.

- **Tipo de contrato entre cliente e fornecedor** : dependendo de como as responsabilidades foram no contrato estabelecidas.
- **Dependente do tipo do relacionamento entre cliente e fornecedor (Cooperativo ou Conflitivo).**
- **Quantidade a ser inspecionada** : o alto número de componentes a ser inspecionado muitas vezes simplesmente inviabiliza a inspeção 100%.

A inspeção de recebimento assume as seguintes formas:

**a) Inspeção 100 %:**

Toda e qualquer unidade fornecida será submetida a inspeção. É utilizada quando o número de itens a inspecionar é pequeno ou quando a criticidade do item é muito alta. No cenário da indústria integradora este tipo de inspeção é muito utilizada para submódulos eletrônicos dos quais a funcionalidade do produto final é inteiramente dependente e também tem sua inspeção (teste) facilmente automatizada através de gigas de teste. Ou seja, tem-se um custo inicial no desenvolvimento da unidade de teste mas, em compensação, tem-se um custo de inspeção baixo ao longo do processo.

**b) Inspeção por Amostragem - Simples, Dupla ou Múltipla.**

Esta abordagem é utilizada para determinar a qualidade de um lote de produtos, muitas vezes muito grande, através do detalhado exame de um pequeno número de unidades escolhidas em um lote.

A abordagem na inspeção por amostragem pode ser inspeção por atributos ou variáveis [31, 37]. Quando se utiliza a abordagem por variáveis a característica pode ser avaliada ao longo de uma escala de medida. Já na abordagem por atributos a característica é avaliada como conforme ou não conforme.

A inspeção por amostragem apresenta as seguintes vantagens sobre a Inspeção 100%:

- Reduz o custo, uma vez que um número menor de unidades é inspecionada;
- É aplicável quando inspeção destrutiva é necessária;

- Rejeição de inteiros lotes (e não apenas de unidades defeituosas) ao fornecedor é uma motivação adicional para que este melhore a qualidade do produto fornecido.

Apresenta no entanto as seguintes desvantagens:

- Existe o risco de aceitar lotes com qualidade abaixo da aceitável e de rejeitar lotes com qualidade adequada;
- Exige a necessidade de planejamento e documentação adicional.

Adicionalmente a inspeção por amostragem pode ser, como mostra a figura 3.5, simples dupla ou múltipla [31,37]. Quando um produto é submetido em lotes o plano de amostragem é definido em termos de:

- $N$  = tamanho de lote;
- $n$  = tamanho da amostra;
- Nível de Qualidade Aceitável <sup>2</sup> (NQA) = percentagem máxima de unidades defeituosas em um lote;
- $c$  = o número máximo de defeitos aceitáveis em uma amostra;
- $r$  = o número mínimo de defeitos que causa a rejeição do lote.

Quando se utiliza a amostragem simples, a decisão de aceitar ou rejeitar o lote é baseada nos resultados de um único grupo de unidades retiradas do lote. Já na amostragem dupla, uma amostra menor é retirada do lote, e a decisão de aceitar ou rejeitar é alcançada se o número de defeitos é muito grande ou muito pequeno, no entanto, se o número de defeitos está dentro de uma faixa considerada não decisória uma segunda amostra é retirada do lote para decisão. Na amostragem múltipla esta operação é repetida até que se chegue a decisão de que o lote está dentro do NQA aceitável.

### **c) Inspeção suprimida**

Esta é a abordagem adotada quando da certeza da qualidade assegurada do produto, através de dados tais como capacidade de processo ou histórico de fornecedor. A de

---

<sup>2</sup> Em conceito, o NQA representa um compromisso entre (1) o custo de alcançar um mais alto nível de qualidade (maior inspeção, controle adicional, equipamento de manufatura mais preciso) e (2) o custo de permitir um nível de qualidade mais baixo (rejeições de montagem, falhas de produto montados, etc.). Na prática, o NQA é um compromisso entre a capacidade do fornecedor e os requisitos do cliente [15].

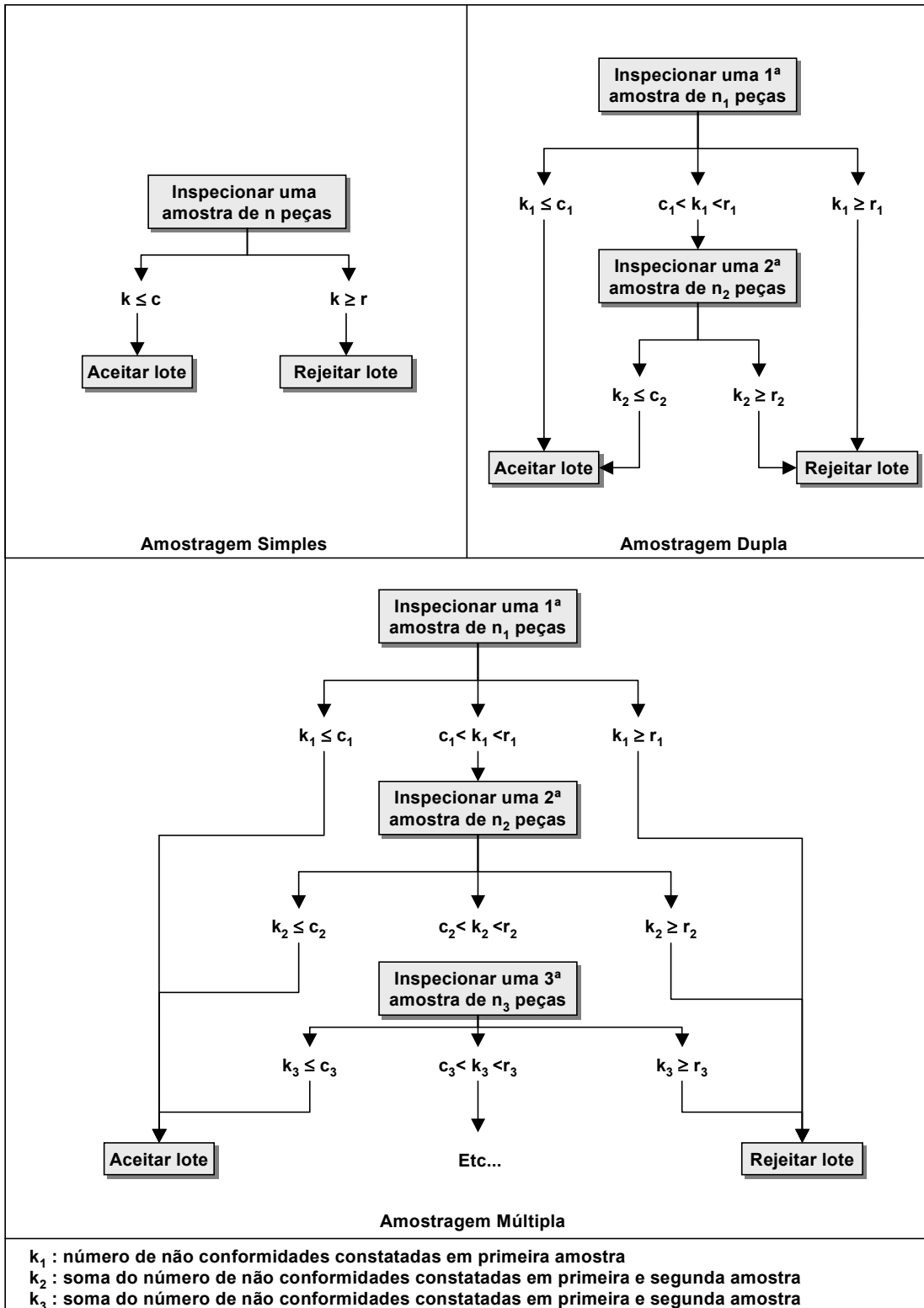


Fig. 3.5 Operação Esquemática de Amostragem Simples, Dupla e Múltipla [31]

se observar aqui que esta é a situação ideal, onde a inspeção não é mais necessária uma vez que atividades preventivas foram tomadas ao longo de todo o processo que antecede a montagem do produto.

Existem várias normas utilizáveis na inspeção da qualidade para a definição de planos de amostragem, mas pelas vantagens que proporciona e pelo fato de ser difundida em vários países, a mais utilizada é a norma ABC-STD-105, que corresponde à revisão da Norma MIL-STD-105 [37]. Algumas normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) incorporam critérios de amostragem da MIL-STD-105. As seguintes normas também podem servir de referência para amostragem [5]: DIN 40080; MIL 414; DIN/ISO 2859 e a DIN/ISO 3951;

### **3.2.3 Definição dos Recursos Humanos**

A determinação dos recursos humanos, tanto do ponto de vista quantitativo quanto do ponto de vista de formação requerida para a implementação da inspeção é principalmente dependente dos seguintes fatores:

- complexidade do produto a ser inspecionado;
- do meio de inspeção a ser utilizado;
- volume de produção.

Do ponto de vista econômico, é desejável um número mínimo de inspetores . Portanto, o processo de inspeção deve ser idealizado de tal forma a requerer poucos inspetores e deve conter procedimentos simplificados de tal forma a não requerer formação especializada para a sua execução. Um inspetor com instrução básica na área da garantia da qualidade deve estar apto a realizar o procedimento de inspeção com sucesso.

### **3.2.4 Definição do Meio de Inspeção**

O instrumento de medição deve ser escolhido considerando aspectos técnicos tais como tipo de característica a medir, acessibilidade ao ponto de medição, incerteza do processo de medição e também aspectos organizacionais tais como disponibilidade e aspectos econômicos tais como custo.

Sempre que possível, prioridade deve ser dada à utilização de meio de inspeção convencional uma vez que :

- Diminui custos de aquisição;
- Não requer mão de obra especializada para operação.

Já a utilização de gigas para teste de componentes/submódulos críticos é recomendada quando o custo de seu desenvolvimento é justificado.

### **3.2.5 Definição da Documentação**

A tarefa de planejamento da inspeção gera um documento chamado *Plano de Inspeção* que contém além de informações organizacionais e de identificação do componente a ser inspecionado as seguintes informações:

- característica a inspecionar;
- sua classificação quanto à criticidade;
- técnica de avaliação/medição utilizada;
- número de amostras, número de aceitação e número rejeição;

Quando a complexidade da operação de inspeção requerer notas especiais, um documento, em separado, pode e deve ser redigido e anexado ao plano de inspeção, a idéia é tornar a documentação das instruções da tarefa de inspeção o mais clara possível. Sempre que necessário a anexação de desenhos e amostras também é recomendada, assim como padrões de cores e etc..

De posse de planos de inspeção desenvolvidos sua maior utilidade e objetivo é a geração da *Ordem de Inspeção*, como ilustrado na figura 3.6. Assim de posse do tamanho do lote a ser inspecionado pode-se:

- determinar tamanho de amostras em cada ordem de inspeção;
- gerar documentação para clientes e também fornecedores;

Deve-se deixar bem claro aqui que a *Ordem de Inspeção* é um documento distinto do *Plano de Inspeção*, pois é o resultado do plano de inspeção combinado com outros dados específicos do lote sendo fornecido.

### **3.3 Análise Crítica da Viabilidade da Inspeção**

O planejamento ótimo da inspeção deve alcançar os seguintes objetivos:



**Fig. 3.6 Sequência para preparar e armazenar ordens de inspeção [Adaptado de 5]**

- Suporte à garantia da qualidade;
- Minimizar os custos de produção.

Os dois objetivos levam a direções contrárias, ou seja, um maior suporte à garantia da qualidade se obtém com maior volume de inspeção, o que acarretaria em um aumento no custo total de produção, por outro lado a minimização da inspeção diminuiria os custos e no entanto diminuiria o suporte necessário à garantia da qualidade [4,31,38].

