

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**ESTABILIZAÇÃO DE PROCESSOS: UM ESTUDO DE CASO NO SETOR DE
PINTURA AUTOMOTIVA**

LEONARDO PIEROZAN

Porto Alegre, janeiro de 2001

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**ESTABILIZAÇÃO DE PROCESSOS: UM ESTUDO DE CASO NO SETOR DE
PINTURA AUTOMOTIVA**

Leonardo Pierozan

Orientador: Professora Dra. Carla S. ten Caten

Banca Examinadora:

Professor Dr. Flávio Fogliatto

Professor Dr. Gilberto Dias da Cunha

Professor Dr. Vilson João Batista

Professora M. Eng. Márcia Elisa Echeveste

**Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia como
requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia – modalidade
Profissionalizante – Ênfase Gerência de Produção e Ergonomia.**

Porto Alegre, janeiro de 2001

Este trabalho de conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de mestre em ENGENHARIA e aprovado em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof^a . Dra. Carla S. ten Caten

Orientadora

Escola de Engenharia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof^a . Helena Beatriz Bettella Cybis

Coordenadora

Mestrado Profissionalizante em Engenharia

Escola de Engenharia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BANCA EXAMINADORA:

Professor Dr. Flávio Fogliatto

DEPROT/PPGEP/UFRGS

Professor Dr. Gilberto Dias da Cunha

DEPROT/PPGEP/UFRGS

Professor Dr. Vilson João Batista

DEMEC/UFRGS

Professora M. Eng. Márcia Elisa Echeveste

Estatística/UFRGS

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Carla Schwengber ten Caten pela contribuição valiosa sem a qual não seria possível a conclusão deste trabalho.

Aos demais amigos e professores do PPGEF que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho, em especial do setor de pintura da montadora de veículos onde o estudo de caso foi realizado.

Aos meus familiares, que forneceram apoio e condições necessárias para a realização de meus estudos, e em especial à minha mãe que me incentivou e motivou nos momentos de maior dificuldade.

SUMÁRIO

1	COMENTÁRIOS INICIAIS	12
1.1	INTRODUÇÃO	12
1.1.1	<i>Automóvel: Uma paixão</i>	12
1.1.2	<i>Setor automotivo e a Competividade</i>	12
1.1.3	<i>Necessidade de excelência em Qualidade</i>	13
1.1.4	<i>Pintura e impacto no cliente</i>	13
1.2	TEMA E IMPORTÂNCIA DO TEMA.....	14
1.3	OBJETIVOS.....	14
1.4	MÉTODO DE TRABALHO	15
1.5	ESTRUTURA	16
1.6	LIMITAÇÕES.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	ESTABILIZAÇÃO DE PROCESSOS	18
2.2	DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE (QFD)	20
2.2.1	<i>Introdução</i>	20
2.2.2	<i>Definições</i>	21
2.3	PROJETO DE EXPERIMENTOS (DOE)	26
2.3.1	<i>Introdução</i>	26
2.3.2	<i>Definições</i>	26
2.3.3	<i>Aplicações do projeto de experimentos</i>	28
2.3.4	<i>Principais projetos experimentais</i>	29
2.3.5	<i>Etapas do projeto de experimentos</i>	32
2.4	CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO (CEP).....	33
2.4.1	<i>Introdução</i>	33
2.4.2	<i>Cartas de controle</i>	35
2.4.3	<i>Estabilidade do processo</i>	38
2.4.4	<i>Capacidade do processo</i>	39
2.5	USO INTEGRADO DAS FERRAMENTAS.....	41
3	PROPOSTA DE UM MODELO CONCEITUAL DE ESTABILIZAÇÃO DE PROCESSOS.....	44
3.1	MATRIZ DA QUALIDADE.....	45
3.1.1	<i>Desdobramento da qualidade demandada</i>	45
3.1.2	<i>Priorização da qualidade demandada</i>	46
3.1.3	<i>Desdobramento e identificação das características de qualidade</i>	48
3.1.4	<i>Relacionamento da qualidade demandada com as características de qualidade</i>	49
3.1.5	<i>Avaliação da Severidade das Características de qualidade</i>	50

3.1.6	<i>Avaliação da Ocorrência das Características de Qualidade</i>	50
3.1.7	<i>Avaliação da Probabilidade de Detecção das características de Qualidade</i>	51
3.1.8	<i>Priorização das Características de qualidade</i>	52
3.2	MATRIZ DOS PROCESSOS	52
3.2.1	<i>Desdobramento dos Processos em Etapas</i>	53
3.2.2	<i>Relacionamento das Características de Qualidade com os Processos</i>	53
3.2.3	<i>Definição da Importância dos Processos</i>	54
3.2.4	<i>Avaliação da capacidade do processo produtivo</i>	54
3.2.5	<i>Avaliação do conhecimento dos processos produtivos</i>	55
3.2.6	<i>Priorização dos Processos</i>	55
3.3	DIRECIONAMENTO DE AÇÕES	56
3.3.1	<i>Otimização dos Processos</i>	57
3.3.2	<i>Padronização das tarefas críticas</i>	64
3.3.3	<i>Controle Estatístico de Processos</i>	65
4	ESTUDO DE CASO	73
4.1	O PROCESSO DE PINTURA AUTOMOTIVA	73
4.1.1	<i>Fosfatização</i>	74
4.1.2	<i>ELPO</i>	74
4.1.3	<i>Preparação do ELPO</i>	75
4.1.4	<i>Calafetação</i>	75
4.1.5	<i>Primer</i>	76
4.1.6	<i>Preparação do primer</i>	76
4.1.7	<i>Aplicação de tinta base e verniz (topcoats)</i>	77
4.1.8	<i>Inspeção e polimento</i>	77
4.1.9	<i>Quality Gates</i>	78
4.1.10	<i>Buy Off</i>	78
4.2	MATRIZ DA QUALIDADE	78
4.2.1	<i>Desdobramento da Qualidade Demandada</i>	78
4.2.2	<i>Priorização da Qualidade Demandada</i>	78
4.2.3	<i>Desdobramento e identificação das características de qualidade</i>	79
4.2.4	<i>Relação da qualidade demandada com as características de qualidade</i>	83
4.2.5	<i>Avaliação da Severidade das características de qualidade</i>	83
4.2.6	<i>Avaliação da Ocorrência das características de qualidade</i>	84
4.2.7	<i>Avaliação da Detecção das características de qualidade</i>	84
4.2.8	<i>Priorização das Características de Qualidade</i>	84
4.3	MATRIZ DOS PROCESSOS	85
4.3.1	<i>Desdobramento dos Processos em Etapas</i>	85
4.3.2	<i>Relacionamento das Características de Qualidade com os Processos</i>	85

4.3.3	<i>Definição da importância dos processos</i>	86
4.3.4	<i>Avaliação da capacidade do processo produtivo</i>	87
4.3.5	<i>Avaliação do conhecimento do processo produtivo</i>	87
4.3.6	<i>Priorização dos Processos</i>	87
4.4	DIRECIONAMENTO DAS AÇÕES	88
4.4.1	<i>Otimização dos Processos</i>	90
4.4.2	<i>A Padronização das tarefas críticas</i>	97
4.4.3	<i>Controle Estatístico de Processos</i>	99
5	COMENTÁRIOS FINAIS	115
5.1	CONCLUSÕES	115
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	116

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 Modelo conceitual de QFD para a manufatura [Fonte: Ribeiro, Echeveste e Danilevicz, 2000].....</i>	22
<i>Figura 2.2 Modelo Geral de um Processo ou Sistema [Fonte: Montgomery (1991)].....</i>	26
<i>Figura 2.3 Exemplo de Carta de Controle.....</i>	36
<i>Figura 2.4 Fluxograma de apoio para escolha das Cartas de Controle [Fonte: Ribeiro e Caten, 2000].....</i>	37
<i>Figura 2.5 Comparação das magnitudes de Cp e Cpk [Fonte: Montgomery, 1991].....</i>	39
<i>Figura 2.6 Processo iterativo de melhoria com o uso de cartas de controle [Fonte: Ribeiro e Caten,2000].....</i>	39
<i>Figura 3.1 Modelo conceitual de estabilização de processos proposto.....</i>	42
<i>Figura 3.2 Desdobramento da qualidade e Matriz da Qualidade.....</i>	45
<i>Figura 3.3 Desdobramento dos Processos.....</i>	52
<i>Figura 4.1 Fluxograma do processo de pintura automotiva.....</i>	72
<i>Figura 4.2 Matriz dos Processos.....</i>	84
<i>Figura 4.3 Priorização dos Parâmetros dos Processos.....</i>	86
<i>Figura 4.4 Gráfico dos efeitos principais da viscosidade e da temperatura sobre a variável de resposta alastramento.....</i>	95
<i>Figura 4.5 Gráfico do efeito de interação viscosidade e temperatura sobre a variável de resposta alastramento.....</i>	95
<i>Figura 4.6 Modelo de plano de controle para a aplicação da tinta base e verniz.....</i>	97
<i>Figura 4.7 Papel de probabilidade para a distribuição da variável viscosidade da tinta base.....</i>	105
<i>Figura 4.8 Análise do sistema de medição de alastramento realizada.....</i>	106
<i>Figura 4.9 Modelo da Carta de Controle em papel utilizada.....</i>	108
<i>Figura 4.10 Carta de controle para a viscosidade da tinta base vermelho iate.....</i>	110
<i>Figura 4.11 Carta de controle para a temperatura do verniz.....</i>	111

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 3.1 Escala de intensidade para avaliação estratégica Ei [Fonte: Ribeiro, Echeveste e Danilevicz, 2000].....</i>	45
<i>Tabela 3.2 Escala de intensidade para avaliação competitiva Mi [Fonte: Ribeiro, Echeveste e Danilevicz, 2000].....</i>	46
<i>Tabela 3.3 Escala de intensidade de relacionamentos [Fonte: Mizuno & Akao, 1994]..</i>	48
<i>Tabela 3.4 Critérios para avaliação da severidade [Fonte: Leite, 1997].....</i>	49
<i>Tabela 3.5 Critérios para avaliação da ocorrência [Fonte: Leite, 1997].....</i>	49
<i>Tabela 3.6 Critérios para avaliação da detecção [Fonte: Leite, 1997].....</i>	50
<i>Tabela 3.7 Intensidade das relações.....</i>	51
<i>Tabela 3.8 Escala de capacidade dos processos produtivos [Fonte: Pires, 2000].....</i>	53
<i>Tabela 3.9 escala de conhecimento das etapas e parâmetros dos processos produtivos [Fonte: Pires, 2000].....</i>	54
<i>Tabela 4.1 Características de qualidade identificadas.....</i>	78
<i>Tabela 4.2 características de qualidade priorizadas.....</i>	83
<i>Tabela 4.3 Ações de melhoria para processos e parâmetros priorizados.....</i>	88
<i>Tabela 4.4 Caracterização da variável de resposta escolhida para a otimização experimental.....</i>	90
<i>Tabela 4.5 Fatores controláveis e seus respectivos níveis.....</i>	90
<i>Tabela 4.6 Fatores controláveis mantidos constantes.....</i>	91
<i>Tabela 4.7 Fatores de ruído.....</i>	91
<i>Tabela 4.8 Matriz experimental e resultados do experimento 3²</i>	93
<i>Tabela 4.9 Análise de Variância do experimento (ANOVA).....</i>	94
<i>Tabela 4.10 Cronograma de implantação do controle estatístico de processos.....</i>	98
<i>Tabela 4.11 Detalhamento dos postos de controle, características e parâmetros para monitoramento.....</i>	100
<i>Tabela 4.12 Descrição dos critérios de classificação.....</i>	101
<i>Tabela 4.13 Definição da natureza dos itens de controle e dos critérios.....</i>	102
<i>Tabela 4.14 Detalhamento do monitoramento.....</i>	103

RESUMO

Esta dissertação propõe um modelo conceitual para a estabilização de processos de manufatura através da utilização integrada de ferramentas de engenharia de qualidade. A metodologia consiste de uma série de etapas cronológicas bem definidas, que permitem identificar e controlar parâmetros de processo mais significativos ligados à construção das características de qualidade consideradas mais importantes pelos clientes.

Ao longo do texto, faz-se uma revisão da literatura existente sobre o assunto, apresentam as etapas do modelo conceitual proposto e as ferramentas de engenharia de qualidade eficientes no cumprimento destas etapas. Logo após, a aplicação do modelo conceitual proposto de estabilização de processos proposta é ilustrada através de um estudo de caso no setor de pintura automotiva.

Palavras chaves: Modelo Conceitual, Estabilização de Processos, QFD, DOE, Padronização, CEP.

ABSTRACT

This master thesis presents a manufacturing process stabilization methodology through the integrated use of quality engineering tools. The methodology consists of a several well defined chronological steps, which allows to identify and control the most critical process parameters linked to the construction of the most important quality characteristics according to the customers.

During the text, a literature review is presented, the purposed methodology steps and the most efficient engineering quality tools for which step are shown. After that, the application of the purposed process stabilization methodology is illustrated through a case study in the automotive painting area.

Keywords: Methodology, Process Stabilization, QFD, DOE, Padronization, SPC.

1 COMENTÁRIOS INICIAIS

1.1 *Introdução*

1.1.1 *Automóvel: Uma paixão*

Pouco mais de um século depois do primeiro automóvel movido à gasolina ter sido concebido nos Estados Unidos em 1896, pode-se dizer que muita coisa mudou. Naquele tempo, o automóvel tornara-se um símbolo do romantismo, da individualidade e do poder. As pessoas lembravam do seu primeiro automóvel como uma marca do passado. As famílias posavam ao lado de seus automóveis para serem fotografadas, os jovens consideravam o carro uma passagem para o mundo adulto, permitindo que realizassem vários de seus desejos e sonhos. Hoje, cem anos depois, verificamos que com a evolução da tecnologia e a mudança de hábitos proporcionada pela sociedade moderna, o automóvel passou a representar algo mais que um sonho de consumo, para ocupar na vida das pessoas o espaço de bem útil e necessário. Não obstante os modelos mais sofisticados ainda proporcionarem marcas de status a seus proprietários, sabe-se que hoje as pessoas adquirem seu carro antes mesmo de terem um lugar para morar, seja por necessidades de trabalho ou para o conforto pessoal e da família.

Por tudo isso, permite-se afirmar que nenhuma invenção isolada afetou tão drasticamente a vida das pessoas no século XX. quanto o automóvel (COFFEY & LAYDEN, 1996).

1.1.2 *Setor automotivo e a Competitividade*

O setor automotivo, representa no Brasil, um dos setores mais afetados pelos efeitos da globalização e abertura do mercado que passaram a mostrar a sua força no início da década

passada. Ele corresponde sozinho a mais de 10% do PIB industrial do país, que tem hoje a 8ª maior frota de veículos do mundo. Desde 1992, quando o então presidente Fernando Collor de Mello literalmente abriu as fronteiras de nossa economia, as importações de automóveis não pararam de crescer, do mesmo modo que, montadoras de diversos países começaram a ser instaladas no país, desafiando o monopólio exercido pelas 4 grandes: GM, Ford, Volkswagen e Fiat. Os anos se passaram, e, estas montadoras têm agora, um mercado onde atuam pelo menos dez outras, todas apresentando alta tecnologia e enorme comprometimento com os clientes. As antigas “carroças”, como foram pejorativamente chamados pelo então Presidente da República nossos carros do início da década de 90, deram espaço a automóveis de altíssima tecnologia, que em nada ficam a dever aos automóveis fabricados em qualquer outra parte do mundo.

1.1.3 Necessidade de excelência em Qualidade

O conceito de qualidade vem recebendo várias interpretações ao longo dos anos. Contudo, o que parece ser o mais apropriado traz em suas entrelinhas a máxima de que qualidade é aquilo que o cliente considera importante para ele. As necessidades do cliente devem ser atendidas, maximizando-se o aproveitamento dos recursos produtivos com os menores custos possíveis. A qualidade, considerada hoje uma das maiores vantagens competitivas, é o mínimo que se espera de um fabricante de automóveis, ou seja, ou a empresa tem qualidade ou está fora do mercado.

O consumidor está cada vez mais exigente, e o *marketing* agora é de relacionamento. Cada vez mais busca-se ouvir a voz do cliente e agir na intenção de satisfazer suas reais necessidades. Ter qualidade é antes de tudo estar apto a corresponder às expectativas dos clientes, saber distinguir claramente o que ele considera importante e a partir daí, direcionar todas as ações na tentativa de concretizar os seus desejos.

1.1.4 Pintura e impacto no cliente

A história da pintura automotiva iniciou pouco após a virada do século XIX. É verdade que a cobertura do metal, madeira e pedras datam de antes disso. Contudo, os primeiros relatos de pintura de veículo datam aproximadamente de 1910, 6 anos após Henry Ford fundar a Ford Motor Company, que revolucionou o mercado automobilístico com o seu modelo T. Naquele tempo, nem mesmo um gênio como Ford imaginara a importância que a pintura de um

carro representaria nos dias de hoje, conforme demonstrou em uma de suas frases imortalizadas pela história: “Os carros podem ser de qualquer cor, desde que sejam pretos” (COFFEY & LAYDEN, 1996).

A pintura de um automóvel é sem dúvida um dos requisitos de qualidade mais visíveis e palpáveis, considerada de grande importância pela maioria dos compradores, visto a variedade de cores que o mercado oferece atualmente.

Como todos os outros consumidores, nós compramos antes com os nossos olhos, sendo a qualidade e a cor do acabamento de um carro indubitavelmente determinantes na opção de compra deste ou daquele modelo. Ao longo dos anos, a pintura automotiva evoluiu a passos largos, sendo que a pintura dos carros hoje tem mais brilho, maior variedade de cores, maior durabilidade e maior resistência à corrosão. Estas condições permitiram que algumas montadoras pudessem oferecer garantia de mais de dez anos para a pintura. Isto tudo, sem falar na preocupação cada vez maior que as montadoras e fabricantes de tintas automotivas têm tido em relação ao meio ambiente, desenvolvendo processos e matérias-primas menos poluentes, como é o caso das tintas à base de água em substituição às tintas mais antigas à base de solvente.

1.2 Tema e Importância do Tema

O tema deste trabalho é a estabilização de processos. Sua importância está relacionada ao fato de que a garantia da qualidade exige que os resultados de um processo não variem muito ao longo do tempo, e que resultados inesperados não ocorram, ou, quando ocorrerem, saiba-se exatamente onde está a origem dos problemas. Desta forma, pode-se tomar as ações corretivas necessárias, normalizando o processo sem grandes desperdícios de tempo e de dinheiro.

A Estabilização de processo exige que se conheça a fundo quais e qual a magnitude dos parâmetros e variáveis que tem influência significativa nos resultados esperados de um determinado processo, garantindo que o que está sendo produzido está perfeitamente alinhado com a necessidade demandada pelos clientes.

1.3 Objetivos

- ◆ Objetivo principal

Estabelecer um modelo conceitual para a estabilização de processos através do uso integrado de ferramentas de engenharia da qualidade. As ferramentas que devem fazer parte desse modelo são o Desdobramento da Qualidade (*Quality Function Deployment - QFD*), Controle Estatístico do Processo (CEP), Padronização e Projeto de Experimentos (*Design of Experiments - DOE*). Este modelo possibilitará uma estrutura para atingir a estabilização de processos com agilidade e objetividade.

- ◆ **Objetivos secundários**

Apresentar o funcionamento completo de um processo de pintura de uma indústria automotiva;

Conhecer as características de qualidade da pintura de um automóvel consideradas importantes pelos clientes;

Conhecer as principais variáveis e parâmetros envolvidos em um processo de pintura automotiva;

Aplicar o modelo proposto em um processo de pintura automotiva buscando a estabilização do mesmo.

1.4 Método de trabalho

Para que os objetivos do trabalho sejam atingidos, serão consideradas as seguintes etapas:

- ◆ Leitura da bibliografia, com ênfase em QFD, CEP e DOE , particularmente artigos que envolvam o uso conjunto dessas ferramentas, permitindo que se obtenha uma fundamentação teórica maior sobre os assuntos a serem abordados.

- ◆ A partir da revisão bibliográfica será proposta uma metodologia para o uso integrado de QFD, DOE e CEP, com a elaboração de um fluxograma com os passos a serem seguidos.

- ◆ Testar o modelo proposto, através de um estudo de caso. Partindo-se de um mapeamento das características de qualidade da pintura de um automóvel consideradas mais importantes pelos clientes (externos e por conseguinte internos), serão priorizados os processos de maior importância no resultado final desejado. A seguir, será feita uma análise e

um direcionamento de ações, que podem ser desde uma simples padronização dos processos até uma otimização experimental seguida de um monitoramento estatístico dos parâmetros dos processos considerados mais críticos.

◆ A partir da análise dos resultados do estudo de caso, tirar algumas conclusões a respeito do trabalho realizado, sugerindo melhorias para trabalhos futuros, em função do aprendizado de pontos interessantes e promissores que não se inserem exatamente no escopo desta dissertação.

1.5 Estrutura

A estrutura da dissertação pretende possibilitar um entendimento facilitado dos objetivos à que ela se propõe. Os assuntos serão colocados de forma sistemática e estruturada, permitindo um acompanhamento e compreensão completa do método de trabalho.

O primeiro capítulo apresenta uma visão geral do trabalho, procurando apresentar ao leitor o tema, os objetivos principais e secundários, a metodologia utilizada e as limitações de sua elaboração.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica contemplando as ferramentas QFD, DOE e CEP, bem como o seu uso integrado.

O terceiro capítulo descreve a proposta de sistematização da estabilização do processo através do uso integrado das ferramentas, apresenta um fluxograma detalhado desta proposta e uma discussão a respeito da mesma.

O quarto capítulo apresenta o estudo de caso de estabilização de processos aplicado à pintura de uma indústria automobilística, a descrição detalhada de todo o estudo, a apresentação dos resultados e a sua discussão.

O quinto capítulo apresenta os comentários finais, onde serão apresentadas as conclusões obtidas com a realização do mesmo. Serão feitas algumas afirmações e deduções com base nos resultados descritos no quarto capítulo. Ainda com base nestes, serão feitas sugestões para trabalhos que venham a ser realizados no futuro sobre este tema.

1.6 Limitações

A literatura relacionada ao uso integrado de QFD, DOE e CEP é bastante restrita, e,

relacionada ao seu uso em um estudo de caso na pintura automotiva, inexistente.

O estudo limitar-se-á à estabilização de processos de pintura de uma única indústria automobilística e os resultados poderão ou não ser aplicáveis à outros tipos de empresas.

Os experimentos serão em número limitado, visto o alto custo e risco envolvido na realização de alguns deles.

Da mesma forma, não serão feitas análises de reduções de custos e viabilidade econômica da implantação do modelo proposto.

Não serão feitas análises de eficiência e produtividade. Preocupar-se-á apenas com a estabilização do processo propriamente dita.

2 REVISÃO BIBIOGRÁFICA

2.1 Estabilização de processos

Um grande número de empresas já se conscientizou de que a venda de produtos de baixa qualidade, que apresentam defeitos ou confiabilidade reduzida diminui a sua competitividade. Estas empresas sabem que a implantação de um programa para melhoria da qualidade pode eliminar desperdícios, reduzir os índices de produtos defeituosos fabricados, diminuir a necessidade de realização de inspeções e aumentar a satisfação dos clientes, fatores que implicam em um aumento da produtividade e da competitividade.

A estatística é muito importante em um programa para a melhoria e manutenção da qualidade, porque as técnicas estatísticas permitem descrever e interpretar a variabilidade. A variabilidade está presente em todos os processos de produção de bens e de fornecimento de serviços. Existem muitas causas para a presença desta variabilidade. Segundo Werkema (1996), a variabilidade é o resultado de alterações nas condições sob as quais as observações são tomadas. Estas alterações podem refletir diferenças entre as matérias-primas, as condições dos equipamentos, os métodos de trabalho, as condições ambientais e os operadores envolvidos no processo considerado. A variabilidade ainda é decorrente do sistema de medição empregado.

Mesmo os produtos não defeituosos apresentam variações dentro dos limites de sua especificação, o que significa dizer que estes produtos não são exatamente idênticos. Se estas variações forem diminuídas, os defeitos certamente diminuirão, o que implicará em uma elevação do nível de qualidade do produto. A redução da variabilidade dos processos permite a produção de itens cuja característica da qualidade de interesse esteja próxima a um valor alvo

desejado e dentro dos limites de especificação estabelecidos.

Segundo Montgomery (1985), não é possível inspecionar ou testar qualidade em todos os produtos; o produto deve ser construído corretamente na primeira vez. Isso implica que todos os indivíduos envolvidos com o processo (incluindo operadores, engenheiros, pessoas envolvidas com o controle de qualidade e gerenciamento) devem ser continuamente aperfeiçoados para aumentar o desempenho do processo, reduzir a variabilidade dos parâmetros críticos para a qualidade e produtividade e monitorá-los ao longo do tempo. Com isso obtém-se um processo estável, ou seja, com características de qualidade que se mantém ao longo do tempo.