Neste impasse os seguintes fatores devem ser considerados:

- recursos humanos disponíveis;
- recursos financeiros disponíveis;
- valor agregado, ou seja, a inspeção está sistematicamente fornecendo feedback para o processo global de desenvolvimento do produto;
- normas a serem seguidas;
- número de componentes na constituição do produto;
- volume de produção;

Uma condição bastante comum é aquela na qual o produto a ser montado é composto por um número elevado de componentes e dependendo do volume de produção, ou seja, do fluxo de componentes através do processo de inspeção se torna praticamente

inviável, ou muito caro, estabelecer o processo de inspeção. Normalmente à equipe de Garantia da Qualidade é dado um determinado número de recursos humanos e financeiros para executar a tarefa de planejamento e execução da inspeção de recebimento. Neste ponto é necessário tomar como ponto de partida os limitados recursos disponíveis e idealizar o processo de inspeção. Aqui se torna de suma importância priorizar componentes/subsistemas críticos e concentrar os recursos na prevenção de falhas mais críticas, que no caso de ocorrência acarretariam em elevado custo, isto é uma contribuição significativa aos custos de falhas interna e principalmente externas.

A etapa seguinte – Dinamização do Processo de Inspeção de Recebimento – é de fundamental importância para a real identificação das características críticas do produto e conseqüentemente para concentração dos escassos recursos disponíveis em pontos realmente carentes de atenção, liberando recursos de pontos onde os processos e atividades preventivas garantem a conformidade do componente.



# CAPÍTULO 4

## Inspeção da Qualidade na Fase de Montagem

Tendo o processo de planejamento da inspeção sido concluído, esta etapa trata de sua implantação e adequação ao sistema de produção como um todo. O desafio de todo o processo de inspeção é sua integração, num processo contínuo de ação preventiva contra defeitos e falhas, e sua contribuição ativa na identificação de ações corretivas e de melhoria. Este capítulo visa dar uma visão geral de como se dá o processo de dinamização do processo de inspeção, e também opções adicionais das quais pode-se lançar mão objetivando adequar o processo de inspeção tanto às características do processo produtivo quanto às limitações dos recursos disponíveis para a inspeção.

Aborda também como os dados de inspeção podem e devem ser utilizados pelos diversos departamentos dentro da organização. Ao final do capítulo faz-se uma análise e reflexão sobre a dificuldade de se integrar um produto complexo com uma alta taxa de unidades livres de defeitos.

### 4.1 Utilização dos Resultados de Inspeção

Os dados resultantes do processo de inspeção quando confrontados com a especificação do produto podem levar basicamente a ações corretivas em três níveis distintos. [4,5,23] O primeiro deles, operacionalizado através do ciclo de realimentação da qualidade na máquina, atua localmente em forma de um feed-back de malha fechada, sem alterações em nível do processo de produção e do processo de inspeção. O segundo nível de ações corretivas demanda eventualmente adequações que tangem os processos de produção e o processos de inspeção envolvidos, visando assegurar a qualidade através de adequações no planejamento desses processos. Um terceiro nível de adequações pode ser demandado, de forma que alterações em nível de projeto do produto e planejamento do processo de produção e inspeção sejam necessários. A figura 4.1 mostra como se dá essa dinâmica no processo de montagem de um produto mecatrônico.

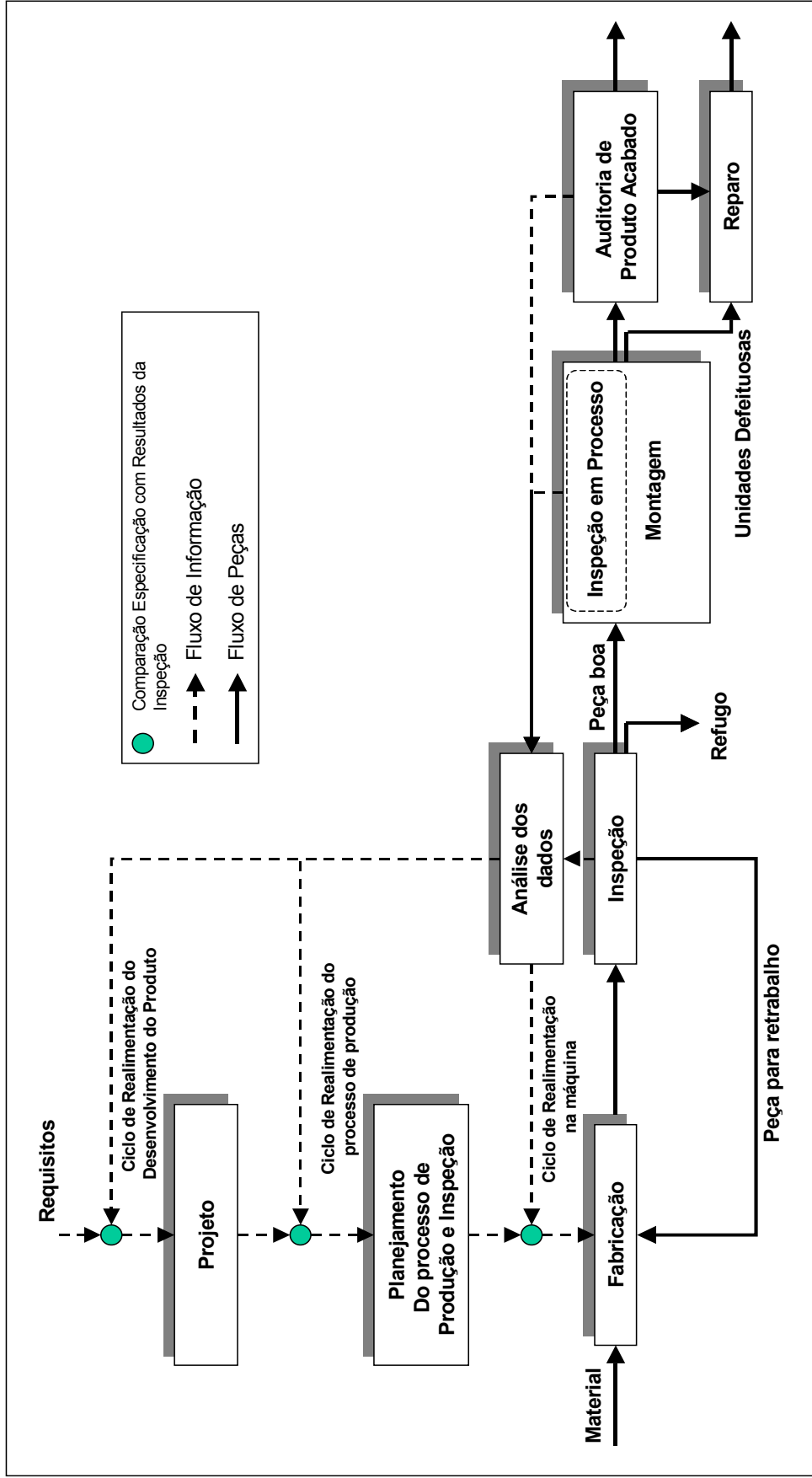


Fig. 4.1 Papel da Inspeção no Ciclo de Realimentação da Qualidade em Processo de Montagem [Adaptado de 4]

O que se constata no entanto, neste segmento da indústria nacional, é que o ciclo de realimentação aqui apresentado raramente se completa como adequadamente deveria acontecer. A dificuldade de comunicação entre os diversos departamentos da organização é a principal barreira a ser aqui enfrentada.

Frente ao apresentado percebe-se que os dados de inspeção são úteis para diversas áreas, tais como:

- Projeto – objetivando otimização de produto em nível de projeto;
- Processo/Fabricação – Inclua-se aqui também, principalmente fornecedores [39,23];
- Compras – com o objetivo de qualificar e desenvolver fornecedores [9,6];
- Custos – dados de inspeção são muito úteis para determinação dos Custos da Qualidade [5,20,31];
- Gerência e níveis superiores da organização em forma de indicadores que sirvam como subsídios para a tomada de decisão [5].

No entanto, os dados de inspeção devem estar customizados para cada uma dessas áreas, uma vez que cada área tem sua “linguagem particular”. Como exemplo, dados que são de relevância para a área de projeto podem não ser relevantes para a área de compras e vice-versa. O grande desafio é transformar e apresentar dados de inspeção em indicadores apropriados para cada área da organização.

Cuidado também deve ser tomado para a geração de documentação excessiva, dados só devem ser gerados se forem utilizáveis. Como boa premissa pode-se tomar o seguinte: **“Somente é medido o que pode ser documentado, somente é documentado o que é passível de processamento, somente é processado o que pode ser analisado criticamente, somente é avaliado criticamente parâmetro sobre o qual se pode atuar”**. [Adaptado de 5]

No extenso processo da aquisição e processamento das informações provenientes das atividades de inspeção, devido à grande quantidade de itens a inspecionar e também à sua variedade é indispensável que se lance mão de um Sistema da Qualidade Assistido por Computador – CAQ [4,5]. Com os planos de inspeção desenvolvidos e disponíveis em tal sistema a geração de ordens de inspeção e os registros de informações derivadas destas ações são armazenados e processados

neste sistema de tal forma que se mantenha registros rastreáveis que caracterizem a atividade de inspeção.

Um Sistema da Qualidade Assistido por Computador deve ser desenvolvido e fazer parte do Sistema de Gerenciamento da Produção de tal forma que a questão qualidade não seja um ítem à parte com informações duplicadas, e sim parte integrante de toda a informação do processo produtivo com informações relevantes e atuais para as áreas já citadas. Hoje existem inúmeros sistemas CAQ comerciais, empresas também implementam soluções desenvolvidas internamente. O que o autor pode constatar é que tais sistemas muitas vezes não são alimentados de forma eficiente e confiável e portanto não se obtém deles todo o benefício potencial que podem oferecer.

## **4.2 Otimização dos Planos de Inspeção de Recebimento**

Uma vez que o plano de inspeção foi elaborado e liberado para ser empregado no processo de inspeção de recebimento, ainda que este tenha sido elaborado à luz de adequados subsídios, não necessariamente, ele estará sintonizado em sua totalidade com a realidade dos processos correntes dos diversos fornecedores [25,6], portanto, a otimização deste plano de inspeção é passo importante e indispensável durante o processo de montagem do produto.

### **4.2.1 Mudança do Regime de Inspeção – ISO 2859**

A norma ISO 2859 - *Sampling procedures for inspection by attributes*, sugere a chamada dinamização da inspeção de recebimento. Os planos de amostragem de acordo com esta norma apresentam cinco regimes de inspeção:

- Inspeção Interrompida;
- Inspeção severa;
- Inspeção comum ou normal;
- Inspeção atenuada;
- Inspeção suprimida.

De acordo com a norma, as tabelas de inspeção comum devem ser empregadas no início do processo de inspeção, a menos que a autoridade responsável pela Garantia da Qualidade da empresa imponha outra orientação – que pode ser devida a uma

informação pré-conhecida sobre o fornecedor e/ou seu processo de produção. A inspeção comum, severa ou atenuada deve ter continuidade para cada classe de defeito em lotes sucessivos e deve-se mudar de uma modalidade de inspeção para outra seguindo a dinâmica da figura 4.2. Uma inspeção que se inicie, por exemplo, em regime normal e constate-se que o componente possua qualidade homogênea entre os diversos lotes, aceitando-se 10 lotes consecutivos, sua inspeção poderia passar a uma inspeção atenuada. Por outro lado, se deste mesmo item forem rejeitados 2 lotes consecutivos de um fornecimento de 5 lotes este item passa a ter inspeção de regime severa.