A estabilização dos processos de manufatura é uma busca constante das empresas que querem se manter competitivas. Entre as formas de busca da estabilização, as ferramentas da qualidade atuam como fortes e importantes aliadas. As ferramentas da qualidade são utilizadas para coletar, processar e dispor as informações necessárias ao giro dos ciclos PDCA para manter e melhorar resultados. (Werkema, 1995).

O ciclo PDCA é um método gerencial de tomada de decisões para garantir o alcance das metas necessárias à sobrevivência de uma organização.

Segundo Campos (1992), o controle e a estabilização de processos pode ser estabelecido por meio do ciclo PDCA, composto das seguintes etapas:

1. Planejamento (P)

Esta etapa consiste em:

estabelecer metas;

estabelecer o método para alcançar as metas propostas.

2. Execução (D)

Executar as tarefas exatamente como foi previsto na etapa de planejamento e coletar dados que serão utilizados na próxima etapa de verificação do processo. Na etapa de execução são essenciais a educação e o treinamento no trabalho.

3. Verificação (C)

A partir dos dados coletados na execução, comparar o resultado alcançado com a meta planejada.

4. Atuação Corretiva (A)

Esta etapa consiste em atuar no processo em função dos resultados obtidos. Existem duas formas de atuação possíveis:

- Adotar como padrão o plano proposto, caso a meta tenha sido alcançada
- Agir sobre as causas do não-atingimento da meta, caso o plano não tenha sido efetivo.

Werkema (1995) afirma que, para que seja possível controlar um processo, a primeira tarefa consiste na identificação de seus clientes, os quais deverão ter suas necessidades satisfeitas. Após a identificação dos clientes, o próximo passo será a identificação dos produtos que lhe serão entregues. Para tanto deverão ser estabelecidas características da qualidade deste produto. Para a garantia desta satisfação do cliente será necessário transformar estas características em grandezas mensuráveis, denominadas itens de controle. Os itens de controle de um processo são afetados por diversas causas.

As principais causas que afetam os itens de controle e que podem ser medidas e controladas, são denominadas itens de verificação. A estabilização dos processos propriamente dita consiste em uma série de ações orientadas para a estabilidade dos itens de verificação e, conseqüentemente melhora dos itens de controle. Dentre os meios mais eficientes utilizados para o atendimento destes objetivos, destacam-se as ferramentas da qualidade, que encontram na literatura uma vasta revisão e relatos de experiências bem sucedidas de sua utilização.

Os itens 2.2, 2.3 e 2.4 apresentam uma breve revisão das técnicas e ferramentas mais indicadas e utilizadas para a estabilização dos processos e o item 2.5 apresenta uma breve revisão da utilização conjunta destas ferramentas.

2.2 Desdobramento da Função Qualidade (QFD)

2.2.1 Introdução

A evolução natural dos conceitos de qualidade trouxe à tona a necessidade de conhecer e entender as exigências e desejos dos clientes em relação a um produto ou serviço. Como conseqüência, aquilo que for demandado pelos consumidores deve ser

incorporado no projeto e também levado em consideração na tomada de decisões técnicas e administrativas, aumentando suas chances de sucesso.

As origens do QFD remontam ao Japão da década de 60, quando, devido à diversificação das exigências do consumidor, identificou-se a necessidade de incorporar os itens de qualidade demandados pelos clientes no projeto de novos produtos ou na melhoria de produtos já existentes. Nessa época, iniciou-se o uso de cartas e matrizes que representavam os pontos críticos da qualidade, segundo a visão do consumidor, que deveriam ser observados nas etapas de projeto e manufatura. Na década de 70, a partir dos excelentes resultados obtidos com o uso do QFD em grandes empresas, como a Mitsubishi e a Toyota, foi publicado o primeiro livro sobre a técnica, de autoria de Shigeru Mizuno e Yoji Akao. Nos anos 80, o QFD já era utilizado com sucesso nos Estados Unidos em empresas como a Ford, Xerox, Procter & Gamble e 3M Corporation.

Observa-se que o QFD foi inicialmente elaborado para sua aplicação na manufatura. É possível, entretanto, já existem vários trabalhos de aplicações em serviços.

2.2.2 Definições

EUREKA & RYAN (1993) postulam que o QFD é “um caminho sistemático de garantir que o desenvolvimento das características e especificações do produto, bem como o desenvolvimento de metodologias, processo e controles, sejam orientados pela necessidade do consumidor”.

Para AKAO (1990), o QFD é “uma conversão das demandas dos consumidores em características de qualidade, desenvolvendo uma qualidade de projeto para o produto acabado pelos relacionamentos desdobrados sistematicamente entre as demandas e as características, começando com a qualidade de cada componente funcional e estendendo o desdobramento para a qualidade de cada parte e processo. Assim, a qualidade do produto como um todo será gerada através de uma rede de relacionamentos.”

Segundo COHEN (1995), o QFD é “um método de planejamento e desenvolvimento estruturado de produtos, que possibilita a um grupo de desenvolvimento definir claramente os desejos e necessidades dos clientes, e então avaliar sistematicamente cada produto ou serviço proposto e seu impacto frente a essas necessidades”.

Segundo RIBEIRO, ECHEVESTE & DANILEVICZ (2000), podem ser tecidas breves definições para o QFD, como segue:

É uma técnica de gestão, pois auxilia no gerenciamento de projetos simples ou complexos;

É um método de Planejamento, onde os esforços de Engenharia são deslocados para a fase de planejamento;

É um método de Solução de Problemas, listando O QUÊ precisa ser feito e COMO pode ser feito;

Facilita a Modelagem do conhecimento, descobrindo o conhecimento técnico da Equipe;

Facilita a documentação de informações através do uso de matrizes de dados;

Facilita o transporte de informações, pois as matrizes relacionam-se de forma seqüencial e usa-se uma linguagem e uma lógica comum no seu preenchimento;

Fornece abertura à criatividade e inovações através de discussões multisetoriais em um ambiente de Engenharia Simultânea.

Fortuna apud Mota (1996) define a essência do QFD: “forma sistemática de assegurar que as demandas de clientes ou do mercado (requisitos, necessidades, desejos) sejam traduzidos em ações e requisitos técnicos relevantes, através de cada estágio de desenvolvimento do produto ... é possível ligar de forma clara os requisitos dos clientes no início do planejamento até instruções detalhadas a nível operacional.”

A estrutura do QFD, conforme descrito por Cohen (1995), envolve a construção de uma ou mais matrizes. A primeira dessas matrizes é a Matriz da Qualidade (também conhecida como “Casa da Qualidade” e relaciona a qualidade demandada pelo consumidor com os requisitos técnicos necessários para atender a essa qualidade exigida. As matrizes subseqüentes dependerão do modelo conceitual apreciado, do tipo de bem estudado (produtos ou serviços) e da aplicação do QFD. A Matriz da Qualidade também apresenta informações necessárias à priorização das características de qualidade e da qualidade demandada, tais como avaliação competitiva e importância técnica desses itens. Para processos de manufatura, a próxima matriz a ser utilizada é a Matriz do Produto, que relaciona as partes e especificações dos

produtos com as características de qualidade desdobradas na Matriz da Qualidade. Em seguida, apresenta-se a Matriz dos Processo que relaciona cada etapa do processo produtivo com as características de qualidade demandadas. Por fim, a Matriz de Recursos que relaciona as etapas dos processos com a infra-estrutura de recursos.

A Figura 2.1 apresenta o modelo conceitual do desdobramento da função qualidade aplicado à manufatura proposto por Ribeiro, Echeveste e Danilevich (2000).

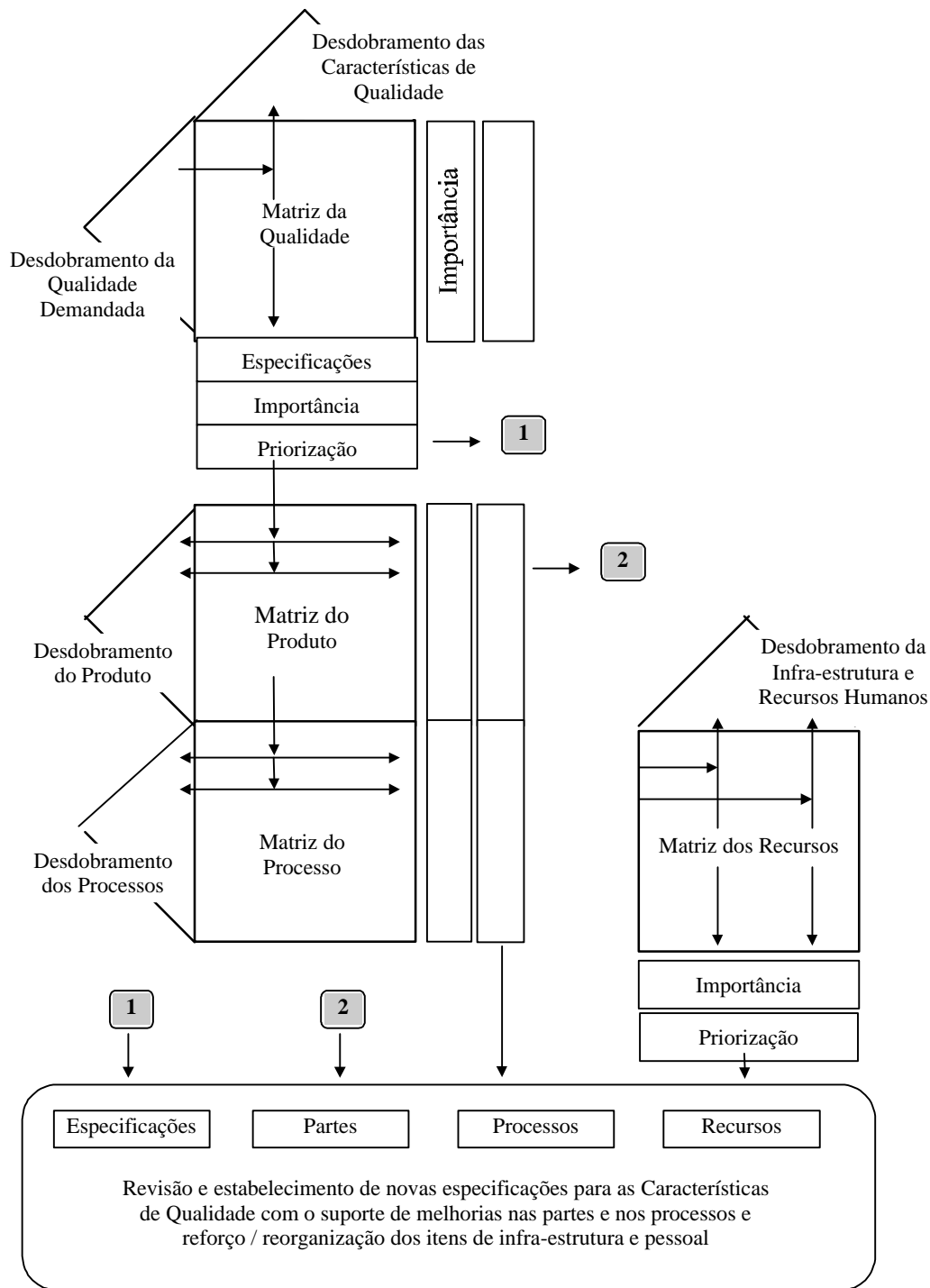


Figura 2.1 Modelo conceitual de QFD para a manufatura [Fonte: Ribeiro, Echeveste e Danilevicz, 2000]

O QFD, portanto, lida com mapeamento de processos, indicadores de desempenho, cálculos matriciais, priorizações numéricas, técnicas de análise e solução de problemas e também com as “Sete ferramentas do planejamento da qualidade”. Assim, segundo Havener

(1993), o QFD é basicamente um processo de engenharia, traduzindo a voz do cliente em especificações de produto, de processo e de fabricação. A evolução natural dos conceitos de qualidade trouxe à tona a necessidade de conhecer e entender as exigências e desejos dos clientes em relação a um produto ou serviço. Como consequência, aquilo que for demandado pelos consumidores deve ser incorporado no projeto e também levado em consideração na tomada de decisões técnicas e administrativas, aumentando suas chances de sucesso.

Segundo Cheng et al (1995), a principal fonte de informações para o planejamento da qualidade provém de pesquisas de mercado. A pesquisa pode ser realizada por meio de observações, entrevistas e questionários. Além disso, existem dados já coletados, como cartões de sugestões e reclamações, estatísticas oficiais, informações internas de empresas e publicações específicas, que podem auxiliar o processo de aquisição de informações confiáveis sobre o consumidor. Entretanto, as pesquisas estão limitadas a coletar dados e gerar informações. Como levar em consideração e processar esse material constitui uma nova etapa do planejamento da qualidade voltada ao cliente.

O QFD é uma metodologia de melhoria da qualidade baseada no maior entendimento das necessidades dos clientes. Ao combinar, de uma forma sistemática e estruturada, tais necessidades com os requisitos técnicos correspondentes, o QFD incorpora a voz do cliente nos parâmetros técnicos que regem o processo produtivo. Os resultados do método são usados para priorizar os elementos de projeto mais importantes, unindo esforços e recursos para otimizar os fatores que mais estão comprometidos com as necessidades e desejos dos clientes.

O QFD, portanto, lida com mapeamento de processos, indicadores de desempenho, cálculos matriciais, priorizações numéricas, técnicas de análise e solução de problemas e também com as “Sete ferramentas do planejamento da qualidade”. Assim, segundo Havener (1993), o QFD é basicamente um processo de engenharia, traduzindo a voz do cliente em especificações de produto, de processo e de fabricação.

Segundo Ribeiro, Echeveste & Danilevicz (2000), o QFD captura as necessidades dos clientes e conduz esta informação ao longo de todo o processo produtivo de maneira a entregar novamente ao cliente um produto/serviço conforme desejado, produto esse expressado através de requisitos de qualidade. Além disto, o trabalho é desenvolvido por equipes multifuncionais, onde tem-se um representante de cada setor que participa do processo em desenvolvimento.

Isto facilita significativamente o planejamento do produto ou serviço, pois alteram-se as relações funcionais da empresa; pessoas de setores diferentes devem atuar em um mesmo grupo, praticando os preceitos da Engenharia Simultânea. Após encerrado o projeto em desenvolvimento cada membro retorna ao seu setor de origem.

2.3 Projeto de Experimentos (DOE)

2.3.1 Introdução

O pioneiro no uso de métodos estatísticos no projeto de experimentos foi o Sir Ronald A. Fischer. Por vários anos ele foi responsável pela estatística e análise de dados na Estação Agrícola Experimental Rothamsted em Londres, Inglaterra. Segundo Montgomery (1991), Fischer desenvolveu e utilizou a análise de variância como método primário de análise estatística no projeto de experimentos.

Segundo Ribeiro (2000), R.A. Fischer, em 1935, desenvolveu as idéias básicas do planejamento de experimentos e sua relação com técnicas estatísticas, utilizando a análise de variância. Os experimentos eram voltados para a agricultura e biologia; por exemplo, analisava-se o efeito de diferentes níveis e tipos de fertilizantes (variáveis de entrada) sobre o produto de uma determinada cultura (variável de saída ou resposta).

Muitas das aplicações iniciais dos métodos de projeto de experimentos foram na agricultura e nas ciências biológicas, e como resultado grande parte da terminologia aplicada deriva desta época. Contudo, as primeiras aplicações industriais do projeto de experimento começaram a aparecer por volta de 1930, inicialmente em uma empresa têxtil britânica. Após a 2ª Guerra Mundial os métodos de projeto de experimentos foram introduzidos nas indústrias químicas e de processo nos EUA e no oeste da Europa. Este grupo de indústrias representa até hoje áreas muito férteis para a utilização de projeto experimental no desenvolvimento de produtos e processos. As indústrias eletrônicas e de semicondutores com considerável sucesso têm utilizado métodos de projeto de experimentos por vários anos com considerável sucesso.

2.3.2 Definições

O planejamento de experimentos (em inglês Design of Experiments – DOE), no entender de Montgomery (1991), é uma técnica utilizada para se planejar experimentos, ou seja, para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletados durante um

determinado experimento buscando, basicamente, satisfazer dois grandes objetivos: a maior precisão estatística possível na resposta e o menor custo. Em especial no desenvolvimento de produto, muitas vezes é necessário obter informações sobre produtos e processos, empiricamente. Neste momento, o trabalho das pessoas envolvidas com projetos assemelha-se ao de pesquisadores que precisam projetar experimentos, coletar dados e analisá-los.

Segundo Montgomery (1991), experimentos são determinados por investigações virtuais em vários campos de pesquisa usualmente para descobrir alguma coisa sobre um processo ou sistema em particular. Literalmente, um experimento é um teste.

Werkema & Aguiar (1996) afirmam que um experimento é um procedimento no qual alterações propositalmente são feitas nas variáveis de entrada de um processo ou sistema, de modo que se possa avaliar as possíveis alterações sofridas pela variável resposta, como também as razões destas alterações. Pode-se afirmar que uma vez planejados, os experimentos são importantes para identificar fatores que influenciam os itens de controle de um projeto ou processo. O processo ou sistema em estudo pode ser representado na Figura 2.2.

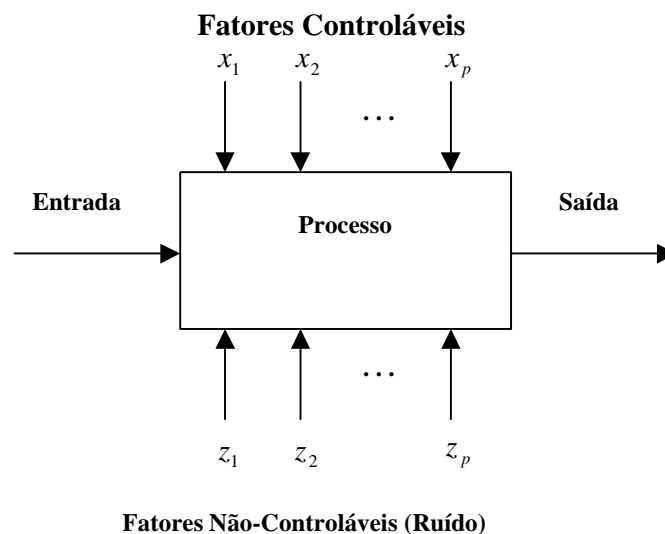


Figura 2.2 Modelo geral de um processo ou sistema

Usualmente visualiza-se o processo como uma combinação de máquinas, pessoas, métodos e outros recursos que transformam alguns *inputs* (geralmente um material) em um output que tenha uma ou mais respostas observáveis. Algumas das variáveis do processo x_1 , x_2 , ..., x_p são controláveis, enquanto outras variáveis z_1 , z_2 , ..., z_p são incontroláveis.

Segundo Montgomery (1991), os objetivos do experimento podem incluir o seguinte:

- Determinar quais variáveis têm maior influência na resposta, y .
- Determinar para que valores setar os x 's influentes de modo que y fique sempre perto do valor nominal objetivado;
- Determinar para que valores setar os x 's influentes para minimizar a variabilidade em y ;
- Determinar para que valores setar os x 's influentes para minimizar os efeitos das variáveis incontroláveis z_1, z_2, \dots, z_p .

Os métodos de projeto de experimentos são fundamentais na melhoria de processo e na resolução de problemas para melhorar o desempenho do produto ou processo.

2.3.3 Aplicações do projeto de experimentos

Os métodos de delineamento de experimentos apresentam aplicações em vários campos.

Segundo Montgomery (1991), entende-se que a experimentação é parte de um processo científico e um dos meios para aprender como o processo funciona. Geralmente, aprende-se através de uma série de atividades pelas quais pode-se fazer suposições sobre um processo, realizar experimentos para gerar dados do processo, e por fim utilizar as informações para novas suposições, que levam a novos experimentos e assim por diante

O delineamento de experimentos é uma ferramenta crítica importante na engenharia para melhorar o desempenho dos processo de manufatura. Ele ainda tem extensa aplicação no desenvolvimento de novos processos. A aplicação das técnicas de Projeto de Experimentos no desenvolvimento de processos pode resultar em:

- Melhora nos ganhos do processo;
- Variabilidade reduzida e conformidade com o alvo nominal;
- Tempo de desenvolvimento reduzido;
- Custos gerais reduzidos.

Segundo Montgomery (1991), os métodos de delineamento de experimentos também desempenham um papel fundamental nas atividades de projeto de engenharia, onde novos

produtos são desenvolvidos e os já existentes são melhorados.

Segundo Vick (1992), a única maneira de eliminar a subjetividade de uma afirmação e as discussões sobre a validade de uma conclusão é através do projeto de experimentos. Conforme ele, um pensamento subjetivo sem uma base acurada é uma forma de “mentira”. Embora esta “mentira” possa não ser intencional, ela pode gerar gastos desnecessários.

Segundo Montgomery (1991), algumas aplicações do delineamento de experimentos na engenharia de projetos incluem:

- Avaliação e comparação da configuração de projeto básico;
- Avaliação de materiais alternativos;
- Seleção de parâmetros de projeto de forma que o produto funcione bem em uma ampla variedade de condições de campo, ou seja, que o produto seja robusto;
- Determinação dos parâmetros de projeto-chave do produto que impactam no desempenho do mesmo.

O uso do projeto de experimentos nessas áreas pode resultar em produtos que são mais fáceis de fabricar, produtos que tem o desempenho em campo aumentada, produtos com menores custos e tempo de desenvolvimento e projeto de produtos menores.

2.3.4 Principais projetos experimentais

Hahn (1977) descreve brevemente os projetos de experimentos padrões mais conhecidos na literatura:

a) Blocos aleatorizados

Este projeto remove a variabilidade devido ao efeito do bloco, a fim de diminuir o erro experimental. A variabilidade é removida pelo conhecimento e controle de alguns fatores externos.

Montgomery (1991) argumenta que projetos em blocos completos aleatorizados são amplamente utilizados e facilmente implementados na prática. Unidades de equipamentos de teste ou maquinaria são freqüentemente diferentes em suas características operacionais e são um típico fator de blocagem. Além destes, lotes de matéria-prima, operadores e tempo são

geralmente fontes de variabilidade num experimento que muitas vezes pode ser controlado através de blocagem.

Quenouille (1953) ressalta que, nestes projetos, é fácil lidar com parcelas perdidas e outras complicações experimentais que podem ser ajustadas. Para estes projetos, pode ser usado qualquer número de repetições e qualquer número de tratamentos.

b) Projetos fatoriais

São experimentos que envolvem dois ou mais fatores. Um projeto fatorial completo é aquele onde são estudadas todas as combinações dos níveis de todos os fatores investigados. Projetos fatoriais permitem identificar o efeito principal e todas as interações entre os fatores.

c) Projetos fatoriais 2^k

Um projeto 2^k é um experimento fatorial com k fatores, sendo que cada um deles é ensaiado em apenas dois níveis. Segundo Montgomery (1991), os projetos 2^k são particularmente úteis em estágios iniciais de programas experimentais quando existem muitos fatores a serem investigados. Como os fatores são estudados a dois níveis, deve-se assumir que a resposta é aproximadamente linear na amplitude dos níveis dos fatores escolhidos.

Uma questão importante dos fatoriais 2^k ocorre quando, por motivos de limitação de recursos, o experimentador realiza somente uma replicação, e portanto, não será possível uma estimativa independente do erro. Uma alternativa para estimar o erro de um fatorial não replicado é assumir como erro as interações de ordem mais alta.

d) Projeto fatorial fracionado

Projeto fatoriais fracionados são frequentemente utilizados quando há um grande número de combinações de níveis dos fatores e não é possível rodar todas estas combinações, sendo selecionada apenas uma fração destas para serem rodadas.

O projeto fatorial é viável quando se está estudando 5 ou mais fatores, e a sua aplicação nestes casos é fortemente recomendada pois leva a uma grande economia na experimentação.

e) Projetos fatoriais confundidos em blocos

Há muitas situações onde é impossível conduzir uma repetição completa de um projeto fatorial em condições homogêneas, sendo necessária a divisão do experimento em blocos, onde o bloco pode ser um dia, um lote homogêneo de matéria prima, um laboratório, e assim por diante. Para dividir o experimento em blocos, é necessário confundir o efeito do bloco com algum efeito, ou seja, alguma informação ficará sacrificada. Sendo assim, a melhor forma é confundir o bloco com o efeito de interação de ordem mais alta, pois esse efeito raramente será significativo.

f) Quadrados latinos

São projetos experimentais onde cada nível de um fator é combinado somente uma vez com cada nível de dois outros fatores. São considerados projetos econômicos, pois exigem poucas rodadas, no entanto, não permitem o estudo de interações.

Para Montgomery (1991), o projeto quadrado latino é utilizado para eliminar as diferenças de duas fontes de variabilidade, pois os quadrados latinos sistematicamente permitem blocagem em duas direções. Assim sendo, linhas e colunas representam duas restrições de aleatorização. Projetos deste tipo são possíveis quando o número de níveis de ambas as restrições é igual ao número de níveis do fator principal.

g) Projetos de parcela subdividida

São projetos experimentais nos quais o efeito principal é confundido em blocos devido à dificuldades na execução de um experimento completamente aleatorizado. Eles representam um compromisso entre a eficiência estatística e as possibilidades práticas.