A decisão de se aceitar ou não o lote é tomada de acordo com a aplicação de amostragem contida na mesma norma ISO 2859. A figura 4.3 ilustra a aplicação desta técnica na inspeção de um item que começa com inspeção normal e tem seu regime de inspeção alterado de acordo com o desempenho do fornecimento.

Importante lembrar aqui que isso se aplica a lotes de inspeção que devem ser compostos por peças da mesma sequência de fabricação. Se o lote de inspeção por exemplo é formado por máquinas que trabalham em paralelo, é necessário formar lotes parciais para cada máquina. Este é um obstáculo muito grande quando executando a inspeção de recebimento nas instalações da empresa integradora, pois é necessário um forte relacionamento com o fornecedor, pois depende deste a eficácia do método de inspeção, o fornecedor deve formar verdadeiros lotes.

Muitas decisões erradas são tomadas quando analisando-se lotes que foram formados incorretamente do ponto de vista de processo, isso normalmente ocorre pois a formação de lotes pelo fornecedor é frequentemente deturpada por problemas de logística ou até mesmo por falta de organização interna.

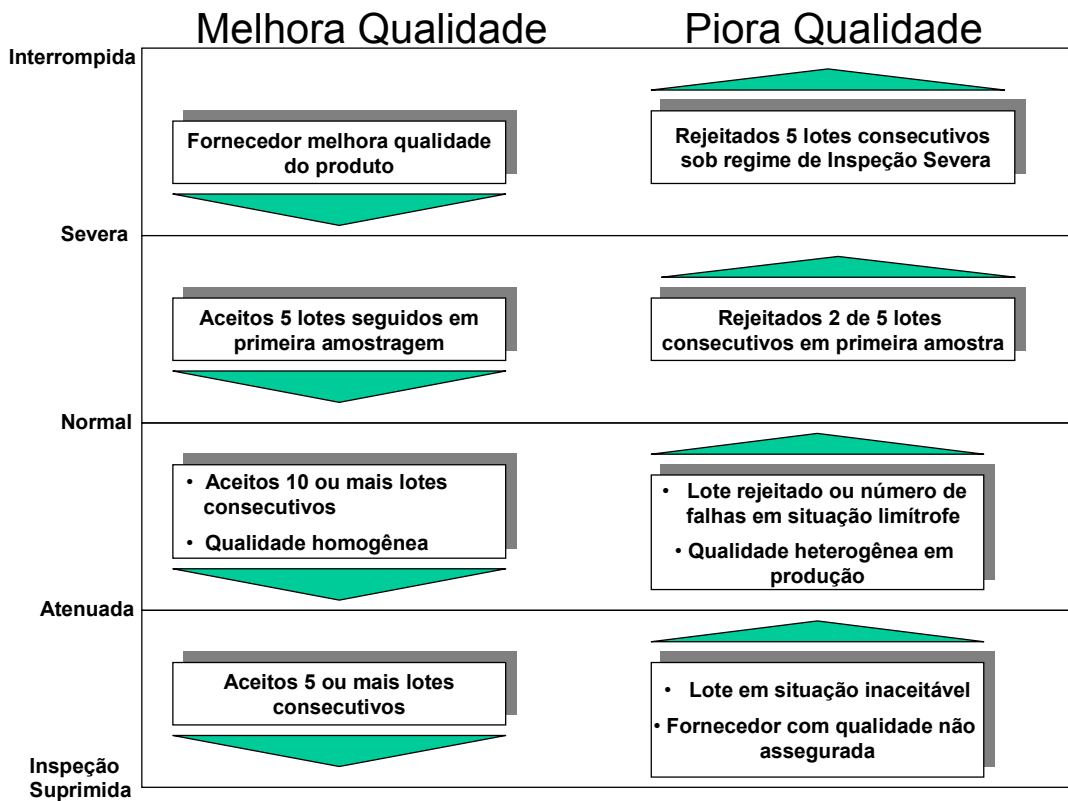


Fig. 4.2 Troca de Regime de Inspeção Segundo ISO 2859 [31]

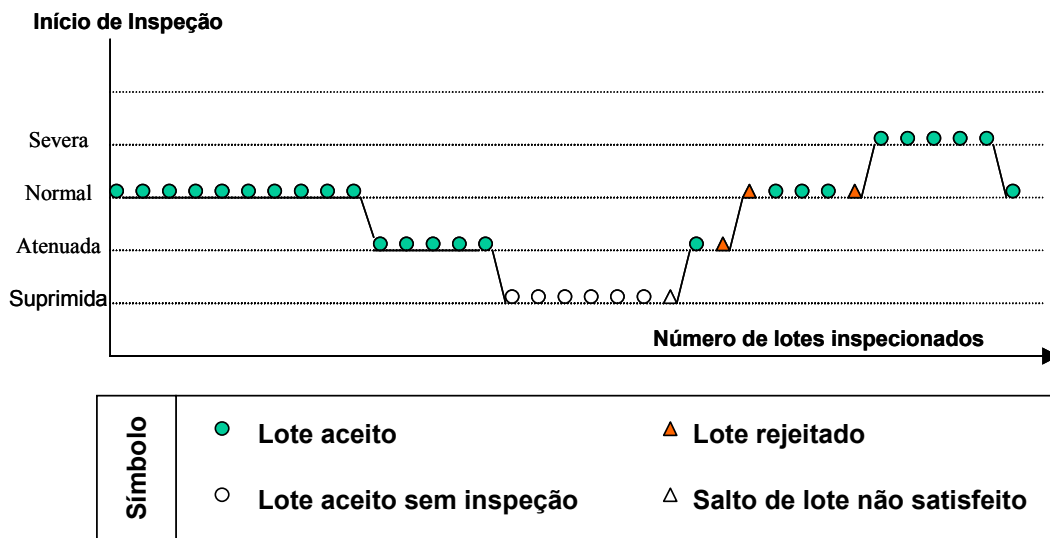


Fig. 4.3 Exemplo de Dinamização segundo ISO 2859 [5]

## **4.2.2 Mudança da Característica a Inspeccionar**

De acordo com o procedimento para o desenvolvimento da inspeção de recebimento é esperado que a este ponto todas as características que constam no plano de inspeção realmente tenham um bom motivo para constarem no documento, ou por um processo de produção que não assegure a qualidade esperada ou por razões especiais que não podem ser evitadas. No entanto, uma vez que o plano de inspeção deve ser um documento “vivo” e que reflita a realidade dos processos correntes, é possível que uma determinada característica que tenha sido considerada como crítica e portanto constante no plano de inspeção, possa por algum motivo ter sua conformidade garantida – fato constatado através de várias consecutivas aprovações. É sabido também, que um dos objetivos da inspeção de recebimento também é diminuir custos [4,5], portanto, é coerente eliminar dos planos de inspeção características que tenham sua conformidade assegurada pelo processo de produção. Essa eliminação seria uma alteração em nível de plano de inspeção, ou seja, com eliminação desta característica ela não seria mais sujeita ao processo de dinamização de inspeção.

Da mesma forma, quando do desenvolvimento dos planos de inspeção é possível que não se atente para determinada característica, ou seja, determinada característica que supostamente teria sua conformidade garantida pelo processo, mas que não se apresenta como tal, portanto o plano de inspeção deve incorporar tais características. A Informação para a detecção de tais características deve ser proveniente principalmente dos indicadores de processo de montagem, que provavelmente apontarão para falhas não previstas quando do desenvolvimento do processo de inspeção.

## **4.2.3 Redução do Nível de Qualidade Aceitável (N.Q.A)**

Pode-se constatar quando do fornecimento de um determinado item por fornecedores, que estes estejam fornecendo determinado item de acordo com o NQA exigido. Quando da percepção de que um componente pode ser fornecido com qualidade superior, é importante mudar – na verdade reduzir o NQA – para que o fornecedor se adeque ao processo de melhoria contínua. Ou seja, diminuindo-se o nível de qualidade aceitável exigido para a aceitação do produto – o que muitos interpretariam como pressão adicional ao fornecedor – constitui em verdade um estímulo adicional para que este fornecedor (que deve ser encarado como parceiro) se engaje no processo de melhoria contínua, uma vez que a visão de longo prazo é que é realmente importante. Dessa forma a empresa integradora motiva e auxilia o fornecedor a permanecer competitivo no mercado.

Adicionalmente, quando utilizando-se da norma ISO 2859 para o desenvolvimento da inspeção de recebimento pode-se mudar o **Nível de Inspeção** aplicado à característica. O nível de inspeção determina a relação entre o tamanho do lote e o tamanho da amostra.

São previstos três níveis de inspeção para uso geral:

- Nível I;
- Nível II;
- Nível III.

O nível II é o nível médio e deve ser utilizado a menos que por razões especiais outro seja especificado [37]. Como se pode deduzir o nível I oferece menor discriminação e o III maior discriminação, ambos em relação ao II. Quatro outros níveis especiais **S-1**, **S-2**, **S-3** e **S-4** podem também ser empregados quando amostras relativamente pequenas forem necessárias, recurso utilizado quando o volume de trabalho de inspeção é muito alto e os recursos para a execução da inspeção limitados.

Esta é também uma variável adicional, da qual pode-se lançar mão para adequar o processo de inspeção, primeiro ao processo produtivo e segundo aos recursos disponíveis para a execução da inspeção, mudando-se o nível de inspeção, pode-se diminuir ou aumentar o tamanho da amostra e também o volume de trabalho de inspeção. A figura 4.4 ilustra como se dá o processo de atualização dos planos de inspeção.



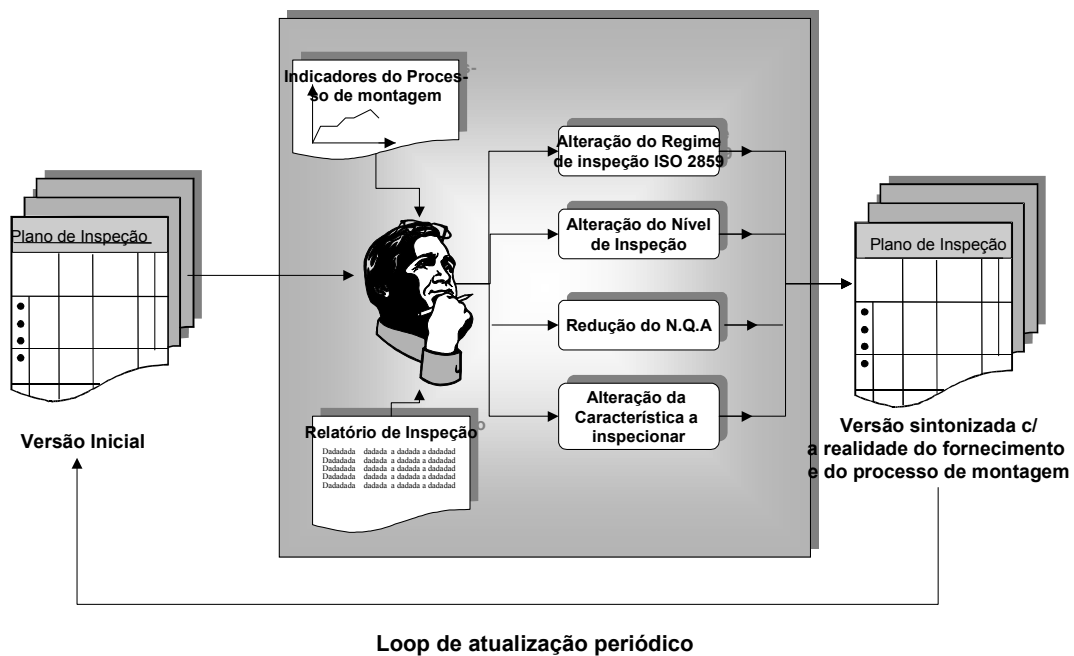


Fig. 4.4 Dinâmica de Atualização de Plano de Inspeção

### 4.3 A Auditoria de Produto Acabado.

Quando da integração de um produto complexo, o qual é resultante da montagem de vários componentes, módulos e submódulos a pergunta que se levanta é :”Qual o nível de qualidade que se deve exigir dos fornecedores para cada componente, módulo e submódulo uma vez que se pretende oferecer um produto final integrado com um determinado nível de qualidade aceitável ? “. Ou seja, como transferir de forma adequada e coerente para a cadeia de fornecedores as exigências de qualidade sobre o seu produto final.

O primeiro grande desafio é a determinação do que é realmente considerado uma não conformidade ao final da linha de montagem, e isso deve ser determinado à luz do fato de que o produto deve operar de forma integral e mesmo que operando satisfatoriamente não apresente anormalidades que provoquem a insatisfação do cliente. Na tentativa de responder a pergunta acima lançada, assume-se que o produto complexo seja formado por  $n$  itens e que a probabilidade de falha para cada item

constituente deste sistema é a mesma e igual a  $p$ , portanto de acordo com Creveling [25], o número médio de defeitos por unidade de produto final montado é dado por :

$$\text{Defeitos por Unidade (DPU)} = np \quad \text{Eq. 4.1}$$

A probabilidade  $P\{q\}$  de que um sistema constituído de  $n$  componentes terá  $q$  defeitos é dado pela distribuição de Poisson de acordo com a seguinte equação:

$$P\{q\} = \frac{[(DPU)^q e^{-DPU}]}{q!} = \frac{[(np)^q e^{-np}]}{q!} \quad \text{Eq. 4.2}$$

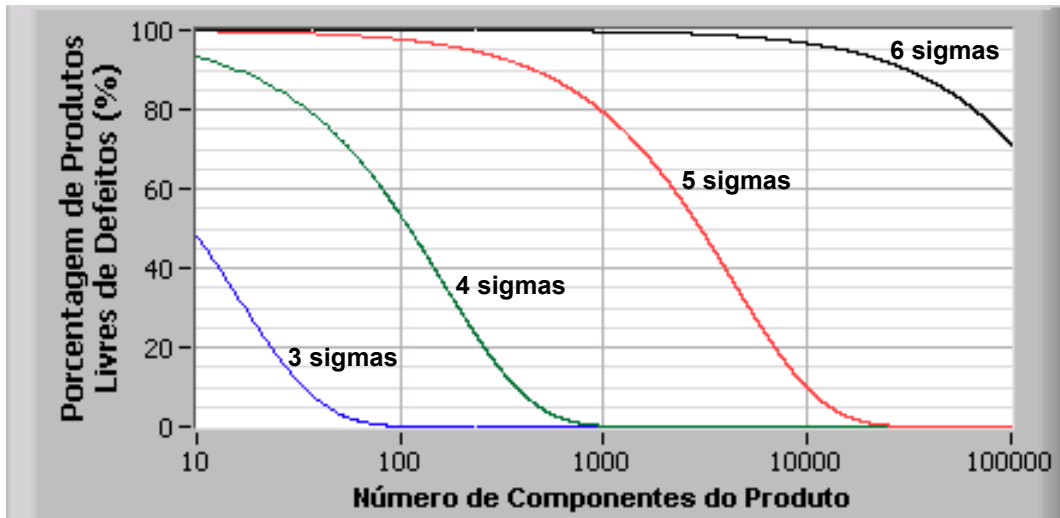
Tem-se que a probabilidade de uma unidade de produto final ser integrada completamente livre de defeitos, ou seja, a probabilidade de que  $q = 0$  é encontrada quando substitui-se a variável na equação acima e portanto chega-se a conclusão que, a probabilidade de obter-se um componente livre de defeitos é dado por :

$$P\{0\} = P\{\text{Componente livre de defeitos}\} = e^{-np} \quad \text{Eq. 4.3}$$

Supondo-se agora que  $p$  seja dado em termos do conhecido índice de qualidade Partes Por Milhão (PPM) [40,23], equacionando pode-se escrever a probabilidade de um componente falhar:

$$p = \text{PPM} / 10^6 \quad \text{Eq. 4.4}$$

Substituindo os valores PPM para cada nível de qualidade, por exemplo qualidade 3 sigmas, 4 sigmas, 5 sigmas e 6 sigmas e plotando a curva da Eq. 4.3 ( $P\{0\} = e^{-pn}$ ) em função do número de componentes  $n$ , obtém-se as curvas mostradas na figura 4.5. O gráfico mostra 5 curvas, cada uma para um nível de qualidade de componentes.



**Fig. 4.5 Baixa probabilidade de produtos integrados livres de defeitos [25]**

Com a análise das curvas mostradas constata-se a dificuldade de se obter uma alta porcentagem de unidades integradas livres de defeitos (índice conhecido na indústria como “First time Yield”). Tomando-se como exemplo, um produto que seja constituído por 100 componentes (o que seria um produto relativamente simples – impressoras para PC estão na faixa de 200 componentes [14] ), percebe-se que é praticamente impossível obtê-lo livre de defeitos, se qualidade 3 sigmas (0,27 % de falhas) for utilizada na produção de seus componentes individuais, a porcentagem de produtos integrados livres de defeitos é praticamente igual a zero.

Na grande maioria da literatura da qualidade disponível analisa-se a produção de componentes individuais e portanto, os “Yields” normalmente apresentados são muito elevados. No entanto, no contexto do desenvolvimento e integração de produtos complexos a taxa de defeitos constatada é muito mais elevada assim como os custos por ela gerada.

Analisando-se esses dados constata-se que a busca da melhoria contínua é ainda mais vital tanto pela empresa integradora quanto pelos seus fornecedores uma vez que para a integração de uma alta porcentagem de produtos livres de falhas é exigido, no mínimo, qualidade 5 sigmas na produção de seus componentes individuais, o que a cadeia de fornecimento nacional neste segmento da indústria definitivamente ainda está muito longe de alcançar.

# Capítulo 5

## Garantia da Qualidade no Processo de Desenvolvimento do Terminal Eletrônico

À luz das atividades descritas nos capítulos anteriores, o presente capítulo objetiva apresentar um estudo de caso no qual se pode aplicar as técnicas exploradas e constatar-se sua eficácia na prática. Descreve-se aqui o cenário de aplicação, suas limitações e os resultados alcançados. Este estudo de caso se destaca por mostrar grande parte da problemática de aplicação destas técnicas em um ambiente turbulento, com limitações de recursos, de tempo e resistências diversas.

### 5.1 A Escolha do Estudo de Caso

O presente estudo de caso foi desenvolvido no Centro de Metrologia e Inovação de Processos (CMIP), um dos centros integrantes da Fundação CERTI, em um projeto conjunto com uma empresa nacional que desenvolve produtos para automação comercial e bancária. A Fundação CERTI vem desenvolvendo, consolidando e aperfeiçoando técnicas e ferramentas de Garantia da Qualidade que se aplicam ao desenvolvimento e produção de produtos tecnológicos.

A busca por este tipo de competência, é justificada pela grande demanda potencial existente no mercado nacional e internacional por este tipo de domínio tecnológico, uma vez que hoje a busca pela Garantia da Qualidade é uma componente fundamental para obtenção e manutenção da competitividade de uma empresa [4,5,6]. Este tipo de interação entre universidade e empresa apresenta uma componente sinérgica muito interessante, pois ao mesmo tempo que fortalece a indústria nacional com a melhoria de seus produtos e processos, fornece à Universidade um “laboratório” para a aplicação e desenvolvimento de técnicas em estudo, possibilitando e catalisando assim o cumprimento de um dos mais importantes objetivos da universidade – ***Gerar, Sistematizar e Difundir o Conhecimento.***

O estudo de caso constitui-se na aplicação de técnicas de Garantia da Qualidade no desenvolvimento e produção de um terminal eletrônico. Tais ferramentas foram aplicadas desde a fase de projeto até a fase de produção com o objetivo de diminuir

as elevadas taxas de falhas constatadas na produção de uma geração anterior deste mesmo produto. O autor esteve envolvido de forma ativa em todas as fases do projeto e teve a oportunidade de implementar e constatar resultados durante a fase de produção.

## **5.2 Caracterização do Produto e do Processo**

O produto objeto do estudo de caso é caracterizado por ser um produto baseado numa plataforma PC. Desenvolvido para o fim de consulta popular, é constituído por uma tela e teclado simples de tal forma que a interface com o usuário seja o mais simples e robusta possível. Caracteriza-se por:

- Plataforma PC padrão 586;
- Estrutura mecânica (“housing”) constituída de peças injetadas de poliestireno;
- Número de componentes/subsistemas: 70;
- Número de fornecedores nacionais: 50;
- Número de fornecedores internacionais: 20;
- Número de unidades produzidas: aproximadamente 200.000.

Salienta-se também que é um produto que teve seu desenvolvimento motivado pelo mercado, ou seja, partindo da necessidade do mercado lançou-se mão de tecnologias dominadas e disponíveis para o seu desenvolvimento – é portanto o resultado da integração de tecnologias. A figura 5.1 ilustra sua estrutura, sendo constituído de partes mecânicas, módulos e submódulos eletrônicos e eletromecânicos.

Cabe também dar uma idéia do processo de produção que caracterizou-se por:

- Envolvimento de duas plantas industriais para a montagem, com um total de 400 funcionários;
- Tempo total de desenvolvimento do projeto: 4 meses;
- Tempo total de produção: 6 meses;

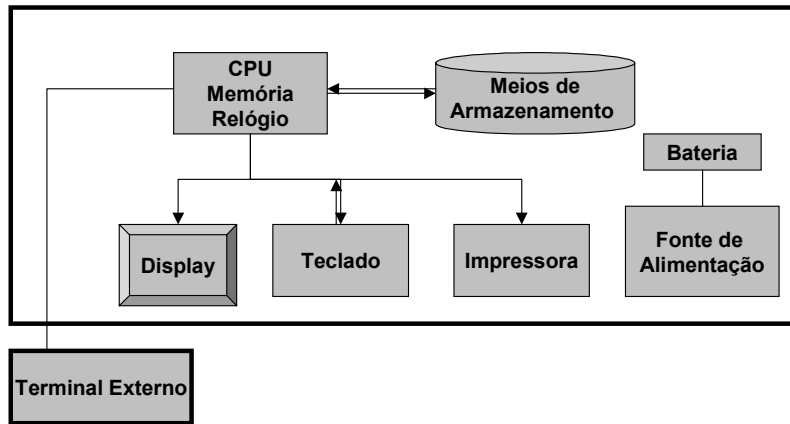


Fig. 5.1 – Estrutura do Produto Objeto do Estudo de Caso

### 5.3 A Sistemática de Desenvolvimento de Garantia da Qualidade no Desenvolvimento.

A aplicação das atividades de Garantia da Qualidade foram feitas em etapas, que se concentraram nos três focos:

- Projeto;
- Junto aos fornecedores;
- Produção.

O primeiro passo aqui foi a prospecção de características críticas e principais (segundo capítulo 2). Procurou-se exaustivamente formar um conjunto de características críticas potenciais, para obter um mapa inicial, um ponto de partida para a seleção de características que primeiro, seriam alvo de atividades de prevenção e segundo, constariam nos Planos de Inspeção de Recebimento. Há de se salientar que todas as atividades desenvolvidas neste estudo de caso visavam principalmente desembocar no desenvolvimento de uma inspeção de recebimento enxuta e eficaz, uma vez que, de acordo com o discutido no capítulo 2 e constante nas referências [8,5,2,6] o sucesso do processo de montagem se atribui predominantemente ao sucesso de seu fornecimento.