Segundo Montgomery (1991), os projetos de parcela subdividida são resultados de projetos de blocos aleatorizados onde não é possível proceder uma aleatorização completa.

h) Projetos "screening"

Segundo Lucas (1994), eles são usados para estudar um grande número de fatores com um pequeno número de rodadas. A maior parte dos projetos "screening" usados atualmente foram descritos originalmente por Plackett & Burman (1946) (apud Lucas (1994)). Eles apresentaram quase todos os projetos "screening" de dois níveis e muitos projetos de três ou mais níveis. Os projetos de dois níveis de Plackett e Burman são de resolução III, ou seja, os efeitos principais são confundidos com as interações de dois fatores.

i) Projetos de superfície de resposta

Conforme Hahn (1977), são projetos indicados para experimentos multifatoriais com variáveis independentes quantitativas. A relação entre as variáveis independentes e a variável resposta é ajustada usando técnicas de análise de regressão.

Myers, Khuri & Carter (1989) descrevem os projetos mais utilizados na Metodologia de Superfície de Resposta (“Response Surface Methodology - RSM”), que são projetos de múltiplos fatores controláveis a níveis contínuos.

Box & Hunter (1957), Kiefer (1975) e Box (1982) *apud* Myers, Khuri & Carter (1989) discutem que um único critério não possui suficiente informação na comparação de projetos de experimentos. Eles concordam que a escolha de um projeto deve ser guiada por mais de um critério, pois apenas um critério não consegue fornecer experimentos satisfatórios em todos os tipos de aplicações.

2.3.5 Etapas do projeto de experimentos

Segundo Montgomery (1991), para o uso de métodos estatísticos e na análise de um experimento é necessário que o pessoal envolvido tenha uma idéia bastante clara do que se pretende estudar. A partir dos dados coletados, deve-se ter um entendimento qualitativo de como eles são analisados. Sugere, ainda, um procedimento como segue:

- reconhecimento e afirmação do problema;
- seleção de uma variável de resposta;
- escolha do projeto experimental;
- realização do experimento;
- análise de dados;
- conclusões e recomendações.

No entender de Ribeiro e Caten (2000), em todas as fases do projeto do experimento, a equipe designada para esta tarefa necessita de conhecimentos mercadológicos, técnicos e estatísticos. A seqüência sugerida é a seguinte:

a voz do cliente (o que): os conhecimentos mercadológicos consistem nas pesquisas de mercado, rastreamento do que o cliente necessita ou qual sua expectativa em relação a determinado produto ou processo. Nesta fase, define-se as características da qualidade.

a voz do engenheiro (como): os conhecimentos técnicos definem as variáveis de resposta, identificam a existência de possíveis variáveis de saída ou variáveis de resposta de interesse específico, os parâmetros do processo ou variáveis de entrada e seu intervalo de variação. Nesta fase identifica-se, ainda, os fatores controláveis, o número de níveis de cada um deles e suas possíveis interações. Busca-se, também, identificar as restrições experimentais relativas ao número máximo de ensaios e recursos disponíveis (equipamento, pessoal e tempo) e qual o modelo estatístico adequado ao experimento.

planejamento final e execução: Nesta fase define-se como será a matriz experimental, isto é, qual o modelo que será utilizado, em que ordem serão efetuados os ensaios, quais os procedimentos, e elabora-se uma planilha para a coleta de dados. A execução dos experimentos deve ser acompanhada pelo pessoal técnico; possíveis não-conformidades dos parâmetros dos produtos ou processos devem ser anotadas nas planilhas que foram elaboradas para a coleta de dados.

análise: Os conhecimentos estatísticos são importantes na análise dos dados obtidos e em como interpretá-los. Nesta fase elaboram-se gráficos e modelos estatísticos para modelar a variável de resposta em função dos fatores controláveis.

otimização: A otimização consiste, primeiramente em modelar individualmente cada variável de resposta, em função dos fatores controláveis. Posteriormente, defini-se qual a função-objetivo que será utilizada para otimizar simultaneamente, as múltiplas variáveis de resposta. Por último identifica-se os ajustes dos fatores controláveis que minimiza ou maximiza a função-objetivo e, enfim, verifica-se a consistência do ajuste ótimo encontrado.

2.4 Controle Estatístico do Processo (CEP)

2.4.1 Introdução

Os estudos iniciais sobre controle estatístico do processo foram propostos no início do século. Até meados de 1970 houveram muitos avanços nesta área, mas feitos por poucos

pesquisadores, se comparados com outras áreas da estatística. As atividades de pesquisa cresceram dos anos 80 em diante, muito devido à revolução da qualidade, que foi causado pelo comércio internacional.

A premissa do CEP é controlar o comportamento de variáveis ao longo do tempo, através da inspeção por amostragem, reduzindo a variabilidade do processo, monitorando e vigiando o processo e estimando os parâmetros dos produtos ou processos. (Montgomery, 1990). O monitoramento dos processos através de inspeção por amostragem é uma maneira mais barata e despende menos tempo que a inspeção 100%.

Segundo Riberio e Caten (2000), o Controle Estatístico do Processo pode ser definido como um sistema de amostragem ao longo do processo, com o objetivo de verificar a presença de causas especiais, ou seja, causas que possa prejudicar a qualidade do produto manufaturado. Um vez identificadas, pode-se atuar sobre elas, melhorando-se continuamente a qualidade dos produtos.

Segundo Fine (1997), uma das tarefas mais críticas do controle estatístico do processo é a identificação das variáveis críticas do processo que definem e garantem a qualidade final do produto.

Segundo pesquisa realizada com os leitores de Quality Magazine, muitas empresas que tentaram implementar o CEP puro e simples não tiveram grandes vantagens. De acordo com a pesquisa, o CEP é antes de tudo um modo de pensar, com algumas ferramentas anexadas. Você não pode implementar um modo de pensar, você deve praticá-lo. Quando tenta-se implementar estas ferramentas sem praticar o pensamento estatístico, não percebe-se grandes utilidades. O foco deve sempre ser no processo e não no produto.

Muitos administradores ainda não entenderam que o CEP não se trata de inspeção e controle de qualidade. Muito frequentemente, eles procuram melhorar índices de qualidade através de inspeção. Por pelo menos 40 anos, especialistas afirmaram que não se pode inspecionar qualidade diretamente nos produtos, e que deve-se fazer algo a mais sobre o processo, para atingir a meta de zero defeitos.

Segundo Pires (2000), o CEP fornece uma descrição detalhada do comportamento do processo, identificando sua variabilidade e possibilitando seu controle ao longo do tempo, através da coleta continuada de dados e da análise e bloqueio de possíveis causas especiais,

responsáveis pela instabilidade do processo em estudo. No CEP, o monitoramento do processo pode ser executado pelos próprios operadores, possibilitando uma rápida identificação de anomalias, além de proporcionar maior consistência e previsibilidade no processo, com vistas à atuação e tomada de decisões na busca de melhorias.

A variabilidade intrínseca está presente em todos os processo. Esta variação nos resultados do processo é causada por fatores comuns, e, quando pequena torna aceitável o desempenho do processo. Neste caso o processo está estabilizado, ou sob controle estatístico, então a variação existente é dita como sendo provocada por causas comuns.

Outro tipo de variação pode ocorrer nos resultados dos processos. Este tipo de variação é, em geral, maior que a variação usual do processo e diz-se que ela deve ter sido provocada por causas especiais de variabilidade. As principais causas são: utilização não apropriada das máquinas, erros dos operadores ou matérias primas defeituosas (Montgomery 1990, p. 102).

O maior objetivo do CEP é detectar rapidamente as causas especiais para que seja feito um esforço de encontro da causa e remoção, fazendo que ações deste tipo reduzam continuamente a variabilidade dos processos. Ao identificar e eliminar as causas especiais é preciso identificar a causa do problema e atacá-la. Um resultado paliativo não melhorará o processo.

A determinação da frequência e do tamanho da amostragem depende da intenção da empresa na detecção das mudanças no processo. Sabe-se que, do ponto de vista das informações estatísticas, o ideal seria coletar frequentemente amostras de tamanho grande. Entretanto restrições financeiras e de tempo exigem que se otimize a coleta dos dados. Se é pretendido detectar pequenas mudanças no processo, Montgomery (1985) sugere coletar grandes amostras, em períodos de tempo maior. Caso o interesse seja em detectar grandes mudanças no processo, é ideal coletar pequenas amostras mais frequentemente. Para Ribeiro e Caten (2000) “a frequência de amostragem deve ser definida de forma que exista uma chance potencial de mudança dos resultados de um subgrupo para o outro”, o que equivale a dizer que as amostras devem ser independentes.

2.4.2 Cartas de controle

Os fundamentos básicos dos gráficos de controle foram propostos por Dr. Walter Shewhart entre as décadas de 20 e 30 no Bell Telephone Laboratories, que desenvolveu uma

técnica simples mas poderosa para a separação de causas comuns e causas especiais de variabilidade de processos.

As Cartas de Controle são ferramentas eficazes para se entender a variação do processo e contribuem para a obtenção do controle estatístico. Elas geralmente prestam-se a ficar afixadas no local de trabalho para o operador. Elas dão as pessoas mais próximas à operação informações sobre quando uma ação deve ou não ser tomada.

Uma Carta de Controle típica é apresentada na Figura 2.3. A sua constituição básica é feita com a plotagem dos dados coletados do processo ao longo do tempo. Calcula-se a média e o desvio padrão dos valores, e então os Limites de Controle poderão ser definidos. Os cálculos podem ser obtidos em Montgomery (1985).

Espera-se que os pontos estejam distribuídos aleatoriamente entre os limites superior e inferior. Caso sejam detectados pontos fora dos limites de controle ou comportamentos não aleatórios entre os dados é possível que causas especiais estejam atuando sobre o processo. Neste caso é necessário que sejam identificados as causas dos desvios e corrigidas, assegurando-se que elas não ocorram mais, melhorando continuamente o processo.

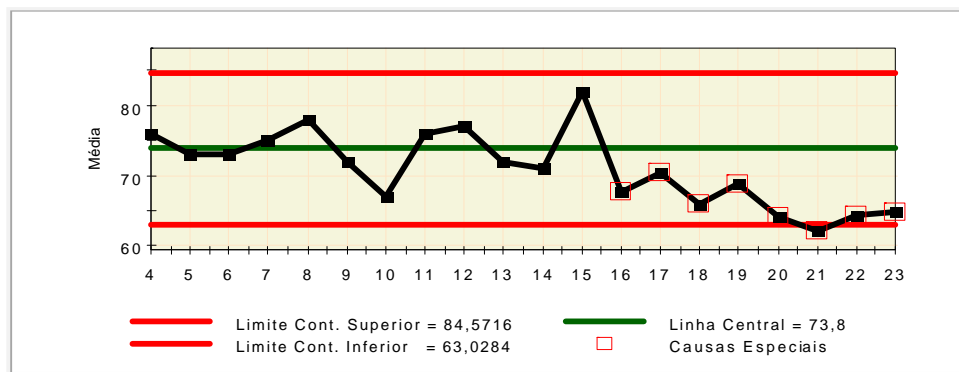


Figura 2.3 Modelo de Carta de Controle

As principais vantagens do uso das cartas de controle, adaptadas de Ribeiro e Caten (2000) são:

- permitir que o monitoramento do processo seja executado pelos próprios operadores;
- auxiliar o processo a atingir alta qualidade, baixo custo unitário, alta capacidade efetiva e consistência e previsibilidade;

- fornecer uma linguagem comum para discutir o desempenho do processo;
- fornecer distinção entre causas comuns e especiais;
- e, como consequência, servir de guia para ações locais ou gerenciais.

As cartas de controle podem ser classificadas em dois tipos. Se a característica pode ser medida e expressa em uma escala contínua, a carta é denominada carta de controle para variáveis. Este tipo de carta é utilizada no caso de medidas de peças, bitolas, comprimentos, pesos, temperaturas, entre outras características.

Caso a característica não possa ser expressa em uma escala contínua, a carta é denominada carta de controle por atributos. Os exemplos mais comuns deste tipo de característica são o número de defeitos por produto ou o número de defeituosos

Informações mais específicas a respeito dos diferentes tipos de cartas de controle podem ser obtidas em Montgomery (1985) ou em Ribeiro e Caten (2000).

Um fluxograma de apoio para a escolha do tipo de Carta de Controle a ser utilizado é apresentado por Ribeiro e Caten (2000) na Figura 2.4.