Tendo como objeto este produto com 70 componentes/subsistemas gerou-se uma primeira lista de potenciais características com aproximadamente 250 itens. Na geração desta lista foi de extrema importância a interação de profissionais de projeto com experiência no desenvolvimento da geração anterior deste produto, profissionais de GQ e fornecedores chaves.

### **5.3.1 Abordagem Adotada para Componentes Injetados.**

Para cada uma das peças injetadas de poliestireno, que constituem o produto, foram gerados Planos de Controle<sup>3</sup>, que foram úteis tanto para o processo de aprovação de ferramenta (Ver figura 5.2), quanto, como ponto de partida, para a geração dos Planos de Inspeção de Recebimento.

A Figura 5.2 ilustra, esquematicamente, a estratégia utilizada para garantir a qualidade dos componentes injetados, que foram o grande foco das atividades deste estudo de caso. Numa primeira etapa, denominada Aprovação de Ferramenta utilizou-se tecnologia de medição por coordenadas para a confrontação das cotas das peças injetadas com os dados de projeto. Esta etapa visava prioritariamente detectar desvios no projeto da ferramenta, ou seja, da matriz utilizada para a injeção.

Tendo a ferramenta aprovada, a fase seguinte adotada é a chamada Fase de Produção Piloto onde estimando-se o índice de capacidade de processo,  $C_{pk}$  [5,23], procurou-se garantir que o processo de injeção forneceria peças dentro das especificações. Uma vez aprovado o lote piloto as peças estavam prontas para a fase de produção.

Já na fase de produção foi empregada a atualização dos planos de inspeção ilustrada na Figura 4.4, ajustando-se desta forma os planos de inspeção tanto ao fornecimento quanto ao processo de montagem. Esta estratégia foi empregada para todas as peças injetadas do produto.

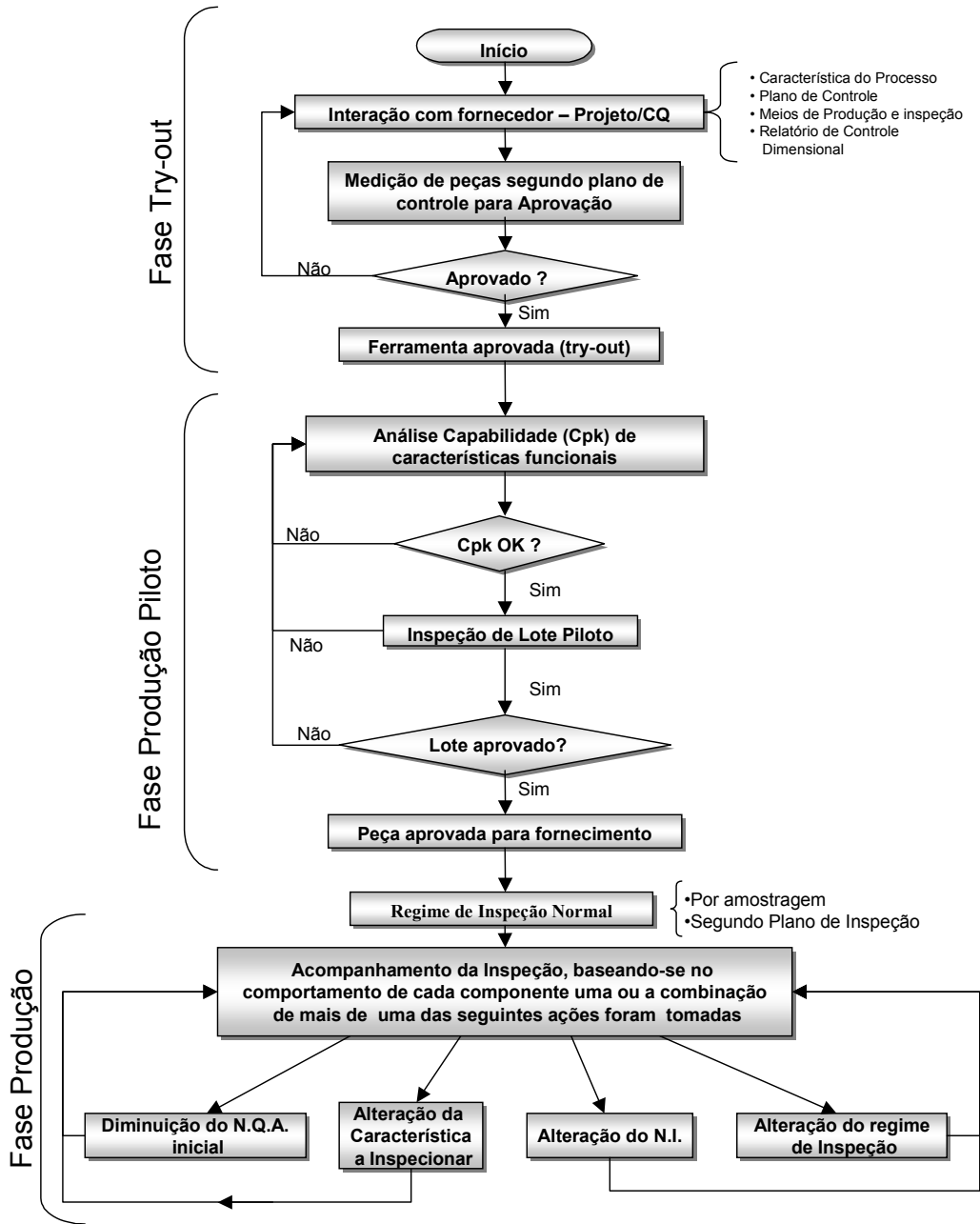
### **5.3.2 Abordagem Utilizada aos Componentes Eletrônicos.**

Aos componentes eletrônicos, aplicaram-se dois tipos de inspeção, uma chamada inspeção 100% voltada para sua funcionalidade e dependendo do componente também uma inspeção amostral para checagem de condições gerais dos lotes recebidos.

A inspeção 100% para alguns dos componentes eletrônicos do produto se justifica pela criticidade apresentada por estes, ou seja, o funcionamento adequado do produto final depende do funcionamento destes componentes, portanto, a inspeção 100% por meio de rotina de software foi necessária.

---

<sup>3</sup> Um Plano de Controle é uma descrição documentada dos meios/métodos para controlar as características de uma peça [1].



**Fig. 5.2 Sistemática da Garantia da Qualidade para Componentes Injetados**

Já com o objetivo de monitorar características externas do produto e principalmente condições de chegada de lote, foi também aplicada inspeção por amostragem aos mesmos componentes.



### **5.3.3 Detalhamento da Inspeção de Recebimento Aplicada.**

A inspeção de recebimento foi desenvolvida baseada nos recursos disponíveis para sua operacionalização e nas necessidades detectadas durante o projeto. Para determinação do Regime de Inspeção, ou seja o Nível de Inspeção (N.I). e o Nível de Qualidade Aceitável (N.Q.A), considerou-se a Norma ABC-STD-105 [37], os recursos humanos disponíveis e o número de componentes a serem inspecionados. Chegou-se dessa forma a uma solução, que satisfizesse a norma vigente e ainda factível tendo em vista os recursos disponíveis. Os critérios iniciais adotados para *todos* os componentes do produto, foram os seguintes:

- Regime de Inspeção Normal;
- Nível de Inspeção S2;
- N.Q.A. = 2,5.

A este ponto é razoável questionar: por que exigir do fornecedor um nível de qualidade tão baixo - caracterizado por um N.Q.A = 2,5 – uma vez que de acordo com o ilustrado na Figura 4.5 é necessário no mínimo um fornecimento com qualidade 5 sigmas para que se obtenha um produto final integrado (constituído por 70 unidades) com taxa de falhas razoavelmente baixo?

Isso se justifica pela história da cadeia de fornecedores da empresa em questão, caracterizada por uma performance muito pobre quando comparada com os padrões internacionais de fornecimento. O estabelecimento de um N.Q.A = 2,5 visava em primeiro plano pressionar os fornecedores e ao mesmo tempo permitir a montagem do produto, uma vez que se por algum motivo se estabelecesse um N.Q.A. menor do que 2,5 a grande maioria dos fornecedores não estariam aptos para fornecer. Conforme mencionado no Capítulo 2 as empresas nacionais fornecedoras para esse segmento (cuidado com seguimento e segmento- verifique todos) industrial, encontram-se em um nível de qualidade, muito aquém das empresas de classe mundial.

### **5.4 Os Resultados Obtidos**

Todas as atividades descritas no item 5.3 culminaram em uma resposta do sistema já na fase de produção, neste item se examinam os resultados obtidos e onde foram encontradas as maiores dificuldades. Acredita-se que uma vez que o produto objeto deste estudo, apresente características gerais, os resultados aqui apresentados,

caracterizam muito bem, o comportamento da cadeia de fornecedores e os pontos de maior falha.

#### **5.4.1 Inspeção de Recebimento.**

Com a inspeção de recebimento desenvolvida, inicialmente com as condições citadas no item 5.3, tais sejam, Inspeção por amostragem para todos os componentes/subsistemas integrantes do produto, nível de qualidade aceitável igual a 2,5, regime de inspeção normal e nível de inspeção S2, obteve-se os resultados apresentados na seqüência.

Aplicando-se o processo de dinamização da inspeção de recebimento (ver figura 4.4) verificou-se que os componentes que tiveram seus planos de inspeção modificados principalmente em função de mudança de característica a medir foram as peças injetadas de poliestireno, nos quais constatou-se que algumas cotas simplesmente não variavam e não necessitavam de um controle mais rigoroso.

Verificou-se que a forma mais eficiente de se controlar as características dimensionais de tais peças, era a aprovação de contra-peças, com as quais se pudesse realizar ensaios de montagem. Ou seja, as amostras retiradas dos lotes fornecidos, eram montadas com as contra-peças e assim verificava-se sua conformidade dimensional.

No entanto, na inspeção de recebimento encontrou-se principalmente as seguintes dificuldades :

- Conscientização de inspetores da qualidade para o fato de que as amostras deveriam ser tomadas aleatoriamente, independente da dificuldade de acesso às unidades – guiados pela facilidade de acesso, não amostravam de forma aleatória os lotes;
- Convencimento de fornecedores do fato de que os lotes deveriam constituir verdadeiros lotes, ou seja, teriam que ser formados por peças produzidas sob as mesmas condições, condição sem a qual colocaria a perder todo o esforço de desenvolvimento do processo de inspeção. Constatou-se em várias oportunidades que fornecedores distorciam lotes guiados por uma maior facilidade de logística;
- Pressão da área de produção para a aprovação de peças não conformes com o objetivo de atingir metas de produção.

Há também de se fazer algumas observações adicionais.

- Os componentes padrão de mercado tiveram seus planos de inspeção pouco modificados, ou seja, o processo de atualização da inspeção não gerou muitas versões diferentes de planos de inspeção.
- O componentes que foram desenvolvidos especificamente para o produto em questão apresentaram maior evolução dos planos de inspeção, principalmente quanto às características a inspecionar.
- **Apenas 1 (um) componente**, dentre os 70 constituintes do produto, pode ter seu N.Q.A reduzido em virtude de fornecimento adequado superando as expectativas quanto ao nível de qualidade aceitável exigido. Este componente, uma bateria, é um produto padrão de mercado. Os outros 69 componentes/subsistemas não apresentaram uma uniformidade no processo de fornecimento, o que constata mais uma vez a pobre performance da cadeia de fornecedores.