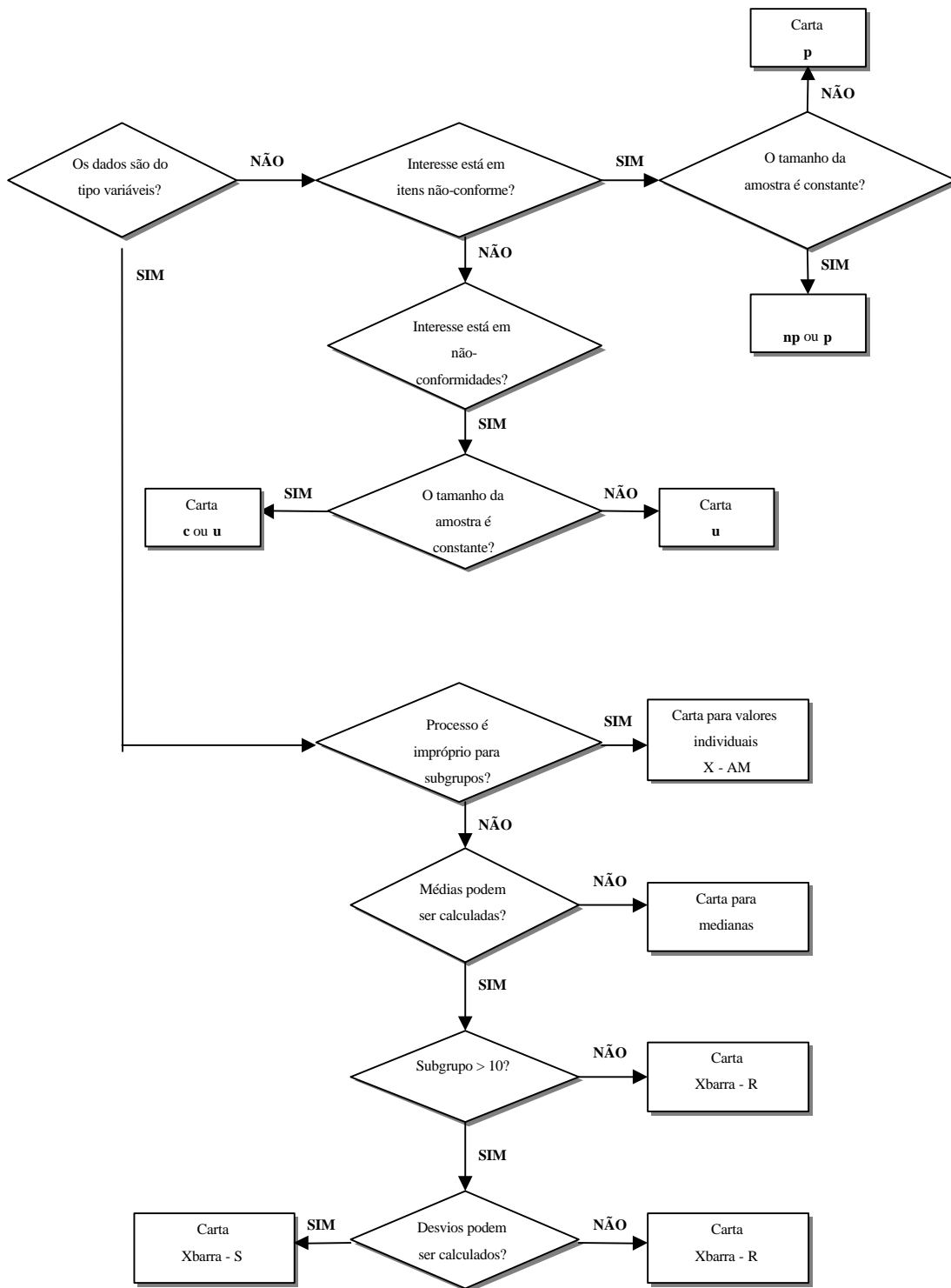


Figura 2.4 Fluxograma de apoio para escolha das cartas de controle [Fonte: Ribeiro e Caten, 2000]

2.4.3 Estabilidade do processo

A estabilidade de um processo é avaliada pela ocorrência ou não de causas especiais. As causas especiais podem ser identificadas pela ocorrência de pontos fora dos limites de controle

calculados para o processo. Além disso, outros padrões não aleatórios e tendências na seqüência de pontos plotados são indicativos de não-controle ou mudança na dispersão do processo durante o período, assinalando a presença de causas especiais e permitindo a tomada de ações sobre o sistema antes mesmo que um ponto apareça fora dos limites de controle. Entre estes, pode-se citar os mais comuns:

- a ocorrência de 7 (sete) pontos acima ou abaixo da linha central;
- a ocorrência de 7 (sete) pontos em seqüência ascendente ou descendente.

2.4.4 Capacidade do processo

O estudo de capacidade dos processos reflete a capacidade que o processo tem de produzir os produtos de acordo com as especificações dos clientes.

Segundo Werkema (1995), um processo pode não ser capaz por apresentar uma elevada variabilidade ou a média estar deslocada em relação ao ponto médio dos limites de especificação.

Para se avaliar a capacidade ou capacidade de um processo, é necessário conhecer-se a distribuição da variável que está sendo monitorada e estimar a média e variabilidade dos valores individuais, ou seja, é necessário conhecer-se os limites naturais do processo.

Para a avaliação da capacidade do processo é também necessário que o processo esteja sob controle estatístico, ou seja, que não existam causas especiais atuando sobre ele e que a variável de interesse tenha distribuição próxima à distribuição normal. Ou seja, mesmo que um processo esteja com variabilidade controlada, assim mesmo pode ser que a variabilidade devido às causas comuns seja muito grande comparada aos limites de especificação.

Uma maneira simples e quantitativa de se expressar a capacidade dos processos é utilizar-se os índices de capacidade que comparam os limites naturais do processo com a amplitude das especificações exigidas do processo.

Os índices de capacidade utilizados são o C_p e C_{pk} . Utiliza-se o C_p quando é possível assumir que o processo está centrado no valor médio, uma vez que o cálculo de C_p leva em conta apenas as especificações do processo e sua variabilidade. Assim conclui-se que C_p mede a capacidade potencial do processo. Por sua vez, o cálculo do valor de C_{pk} leva em

consideração o valor da média do processo. Logo, o C_{pk} pode ser interpretado como uma medida da capacidade real do processo. Quando um processo estiver centrado na média, os valores de C_p e C_{pk} serão iguais. Uma comparação das Magnitudes de C_p e C_{pk} é apresentada na Figura 2.5.

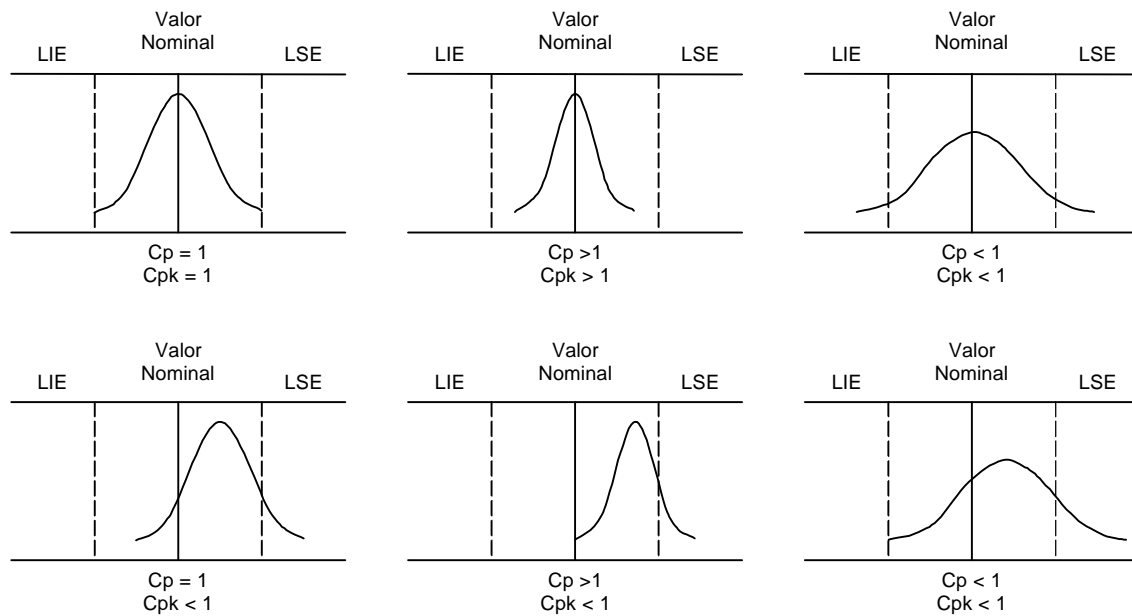


Figura 2.5 Comparação das magnitudes de C_p e C_{pk} [Fonte: Montgomery, 1991]

Ribeiro e Caten (2000) apresentam um fluxo de processo iterativo de melhoria com a utilização das cartas de controle, pela coleta dos dados, avaliação da estabilidade e capacidade dos processos. O fluxo é apresentado na Figura 2.6.

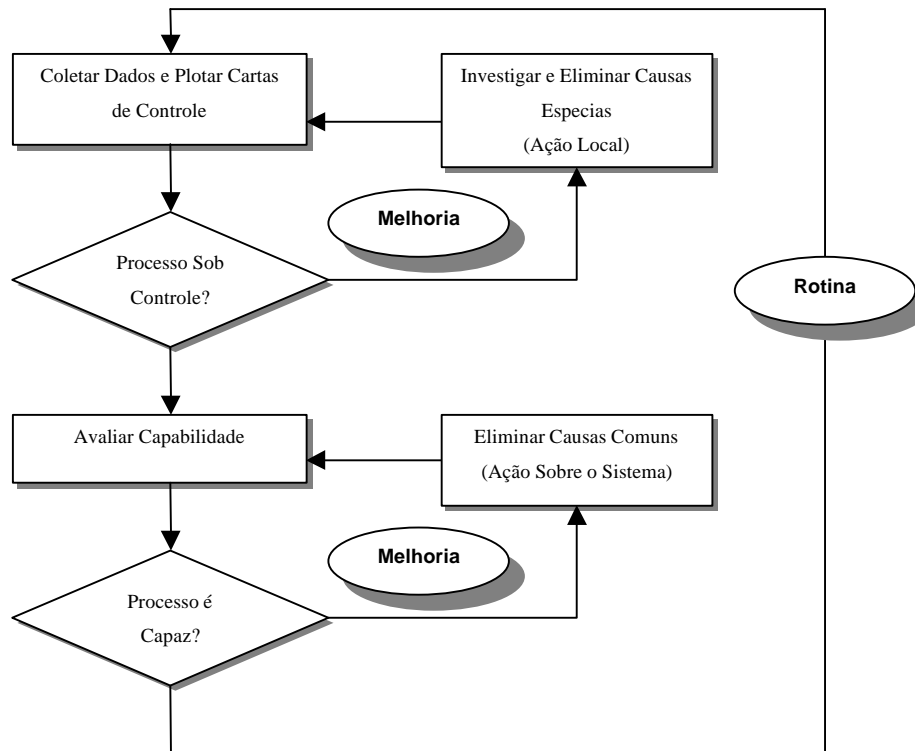


Figura 2.6 Processo Iterativo de melhoria com o uso de cartas de controle [Fonte: Ribeiro e Caten, 2000]

2.5 Uso integrado das ferramentas

Um estudo mais aprofundado do uso integrado das ferramentas de QFD, Projeto de Experimentos e CEP, requer uma extensiva pesquisa, uma vez, que os artigos e publicações que falam sobre a interação destas ferramentas na proposição de uma metodologia são limitados. Alguns autores buscaram a integração de duas ou mais destas ferramentas e relataram a aplicação do uso integrado das mesmas em estudos de caso variados.

Sjoblom (1996) aplicou e comparou as vantagens e desvantagens na aplicação do CEP e do Projeto de Experimentos numa fábrica de montagem de "Chips". Segundo o autor, a utilização do Projeto de Experimentos pode ser justificada como um meio de estabelecer um sistema mais focado e efetivo de Controle Estatístico de Processo. Se os experimentos não são realizados, um sistema de CEP pode ser implementado baseado em suposições não verdadeiras. Ainda segundo ele, mesmo que o CEP possa servir como substituto do Projeto de Experimentos em alguns casos, ele não pode ser utilizado otimadamente sem um conhecimento total do processo.