A figura 5.3 ilustra os dez componentes mais críticos na inspeção de recebimento, aqueles que apresentaram os mais altos índices de rejeição em número de lotes. Destaca-se na figura o item *componente plástico*, com mais de 50% dos lotes reprovados, que se constitui na verdade, de um gabinete plástico que se revelou um grande transtorno, durante todo o processo de montagem do produto. Nenhum dos fornecedores (totalizando 4 para este item) conseguiu a qualidade requerida para o produto. Este foi um caso especial, no qual provavelmente uma mudança de conceito, seria o mais adequado para a solução do problema, constatou-se aqui um problema de projeto conceitual. Os demais itens mostrados na figura, vêm ilustrar mais uma vez a dificuldade que a indústria integradora enfrenta, quando trabalhando com fornecedores que praticam tais níveis de qualidade.

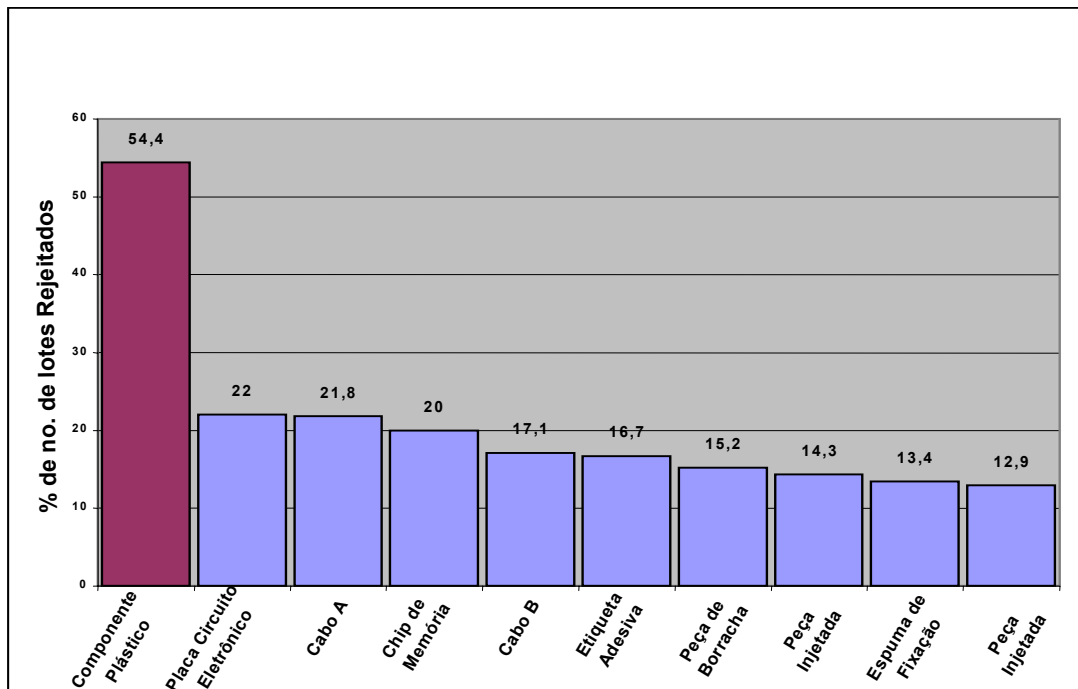


Fig. 5.3 Dez Componentes mais Críticos na Inspeção de Recebimento

### 5.4.2 Unidades Defeituosas no Processo de Montagem.

Após os componentes terem sido aprovados pela inspeção de recebimento eles tomam parte no processo de montagem. O produto após passar pelo processo de montagem é submetido a um teste funcional ao final de sua integração, o que basicamente não passa de uma rotina de software a ser cumprida e uma inspeção visual para detecção de falhas e/ou defeitos não notados durante a montagem. As unidades aqui reprovadas são isoladas e enviadas a uma estação de reparo.

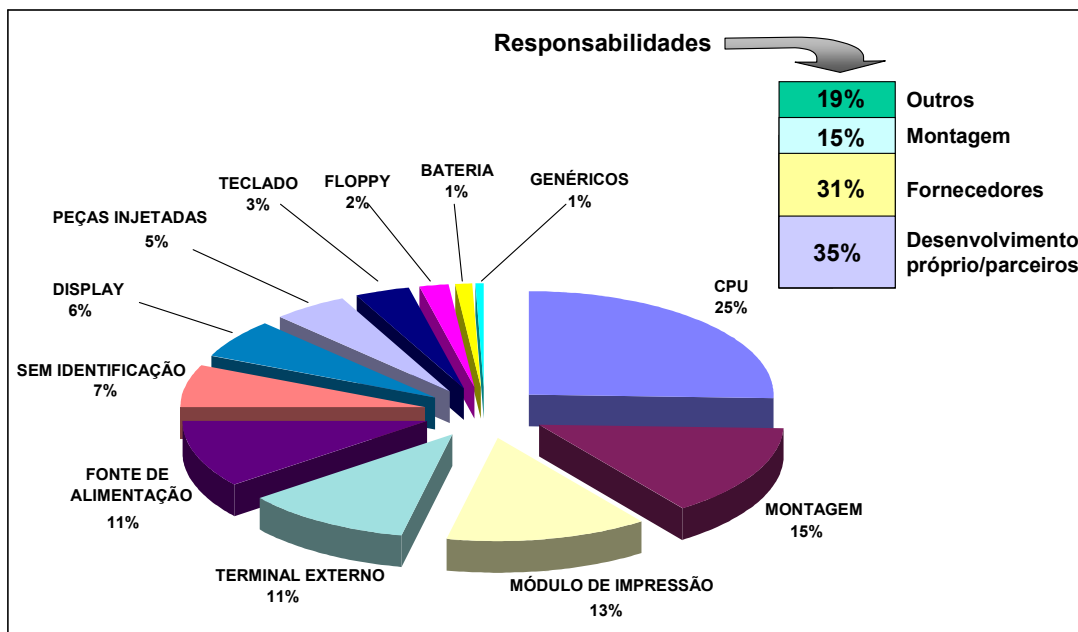
O segundo teste, ainda durante a montagem, se constitui de um teste de “Run-in”<sup>4</sup> [6], onde a unidade é novamente submetida a um período de teste de aproximadamente 6 horas. As unidades que aqui manifestam problemas são também encaminhadas a unidade de reparo, ou seja, a unidade de reparo aqui neste sistema de montagem reúne todas as unidades não conformes, manifestadas durante o processo de montagem e aqui se procede a análise dos principais defeitos detectados.

<sup>4</sup> “Run-in” é a denominação dada a testes de hardware executados em fábrica, desenvolvidos com o objetivo de que o produto não chegue ao cliente ainda na fase de alta probabilidade de falha, fase esta localizada no período inicial da conhecida curva da banheira [3,32].

A figura 5.4 ilustra como se manifestaram os defeitos neste produto. De um total de aproximadamente 200.000 unidades integradas, 38.800 unidades manifestaram defeitos durante o processo de montagem, com 42.200 defeitos registrados (algumas unidades apresentaram mais de um defeito). Isso significa que 20 % das unidades integradas apresentaram problemas que as impediram de funcionar satisfatoriamente.

A distribuição dos defeitos pode ser visualizada na figura 5.4, destacando-se:

- **31% dos defeitos** foram causados por problemas de componentes que são padrão de mercado, sendo eles a Unidade Central de Processamento -CPU (com 25% = 10.744 ocorrências) e o display de cristal líquido (com 6% = 2.641 ocorrências). Esses são chamados “componentes de prateleira” e portanto não constituem parte do desenvolvimento do produto em si, são especificados e integrados ao produto. **Constitui portanto um problema explícito e isolado de fornecimento.**
- **15 % dos defeitos** foram atribuídos ao processo de montagem (6.162 ocorrências), ou seja, procedimentos inapropriados, manipulação de material inadequada, etc, o que também apresentou uma taxa além da esperada.



**Fig. 5.4 Defeitos ocorridos durante o processo de montagem.**

- **35 % dos defeitos** atribuíram-se a três módulos sendo eles o Módulo de Impressão (13% = 5.621 ocorrências), o Terminal Externo (11% = 4.626 ocorrências) e a Fonte de Alimentação (11%), aqui demonstrando problemas de produto, ou seja, problemas que podem ser atribuídos ao desenvolvimento do produto propriamente dito. As causas são diversas, uma vez que o produto é consideravelmente complexo.

O mais relevante desta análise é constatar que uma grande porcentagem dos problemas apresentados estão presentes em poucas causas, ou seja, tomando como exemplo os 31% dos defeitos causados por dois componentes padrão de mercado, totalizando 13.385 ocorrências, que ilustram mais uma vez a importância da escolha do fornecedor. Os 15 % de problemas causados pelo processo de montagem, neste caso sendo executado por Contract Manufacturing, ilustra que esse percentual poderia ser reduzido com melhoria nos procedimentos/rotina de montagem. No entanto, cabe ressaltar que os 35 % atribuídos a problemas de desenvolvimento são problemas que só poderiam ter sido resolvidos com maior investimento em planejamento e avaliação da qualidade mais intensos durante toda a fase de desenvolvimento do produto.

### **5.4.3 Resultados do Processo de Inspeção Final do Produto.**

Ao final do processo de montagem, a última etapa pela qual o produto é submetido antes de ser entregue ao cliente é a chamada inspeção final. No caso específico aqui apresentado, a inspeção final foi realizada através de amostragem. Estabeleceu-se os seguintes parâmetros para a Inspeção Final:

- N.Q.A = 1 %;
- Nível de inspeção S2;
- Regime de Inspeção Normal;

As não conformidades apresentadas pelo produto foram classificadas em:

- **Deméritos não-funcionais:** defeitos que mesmo que apresentados não comprometem a funcionalidade básica do produto. Estes defeitos podem ser defeitos visuais, imperfeições, desvio de cores e etc..
- **Deméritos funcionais:** defeitos que uma vez apresentados pela unidade a inutiliza pois seu funcionamento é afetado.

A figura 5.5 ilustra como as não conformidades se distribuíram entre não-funcionais e funcionais. Importante lembrar aqui que isso é o resultado da amostragem de 23.089 unidades, ou seja, às aproximadamente 200.000 unidades produzidas foi aplicada inspeção amostral (resultando em 23.089 amostras) sendo que foram constatados nestas 3.756 não conformidades, os quais são mostrados na figura 5.5.

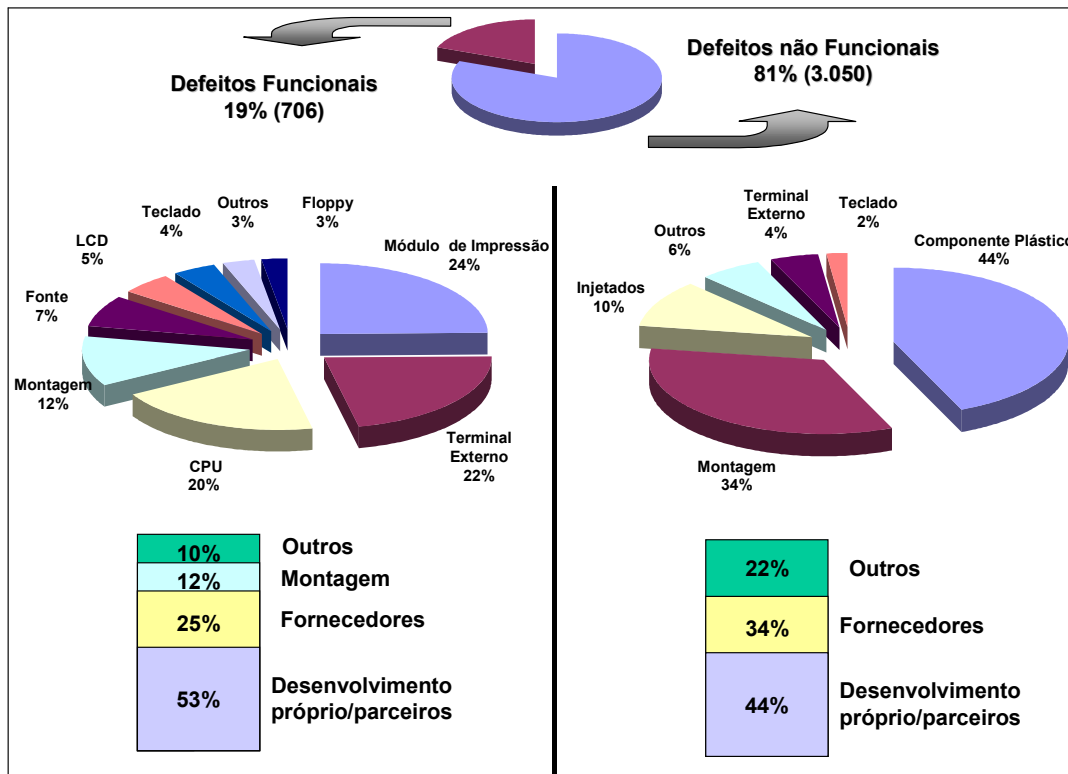
Demonstra-se na figura 5.5 que 81% (3.050 ocorrências) dos defeitos constatados em inspeção final estão classificados como defeitos não funcionais e 19% (706 ocorrências) como defeitos funcionais. Apresenta-se também na figura um quadro com responsabilidades distribuídas.