Echeveste (1997) propôs uma metodologia de otimização experimental de processos integrada com as matrizes do QFD, à qual foi aplicada em vários estudos de caso, entre eles a otimização do processo de pintura de lentes de contato. Segundo a autora, o planejamento dos experimentos foi mais eficiente, pois os parâmetros de processo e as variáveis de resposta foram resultantes de discussões da equipe resumidas e organizadas com o preenchimento da matriz. Além disso, a plataforma de planejamento desenvolvida pode estar inserida num programa de qualidade maior, vinculado com todo sistema produtivo, resultando na otimização de processos cujas variáveis têm relação pronunciada com as características finais do produto.

Pires (2000) propôs a implantação do Controle Estatístico do Processo em uma empresa de manufatura de óleo de arroz, e descreveu uma metodologia que integra matrizes do QFD para definição de características e processos mais importantes para serem controlados estatisticamente. As etapas utilizadas foram adaptadas de Caten, Ribeiro e Fogliatto (2000), Hradesky (1988) e Montgomery (1985) conforme segue:

1. Definição do projeto
2. Planejamento da implantação do controle estatístico do processo
3. Treinamento
4. Implantação efetiva
5. Acompanhamento e consolidação

Segundo Paese (2000), o apoio da gerência é um dos fatores mais determinantes na implementação e no sucesso do controle estatístico e, deve-se verificar não somente na etapa de lançamento do projeto, como também nas diversas reuniões e treinamentos, durante a implantação do CEP.

Paese (2000) apresentou uma metodologia para a estabilização de processos, a qual foi utilizada em um estudo de caso em uma usina siderúrgica de aços especiais. A metodologia é constituída de 13 etapas, divididas em dois grandes grupos: padronização e estabilização. As etapas podem ser assim divididas:

A padronização divide-se nas etapas:

1. Definição do processo crítico, itens de controle e metas

2. Montagem do fluxo do processo crítico
3. Análise do processo
4. Montagem da tabela de garantia do processo (TGP)
5. Padronização das tarefas críticas e treinamento dos operadores
6. Implantação da auditoria de padrões e tratamento de anomalias

E a estabilização concentra-se nas etapas finais

7. Planejamento da implantação do CEP
8. Avaliação do sistema de medição
9. Treinamento dos operadores para o CEP
10. Implantação do CEP
11. Análise da estabilidade
12. Análise da capacidade
13. Reavaliação da implantação

Nas suas conclusões, a autora sugere uma nova proposta de metodologia, tendo em vista as observações feitas durante o estudo de caso. A nova metodologia proposta faz uma analogia com o ciclo PDCA proposto por Deming (1990), e divide-se em 4 grandes etapas: planejamento, execução, avaliação e correções e melhorias. Um detalhamento maior da nova metodologia proposta pela autora pode ser encontrado em Paese (2000).

3 PROPOSTA DE UM MODELO CONCEITUAL DE ESTABILIZAÇÃO DE PROCESSOS

A proposição e o desenvolvimento de um modelo para a estabilização de processos requer que se faça um estudo detalhado e aprofundado sobre várias ferramentas e técnicas modernas de qualidade e um estudo sobre a integração e avaliação de benefícios obtidos com a utilização conjunta destas ferramentas para um mesmo processo. Este capítulo considera aspectos importantes para o desenvolvimento de um modelo capaz de garantir que os esforços feitos em relação à estabilização de um processo qualquer sejam focados, ou seja, que todo e qualquer esforço seja direcionado no intuito de garantir e melhorar as dimensões da qualidade valorizadas pelos clientes, permitindo um melhor aproveitamento dos recursos e um aumento da eficácia.

Em linhas gerais, este modelo conceitual para a estabilização de processos pode ser dividido em algumas etapas demonstradas na Figura 3.1 e detalhadas a seguir:

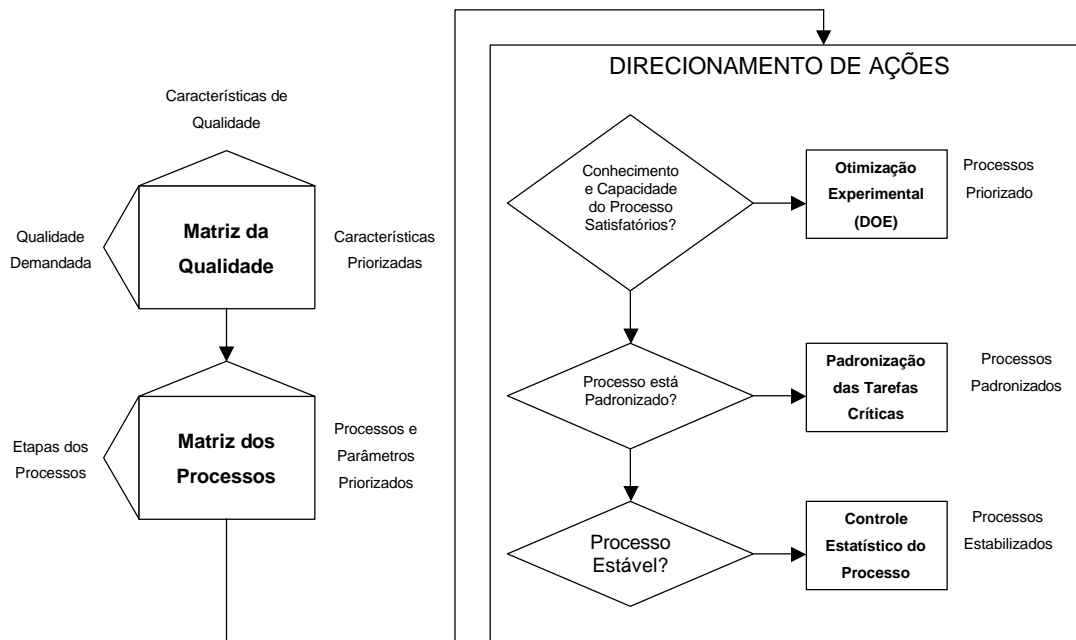


Figura 3.1 Modelo conceitual de estabilização de processos proposto

3.1 Matriz da Qualidade

3.1.1 Desdobramento da qualidade demandada

Segundo Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2000), o desdobramento da qualidade envolve a identificação do cliente e a obtenção de dados primários, o que é feito usando as técnicas de pesquisa de mercado. A identificação dos clientes têm por objetivo listar os clientes envolvidos na rede de produção e venda do produto. Devem ser listados os clientes externos e internos. Esta etapa, em geral, é simples. Contudo, há exceções; em alguns casos, pode ser necessário fazer uma segmentação do mercado (por classe, por idade, por sexo, por localização geográfica, etc.) e pode acontecer que as demandas de cada segmento sejam diferentes. Nesse caso, é importante identificar se existem demandas conflitantes.

Uma vez identificados os clientes do produto em estudo, deve ser feita uma pesquisa de mercado para avaliar as demandas desses clientes. Esta etapa constitui a base para o desenvolvimento do QFD. As necessidades dos clientes devem ser identificadas de forma direta, ou seja, junto ao cliente, para a correta identificação dos aspectos que o cliente valoriza.

Para fazer a identificação das demandas de qualidade, recomenda-se o uso das técnicas

de pesquisa de mercado. A qualidade demandada também pode ser obtida levando-se em conta outros aspectos ou ainda a combinação de diferentes fontes, dependendo do objetivo e do tipo de estudo, como por exemplo, a análise de benchmarking, “gemga” (técnica de observação), pesquisa junto aos principais clientes e fornecedores, análise de reclamações, entre outras. A Figura 3.2 apresenta o desdobramento da qualidade com a Matriz da qualidade.

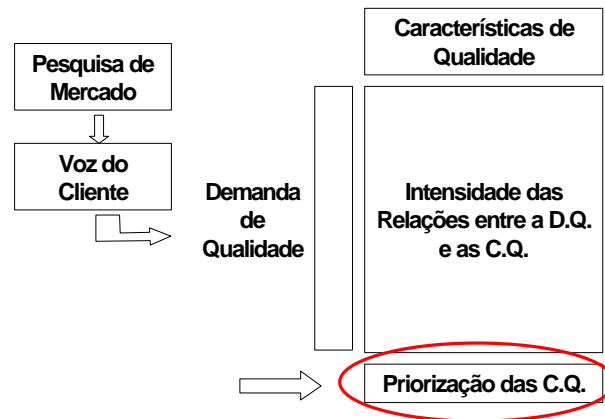


Figura 3.2 Desdobramento da qualidade e Matriz da Qualidade

3.1.2 Priorização da qualidade demandada

A priorização dos itens de qualidade demandada é calculada levando em conta a importância de cada item da qualidade demandada e pode considerar uma avaliação estratégica (E_i), uma avaliação competitiva (M_i), ou outras avaliações que podem ser pertinentes em aplicações específicas. A avaliação estratégica (E_i) pode ser realizada utilizando-se a escala apresentada na Tabela 3.1 e a avaliação competitiva (M_i) utilizando-se a escala da 0.

Tabela 3.1 Escala de intensidade para avaliação estratégica E_i [Fonte: Ribeiro, Echeveste & Danilevicz, 2000]

Escala	Importância
0,5	Pequena
1,0	Média
1,5	Grande

2,0	Muito grande
-----	--------------

Escala de intensidade para avaliação competitiva M_i [Fonte: Ribeiro, Echeveste & Danilevicz, 2000]

Escala	Comparação
0,5	Acima da concorrência
1,0	Similar à concorrência
1,5	Abaixo da concorrência
2,0	Muito abaixo da concorrência

A priorização da qualidade demandada ID_i^* é o resultado do cálculo que considera a importância de cada item da qualidade demandada ID_i , avaliação estratégia E_i e a avaliação competitiva M_i . A fórmula utilizada é a seguinte:

$$ID_i^* = ID_i \times \sqrt{E_i \times M_i} \quad eq \ 3.1$$

Um maior detalhamento da priorização da qualidade demandada pode ser encontrado em Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2000). Essas avaliações são importantes, pois permitem incorporar ao QFD aspectos que não seriam diretamente revelados pelo cliente. Por exemplo, tendências futuras que os clientes ainda não vislumbram, ou orientações estratégicas, que a direção da empresa pretende levar a termo, etc.

Segundo Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2000), nesta etapa, após a priorização, deve ser feita uma análise dos itens da qualidade demandada. Quando a concepção do produto ainda não está suficientemente amadurecida, pode ser necessário separar os itens da qualidade demandada em dois grupos. O primeiro grupo incorpora os itens que podem ser medidos através de características de qualidade, que dependem dos processos e das partes do produto, e que irão formar o cabeçalho das linhas da Matriz da Qualidade. Em geral, a maioria dos itens pertence a este grupo.

Contudo, há um segundo grupo a ser considerado. Um grupo que contempla itens que estão relacionados com alguma decisão prévia. Devemos optar se o produto irá ou não incorporar tais e tais aspectos. Não são aspectos a serem medidos, ou que dependam do desempenho do processo, mas referem-se a decisões que precisam ser feitas nas etapas iniciais de desenvolvimento do produto e que, na verdade, contribuem para a concepção do produto oferecido. Ao realizar essas decisões, o grupo amadurece a concepção do produto que será oferecido (Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2000)).

3.1.3 Desdobramento e identificação das características de qualidade

As demandas de qualidade dos clientes podem ser aspectos subjetivos, portanto devem ser definidas características de qualidade associadas, as quais serão utilizadas para traduzir as demandas em requisitos técnicos, mensuráveis e objetivos. As características de qualidade devem ser definidas por uma equipe multifuncional, com constituintes conhecedores do produto e dos processos de fabricação do mesmo. Essas características servirão de indicadores da obtenção, ou não, das demandas de qualidade dos clientes. As características de qualidade devem ser organizadas em uma árvore lógica e a seguir dispostas na parte superior da Matriz de Processos, formando o cabeçalho das colunas.

Segundo Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2000), durante a definição das características de qualidade, a equipe deve observar os seguintes aspectos:

- (i) a lista deve ser completa, ou seja, deve atender a todas as demandas de qualidade;
- (ii) a lista não deve apresentar redundâncias, ou seja, mais de uma característica de qualidade que avalia um mesmo aspecto de qualidade;
- (iii) a lista não deve apresentar problemas de hierarquia, ou seja, características de qualidade mais gerais que incorporam outras mais específicas que também estão sendo listadas;
- (iv) sempre que possível, devem ser passíveis de uma medição rápida. Uma característica de qualidade que só pode ser calculada no final do mês não é tão eficiente como algo que pode ser medido a qualquer momento a partir de uma pequena amostra de produtos.

3.1.4 *Relacionamento da qualidade demandada com as características de qualidade*

Esta etapa contempla o preenchimento da matriz da qualidade. Os itens da qualidade demandada são cruzados com os itens das características de qualidade e são estabelecidas as intensidades dos relacionamentos.