Tem-se que para os defeitos funcionais:

- **53% atribuídos a problemas de desenvolvimento próprio**, ou seja, metade dos problemas funcionais poderiam ser evitados quando do desenvolvimento do produto.
- **25% atribuídos exclusivamente a fornecedores**: mais uma vez os dois produtos padrão de mercado mais críticos no reparo, CPU e LCD apresentaram uma alta contribuição para a taxa de falhas nas inspeção final de produto acabado, um quarto das falhas poderiam ser evitados trabalhando-se com fornecedores mais confiáveis.
- **12% atribuídos ao processo de montagem**.

Já quanto aos defeitos não funcionais destacaram-se:

- **44% atribuídos a desenvolvimento próprio/parceiros**: o curioso neste caso é que apenas um componente do produto (o mesmo envelope plástico que se destacou na inspeção de recebimento) foi o responsável por estes 44%. Este componente se destacou pelo fato de que nenhum de seus fornecedores se adequaram ou atingiram o nível de qualidade aceitável exigido. Este é um caso típico onde uma mudança de conceito é mais adequada para a solução do problema.
- **34% atribuídos a montagem**: mostrando mais uma vez a alta contribuição do processo de montagem para a taxa de falhas, essa porcentagem poderia ser reduzida com um melhor gerenciamento das rotinas de montagem.
- **22% atribuídos a diversos fatores**: o restante das não conformidades não funcionais foram atribuídas a diversos fatores.



**Fig. 5.5 Não Conformidades Constatadas em Inspeção Final de Produto Acabado**

O interessante aqui é salientar que se agindo sobre apenas dois fatores – um dos componentes (44% das não conformidades) e o procedimento de montagem (34% das não conformidades) – poderia-se potencialmente reduzir o número de deméritos não funcionais em até 78%.

#### **5.4 Constatação dos Efeitos do Planejamento/Avaliação da Qualidade.**

Diante da apresentação da estratégia de Garantia da Qualidade no desenvolvimento deste projeto e dos índices de falhas obtidos, cabe questionar qual o real impacto que as atividades implementadas causaram no desempenho total do processo de montagem. Até que ponto o planejamento e avaliação da qualidade, resultando em um processo de inspeção de recebimento dinâmico e em sintonia com rejeitos de montagem e desempenho de fornecedores, influenciaram na redução de falhas como um todo ?

Objetivando responder a esta pergunta, mostra-se aqui o contraste entre dois processos, este no qual aplicou-se toda a abordagem apresentada neste trabalho e

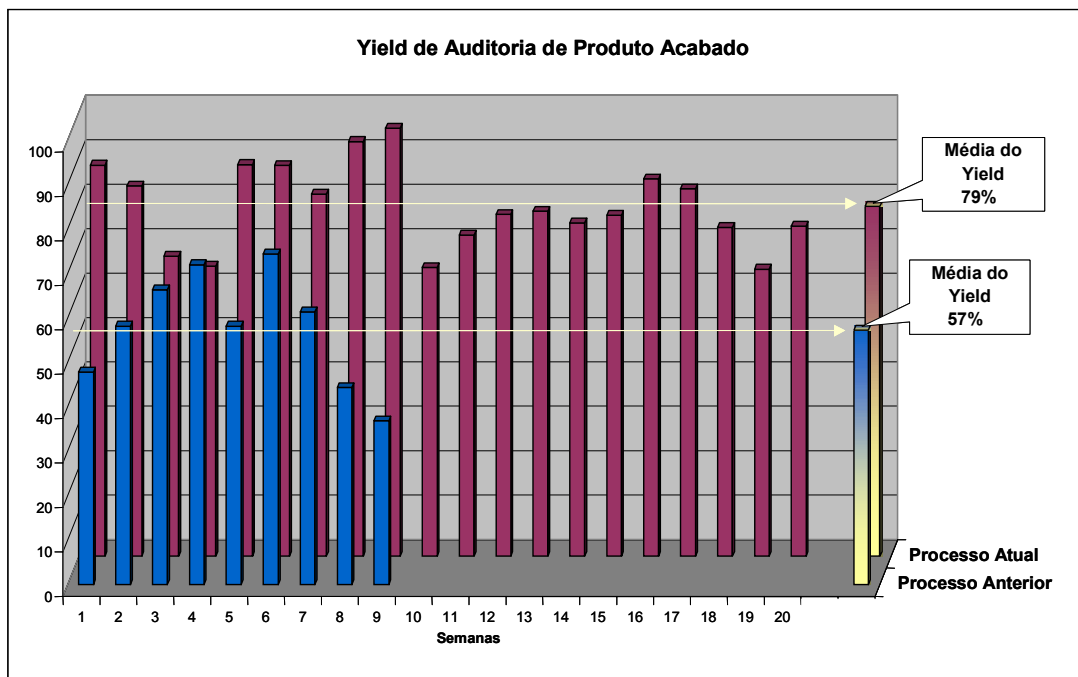


outro no qual não houve uma aplicação sistemática objetivando a prevenção e avaliação da qualidade.

O gráfico de barras mostrado na Figura 5.6 intitulado “Processo Anterior”, consiste no desempenho do processo de montagem do mesmo produto, de uma geração anterior, no qual não foi utilizada nenhuma estratégia sistematizada de garantia da qualidade durante o seu desenvolvimento. Constata-se uma média de aprovação de lotes em inspeção final de produto (Yield) igual a 57%, o que constitui um desempenho fabril muito pobre. Em contraste, o gráfico de barras intitulado “Processo Atual” representa o presente processo com uma média de aprovação de número de lotes igual a 79%, o que mostra uma melhora de 22% na aprovação de lotes produzidos.

O processo atual foi monitorado por um período de tempo de 20 semanas e os dados do processo anterior se referem apenas a um período de 9 semanas, uma vez que este último processo foi marcado por períodos de muita descontinuidade, no entanto, essas 9 semanas constituíram o período de produção mais contínua e presta-se para fins de comparação.

Para fins de uma análise coerente, não se pode deixar de citar que obviamente toda a melhora de performance não se atribui apenas às atividades aqui descritas. Um



**Fig. 5.6 Constatação do efeito do Planejamento/Avaliação da Qualidade no Desempenho Fabril**

produto à medida que evolui de geração a geração passa por um processo de amadurecimento natural, a experiência acumulada pela empresa com uma geração agrega valor para uma segunda realização e obviamente isso se reflete na melhora dos índices, essa melhora constitui na verdade uma soma de fatores. No entanto, uma melhora impactante como esta se deve em grande parte a uma ação sistemática de prevenção e avaliação.

Uma vez constatada a melhora sensível da performance do processo de montagem, resta ainda questionar se esta realmente constitui um bom índice em termos do que se pode obter em um processo de montagem. Com o objetivo de apresentar um *benchmark* em relação a processos de montagem, apresenta-se aqui o desempenho de um dos processos de montagem de uma empresa norte americana que o autor teve a oportunidade de conhecer. A empresa desenvolve produtos para automação da medição sendo reconhecida nos Estados Unidos pela prática de altos níveis de qualidade, caracteriza-se também por ter porte e faturamento semelhantes ao da empresa nacional na qual este estudo de caso foi desenvolvido.

O produto em questão, consiste de um sistema de medição com CPU embutida, possuindo também componentes/subsistemas mecânicos e eletrônicos e apresentando em sua macro-estrutura um número de 85 componentes/subsistemas. A figura 5.7 mostra a performance do processo de montagem deste produto ao longo de um período de um ano – setembro/2000 a agosto/2001 – onde podemos constatar que o *Yield Mensal* flutua na faixa de 88 – 93%, enquanto que o *Yield Acumulado* durante todo este período se encontra na faixa de 90 – 92%. Constata-se portanto, que índices

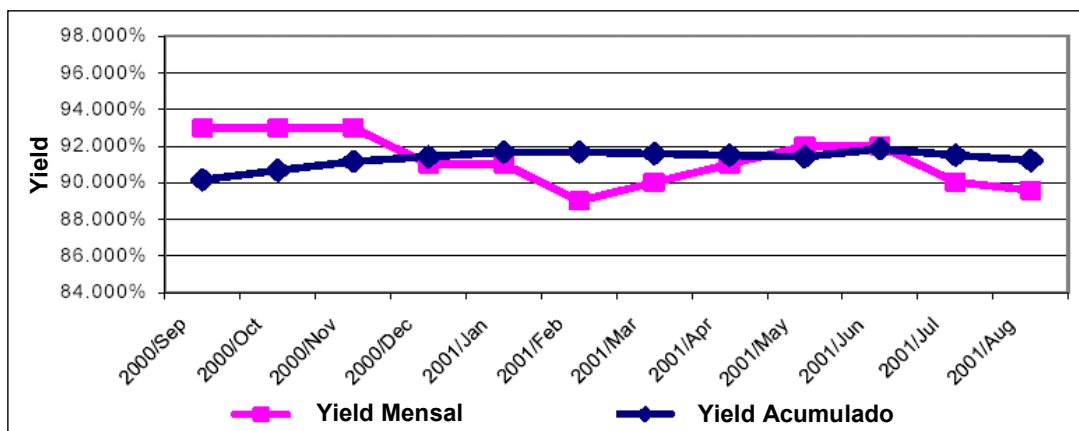


Fig. 5.7 Yield de Processo de Montagem – Empresa de Qualidade Classe Mundial

próximos a 100 % são hoje ainda inatingíveis, mesmo para uma empresa conhecida como empresa de qualidade classe mundial. Este desempenho pode ser utilizado como uma boa referência, ele mostra com nitidez o que se pode alcançar realisticamente em um processo de montagem.

# Capítulo 6

## Considerações Finais e Conclusões

Neste trabalho foram exploradas algumas atividades de planejamento e avaliação da qualidade alinhadas ao processo de desenvolvimento produtos tecnológicos. Cabe salientar, que as atividades aqui discutidas constituem um conjunto muito restrito dentro do universo das técnicas/ferramentas/tecnologias hoje utilizadas para buscar a garantia da qualidade de um produto, dentre as quais pode-se citar entre inúmeras outras [4,5]: QFD; FMEA; FTA, Revisão de Projeto e etc..

No entanto, para que uma empresa possa aplicar tais técnicas é necessário que a organização aprenda a incorporá-las como parte de sua rotina, operacionalizando-as em um tempo satisfatório a um custo reduzido. Em outras palavras, os fatores limitantes sempre se resumem a **tempo** e **custo**.

No caso das empresas desenvolvedoras nacionais, o fator custo é ainda mais agravado pela atual situação econômica instável e particularmente, no presente estudo de caso o fator tempo era reduzido e inflexível, uma vez que altas multas contratuais seriam aplicadas na ocorrência de atrasos no cronograma de entrega do produto. Diante dessas limitações, foram aqui escolhidas atividades básicas consideradas mais importantes para garantir a qualidade do produto, de forma a acompanhar a dinâmica do projeto e ao mesmo tempo não agregar custos demasiados, tais atividades sendo:

- Envolvimento e qualificação de fornecedores chaves;
- Determinação de características críticas, principais e secundárias;
- Estudo de cadeias de tolerâncias;
- Levantamento de estimativas de capacidade de processos;
- Desenvolvimento de inspeção de recebimento;
- Dinamização da inspeção de recebimento.

A aplicação das atividades acima listadas teve um sensível impacto no desempenho do processo de montagem objeto do estudo de caso, medido em função do número de lotes aprovados na inspeção final de produto acabado. Constatou-se, em comparação com um processo de produção de uma geração anterior do mesmo produto, que houve uma melhora de 22%, ou mais claramente dizendo, o processo que apresentava uma média de 57% do número de lotes aprovados em inspeção final de produto acabado, passou a apresentar com aplicação sistemática das atividades aqui discutidas, uma média de 79% do número de lotes aprovados na inspeção final do produto acabado, caracterizando em um grande avanço.

Cabe adicionar que os recursos dispendidos para o desenvolvimento e implementação de todas as atividades aqui discutidas não somaram mais de 0,2 % do valor final de venda do produto, ou seja, com um investimento dessa ordem de grandeza a empresa pode evitar que 22% de sua produção fosse retrabalhada. Soma-se a isso o impacto de evitar que unidades não conformes chegassem a campo, nas mãos do cliente.

Conclui-se portanto que, ainda que constituindo-se um conjunto bastante restrito de atividades, estas provaram ser eficazes pois;

- apresentaram baixo custo de desenvolvimento e implementação;
- não exigiram tempo adicional para serem desenvolvidas e implementadas, ou seja, adequaram-se ao cronograma do projeto;
- apresentaram sensível impacto no desempenho final do processo.

Em outras palavras, referindo-se novamente aos dois grandes limitadores **tempo** e **custo**: ao primeiro as atividades se adequaram inteiramente, ao segundo, adicionaram parcela insignificante quando comparados com os benefícios que promoveram.

No entanto, pode-se constatar que apesar do grande avanço alcançado ainda existe grande potencial para a melhora do desempenho do presente processo de montagem. Através da apresentação de um benchmark no que diz respeito a processos de montagem, pode-se constatar que uma empresa pode *realisticamente* praticar um Yield de montagem de 90 a 92% para um produto com características e número de componentes semelhantes a do produto objeto deste estudo de caso.

Especificamente para este estudo de caso realizado, pode-se citar duas ações que provocariam uma sensível melhora nos índices de rejeito do processo de montagem de forma quase que instantânea:

- **Escolha mais criteriosa de fornecedores:** essa é definitivamente a chave para o sucesso do processo de montagem de produtos complexos. No presente estudo de caso, 31% das não conformidades manifestadas durante o processo de montagem se deveram a apenas dois componentes (CPU e LCD), componentes estes que novamente foram responsáveis por 25% das não conformidades funcionais detectadas em inspeção final de produto.
- **Melhor gestão do processo de montagem:** sua grande contribuição para as não conformidades constitui-se uma surpresa, constata-se que ao processo de montagem se atribuiu 15% das não conformidades manifestadas em processo e 12% das não conformidades detectadas em inspeção final de produto.

Uma vez eliminadas essas causas, restaria ainda investir sistematicamente em avaliação e prevenção ao longo de todas as fases do processo de desenvolvimento de produtos para diminuição dos índices de rejeito de processo.

Conclui-se portanto que sensíveis melhorias podem ser alcançadas com o desenvolvimento e implementação de **atividades simples** que exigem **investimentos modestos** trazendo **resultados expressivos**. Isso certamente constitui o passo inicial para que as empresas integradoras nacionais comecem a buscar o estabelecimento da Garantia da Qualidade, que como ilustrado na Figura 1.5, somente é estabelecida através do investimento contínuo em métodos de avaliação e prevenção e sua interação com a organização. O parque nacional deste setor ainda se encontra numa das mais primitivas etapas com relação a este estabelecimento da Garantia da Qualidade, certamente as questões discutidas neste trabalho constituem um bom ponto de partida para o desenvolvimento e produção de produtos de qualidade e estabelecimento da competitividade da indústria nacional deste setor.

## Bibliografia

- [1] COOPER, Robert G. **Product Leadership**. ISBN 0-7382-0010-7. Perseus Book. 314p. September 1998.
- [2] PURCHASING ON LINE. **Suppliers: The Competitive Edge in Design**. May 1, 1997.  
<http://www.manufacturing.net/magazine/purchasing/archives/1997/pur0501.97/051des.htm>
- [3] GUIMARÃES, Marcelo Ferreira. **Desenvolvimento Rápido de Produtos Tecnológicos**. Apostila Curso: Metodologia de Desenvolvimento Rápido de Produtos – Volume I, 1997.
- [4] PFEIFER, Günther. **Uma Metodologia para Determinação da Necessidade de Inspeção na Manufatura**. Dissertação de Mestrado em Metrologia. Curso de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, 70p. Florianópolis, 1999.
- [5] PFEIFER, Tilo; TORRES, Fernando. **Manual de Gestión e Ingeniería de la Calidad**. ISBN 84-89859-43-4. Mira Editores, 589p. Zaragoza, 1999.
- [6] JAPANESE TECHNOLOGY EVALUATION CENTER **Electronic Manufacturing and Packaging in Japan**. ISBN 1-883712-37-8. International Technology Research Institute at Loyola College, 1994.  
<http://www.itri.loyola.edu/ep/toc.htm>
- [7] CAMPOS, Vicente Falconi **TQC Controle da Qualidade Total**. ISBN 85-85447-08-7. Fundação Christiano Ottoni. 229p. Belo Horizonte, 1992.
- [8] QS 9000 **APQP. Advanced Product Quality Planning and Control Plan**. Reference Manual, Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation. 114p, 1994.
- [9] JURAN, J. M.; GRZYNA, Frank M. **CONTROLE DA QUALIDADE HANDBOOK. Ciclo dos Produtos: Do Projeto à Produção**. ISBN 0-07-460802-9. McGraw-Hill 397p. 1992.
- [10] ROSS, Phillip J. **Aplicações das Técnicas Taguchi na Engenharia da Qualidade**. ISBN0-07-460929-7. McGraw-Hill 332p. 1991.

- [11] ROZENFELD, Henrique; AMARAL, Daniel C. **Conceitos Gerais de Desenvolvimento de Produto.** [http://www.numa.org.br/conhecimentos/Desenvolvimento\\_de\\_Produto.htm](http://www.numa.org.br/conhecimentos/Desenvolvimento_de_Produto.htm)
- [12] NBR ISO 8402 **Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade – Terminologia.** ABNT, Rio de Janeiro, 1994.
- [13] NBR ISO 9001 **Sistema da Qualidade – Modelo para garantia da qualidade em projeto, desenvolvimento, produção, instalação e serviços associados.** ABNT, Rio de Janeiro, 1994
- [14] ULRICH, Karl T.; EPPINGER, Steven D. **Product Design and Development** ISBN 0-07-229647-X. McGraw-Hill. 358p. 1995.
- [15] BACK, Nelson  
FORCELINI, F. A. **Apostila da Disciplina Projeto de Produtos.** Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. UFSC
- [16] GUIMARÃES, Marcelo  
Ferreira. **Desenvolvimento Rápido de Produtos Tecnológicos.** Apostila Curso: Metodologia de Desenvolvimento Rápido de Produtos – Volume II, 1997.
- [17] MARQUES, Maria  
Angélica Jung. **Mestrado Executivo – Desenvolvimento de Produtos.** Fundação CERTI, 2000.
- [18] CUSICK, Kerinia. **A Collection of Integrated Product Development Lessons Learned.**
- [19] CROW, Kenneth. **Customer-Focused Development with QFD.** DRM Associates, 1997.
- [20] CAMPANELLA, Jack. **Principles of Quality Costs.** ISBN 0-87389-443-X. American Society for Quality 219p, 1999.
- [11] QS 9000 **Processo de Aprovação de Peça de Produção (PPAP)** Manual de Referência, Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation. 27p, 1993.
- [22] <http://www.soce.org/> **Society of Concurrent Engineering.**
- [23] CROW, Kenneth **Process Capability for Product Design.** DRM Associates, 1997.
- [24] JURAN, J. M.;  
GRYNA, Frank M. **CONTROLE DA QUALIDADE em Diferentes Sistemas de Produção.** ISBN 0-07-450462-2. McGraw-Hill 439p, 1993.
- [25] CREVELING, C. M. **Tolerance Design,** ISBN 0-201-63473-2, Edison



Wesley, 423p., 1997

- [26] FOSTER, Lowell W. **Geo-Metrics III – The application of Geometric Dimensioning and Tolerancing Techniques.** ISBN 0-201-63342-6. Addison-Wesley Publishing Company. 349p. 1994.
- [27] AGOSTINHO, O. L.; RODRIGUES, A. C. S.; LIRANI, J.; HUANG, G. Q. **Tolerâncias, Ajustes, Desvios e Análise de Dimensões.** Editora Edgard Blücher LTDA. 295p. 1977
- [28] HUANG, G. Q. **DESIGN FOR X : Concurrent Engineering Imperatives.** ISBN 0-412-78750-4. Chapman & Hall 489p. 1996
- [29] CROW, Kenneth **A Strategic Approach to Product and Process Development.** DRM Associates, 1996.
- [30] CAMPBELL, Paul D. Q. **Plastic Component Design,** ISBN 0-8311-3065-2. Industrial Press Inc. 253p. New York 1996
- [31] JURAN, J. M. GRYNA, Frank M. BINGHAM, R. S. **Quality Control Handbook.** ISBN 0-07-033175-8 (Third Edition) McGraw-Hill, 1974.
- [32] CHASE, Nancy. **Accounting for Quality: Counting Costs, Reaping Returns.** Quality on Line, 1998.  
<http://www.qualitymag.com/articles/1998/oct98/1098f1.html>
- [33] DONOSO, José Ignacio. **Avaliação dos Processos de Medição na Indústria, Baseada no Impacto Econômico da Operação de Controle Geométrico.** Dissertação de Mestrado em Metrologia. Curso de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, 87p. Florianópolis, 2000.
- [34] MIRSHAWKA, Victor. **Entrosando-se com a Qualidade.** ISBN 85-213-0548-6. Livraria Nobel S.A. 307p. 1988.
- [35] BERGAMO, Valentino Filho. **Gerência Econômica da Qualidade Através do TQC.** McGraw-Hill, 1991.
- [36] INMETRO **VIM – Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia.** DIMCI, 52P. Duque de Caxias, 1995.
- [37] URURAY, Sylvio Cardoso. **Controle de Qualidade na Indústria Mecânica.** Manuais CNI, 107p. 1984.
- [38] JURAN, J. M.; **CONTROLE DA QUALIDADE HANDBOOK Ciclo dos**

- GRYNA, Frank M.      **Produtos: Inspeção e Teste.** ISBN 0-07-460805-3. McGraw-Hill 225p. 1992.
- [39] CHORAFAS, D.      **An Introduction to Product Planning and Reliability Management.**
- [40] BRALLA, James G.      **Design for Manufacturability Handbook** ISBN 0-07-007139-X McGraw-Hill, 1999
- [41] HAUSER J.R.;  
CLAUNSIG D.      **The House of Quality.** Harvard Business Review, 1988