A intensidade do relacionamento entre os itens da qualidade demandada e das características de qualidade (DQ_{ij}) pode ser indicada por símbolos, os quais representam relações fortes, médias e fracas. Sugere-se a seguinte escala:

Tabela 3.2 Escala de intensidade de relacionamento [Fonte: Mizuno & Akao, 1994]

- Forte → peso 9
- Médio → peso 3
- △ Fraco → peso 1

Os pesos que foram sugeridos são aqueles propostos nos trabalhos de Mizuno & Akao (1994). No entanto, sempre que possível, é interessante atribuir valores intermediários nessa escala. Para fins de quantificação, os relacionamentos podem receber outras ponderações.

O estabelecimento das relações é realizado respondendo a seguinte questão: se a característica da qualidade X for mantida em níveis excelentes, estará assegurada a satisfação da qualidade demandada Y? Se a resposta for sim, então a relação é forte (9); se a resposta for parcialmente, então a relação é média (3), etc.

Uma matriz em que a maioria das relações entre as características de qualidade e a qualidade demandada sejam fracas deve ser revista, pois as características de qualidade não estão traduzindo de forma adequada a qualidade demandada pelos clientes. Itens da qualidade demandada que não se relacionem com nenhum item das características de qualidade devem merecer atenção especial a fim de identificar outras características de qualidade que se relacionem com eles. Caso isto não seja feito, corre-se o risco de não contemplar algum item da qualidade demandada que seja importante para o cliente.

3.1.5 Avaliação da Severidade das Características de qualidade

A severidade é a classificação correspondente à gravidade do efeito indesejado de uma característica de qualidade. Para a avaliação, utiliza-se a escala apresentada na Tabela 3.4.

Tabela 3.3 Critérios para avaliação da severidade [Fonte: Leite, 1997]

Peso	Severidade
1	Nenhum Efeito
2	Efeito Muito Pequeno
3	Efeito Pequeno
4	Efeito Irrelevante
5	Efeito Moderado
6	Efeito Significativo
7	Efeito Importante
8	Efeito Grave
9	Efeito Muito Grave
10	Efeito Perigoso

3.1.6 Avaliação da Ocorrência das Características de Qualidade

A ocorrência representa a frequência em que alterações indesejadas da característica de qualidade são percebidas pelos métodos de controle atuais. A Tabela 3.5 apresenta uma sugestão de escala para ser utilizada para a avaliação da ocorrência.

Tabela 3.4 Critérios para avaliação da ocorrência [Fonte: Leite, 1997]

Peso	Ocorrência	Índice de Ocorrência
1	Quase Impossível	<1 em 1500000
2	Remota	1 em 150000
3	Muito Leve	1 em 15000
4	Leve	1 em 2000
5	Baixa	1 em 400
6	Média	1 em 80
7	Moderadamente Alta	1 em 20
8	Alta	1 em 7
9	Muito Alta	1 em 3
10	Quase Certo	> 1 em 3

3.1.7 Avaliação da Probabilidade de Detecção das características de Qualidade

A detecção é a classificação correspondente às probabilidades de que os controles atuais do processo detectarão as alterações nas características de qualidade. A Tabela 3.6 apresenta uma sugestão de escala para a avaliação da Detecção.

Tabela 3.5 Critérios para avaliação da detecção [Fonte: Leite, 1997]

Peso	Probabilidade de Detecção
1	Quase Certo
2	Muito Alta
3	Alta

4	Moderadamente Alta
5	Média
6	Baixa
7	Ligeira
8	Muito Ligeira
9	Remota
10	Quase Impossível

3.1.8 Priorização das Características de qualidade

A importância das características da qualidade IQ_j é calculada a partir dos valores dos índices de importância corrigidos de qualidade demandada ID_i^* e da intensidade do relacionamento entre os itens da qualidade demandada e das características de qualidade DQ_{ij} , através da fórmula:

$$IQ_j = \sum_{i=1}^I DQ_{ij} \times ID_i^* \quad \text{eq 3.2}$$

A priorização das características de qualidade é realizada através de um índice de importância corrigido. Esse índice é calculado considerando a Severidade (S), a Ocorrência (O) e a Detecção das características de qualidade (D). Este índice permite identificar quais são as características de qualidade, que, caso desenvolvidas, terão um maior impacto sobre a satisfação dos clientes. Assim, a priorização é feita com base no índice de importância corrigido (IQ_j^*), o qual é calculado através da fórmula:

$$IQ_j^* = IQ_j \times \sqrt{S \times O \times D} \quad \text{eq 3.3}$$

Para melhor visualização e análise, os resultados podem ser plotados em um gráfico de Pareto.

3.2 Matriz dos Processos

A matriz dos processos desdobra os processos de fabricação do produto. A Figura 3.3

mostra um esquema de uma típica matriz de processo. O objetivo é evidenciar os processos que estão associados com as características de qualidade anteriormente destacadas. Este desdobramento auxilia na identificação de processos críticos para a qualidade do produto demandada pelo cliente, possibilitando a priorização dos processos a serem monitorados e/ou otimizados. A matriz é elaborada tendo como cabeçalho das linhas todas as etapas do processo de produção e no cabeçalho das colunas as características de qualidade mais importantes.

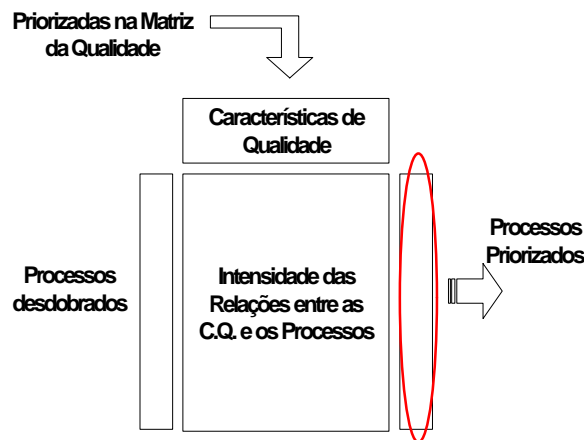


Figura 3.3 Desdobramento dos processos

3.2.1 Desdobramento dos Processos em Etapas

Para o desdobramento dos processos em suas etapas devem ser identificadas todas as etapas constituintes do processo de fabricação. Este desdobramento auxilia na análise e assegura que nenhum processo deixará de ser estudado. Após o desdobramento, os processos são organizados em uma árvore lógica e irão formar o cabeçalho das linhas da matriz de processos.

3.2.2 Relacionamento das Características de Qualidade com os Processos

Consiste em avaliar o grau de relacionamento das características de qualidade com as etapas dos processos e os seus respectivos parâmetros. Esta avaliação permite identificar quais os processo estão mais fortemente relacionados ao atendimento das características de qualidade e, por conseguinte, ao atendimento da qualidade demandada pelo cliente. Segundo Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2000) este estabelecimento pode ser feito com a utilização dos critérios mostrados na Tabela 3.7.

Tabela 3.6 Intensidade das relações [Fonte: Ribeiro, Echeveste & Danilevicz, 2000]

Peso	Relação
9	Muito Importante
3	Moderada
1	Pouco Importante

3.2.3 Definição da Importância dos Processos

A definição da importância dos processos tem por objetivo fornecer uma medida para avaliar o quanto cada processo está associado à obtenção das características de qualidade, possibilitando a visualização daqueles processos de maior importância para a qualidade. A adequação dos processos à satisfação das características de qualidade (e respectivas especificações) conduz à melhoria da qualidade do produto final. A importância dos processos (IP_i) é calculada considerando a intensidade dos relacionamentos (PQ_{ij}) entre uma determinada etapa do processo e as características de qualidade e o índice de importância corrigida (IQ_j^*) das características de qualidade definidas na matriz anterior. A fórmula de cálculo utilizada é:

$$IP_i = \sum_{j=1}^J PQ_{ij} \times IQ_j^* \text{ eq. 3.4}$$

3.2.4 Avaliação da capacidade do processo produtivo

Nesta etapa, com o auxílio da equipe técnica, avalia-se a capacidade de cada processo, estimada a partir do percentual de observações fora de especificação, conforme Tabela 3.8. Este percentual é derivado do índice (C_{pk}) de avaliação de capacidade de processos.

Tabela 3.7 Escala de capacidade dos processos produtivos [Fonte: Pires, 2000]

Valor do C_{pk}	Capacidade (C_{pk})	Percentual Fora de Especificação
0,33	Muito Pouco Capaz	≈ 32,00%

0,67	Pouco Capaz	≈ 4,40%
1,0	Capaz	≈ 0,27%
1,33	Muito Capaz	≈ 0,0064%
1,67	Extremamente Capaz	≈ 0,0000%

3.2.5 Avaliação do conhecimento dos processos produtivos

Nesta etapa, questiona-se o conhecimento e o domínio técnico existente para cada um dos processos. Deseja-se determinar se a equipe técnica conhece o ajuste ótimo dos parâmetros dos processos e o efeito destes parâmetros sobre diversos aspectos que determinam a qualidade final. Para a determinação deste conhecimento, utiliza-se a escala proposta na Tabela 3.9.

Tabela 3.8 Escala de conhecimento das etapas e parâmetros dos processos produtivos

[Fonte: Pires, 2000]

Escala do C	Conhecimento
0,2	Muito pouco conhecimento
0,4	Pouco conhecimento
0,6	Moderado conhecimento
0,8	Bastante conhecimento
1,0	Total conhecimento

3.2.6 Priorização dos Processos

A priorização dos processos é realizada a partir da consideração da importância aferida ao processo em questão (IP_i) e do seu conhecimento (C) e capacidade (C_{pk}).

A consideração de aspectos como capacidade e conhecimento, é importante na medida em que, é mais interessante desenvolver aqueles processos que tem menor capacidade e menor conhecimento.

A fórmula utilizada para o cálculo do índice de importância técnica corrigida para as etapas e parâmetros dos processos apresentada por Pires (2000), é a seguinte:

$$IP_i^* = \frac{IP_i}{C_{pk} \cdot C} \text{ eq. 3.5}$$

A prioridade de um determinado processo será tanto maior quanto maior for a sua respectiva importância corrigida.

3.3 Direcionamento de Ações

Nesta etapa, a partir da priorização dos processos respectivos parâmetros obtida, deve-se fazer um direcionamento das ações a serem realizadas para a melhoria destas etapas e parâmetros. O direcionamento e definição das ações a serem tomadas deve ser feito pela equipe técnica através de um *brainstorming*. Segundo Echeveste (1997), o plano com as ações a serem implementadas pode também ser colocado na forma de uma matriz de Direcionamento de Ações. Entre as ações possíveis e mais comuns, destacam-se a de reavaliação e padronização das tarefas críticas, a otimização de processos que pode ser feita mediante um projeto bem estruturado de Planejamento de Experimentos e o monitoramento que pode ser realizado através da implantação do controle estatístico do processo para um ou mais dos parâmetros priorizados anteriormente. Da mesma forma, para alguns parâmetros, considerados de maior importância, poder-se-á optar pela utilização conjunta de mais de uma destas ações, de uma maneira lógica e estruturada, conforme proposto no modelo conceitual apresentado na Figura 3.1.

Após a priorização dos processos, o modelo conceitual de estabilização proposto sugere que seja feito um questionamento a respeito do conhecimento e da capacidade dos processos e parâmetros priorizados. Para processos cujo conhecimento for insatisfatório, ou seja, processos em que não se conhece o efeito principal das variáveis de entrada e o efeito das interações entre elas sobre as variáveis de saída, sugere-se a otimização experimental utilizando o projeto de experimentos conforme mostrado no subitem 3.4.1. Como critério para definição da necessidade de otimização de um processo qualquer, pode-se utilizar um valor da escala

mostrada na Tabela 3.9. Por exemplo, pode-se definir que todos os processos cuja escala de conhecimento (C) seja menor ou igual a 0,4 ou cuja capacidade seja menor ou igual à 1,0 (C_{pk}) necessitam ser otimizados.

Em caso de resposta afirmativa, o modelo conceitual sugere que seja feito um questionamento sobre a padronização das atividades executadas nos processos priorizados e otimizados. Nesta fase, deve-se fazer um levantamento se estas atividades apresentam instruções e procedimentos detalhando a sua execução. Em caso de resposta negativa, deve-se padronizar estas atividades.

Em caso de resposta afirmativa, deve-se seguir para a próxima pergunta, que questiona a estabilidade dos processos. Para processos pouco estáveis, o modelo sugere que seja implantado o CEP. O critério sugerido para definição da implantação do CEP pode ser definido em função da presença de causas especiais.

3.3.1 Otimização dos Processos

Para a otimização de processos através do projeto e análise de experimentos, faz-se necessário que todos os envolvidos no experimento tenham uma idéia clara do que vai ser estudado, de como os dados serão coletados, e pelo menos um entendimento qualitativo de como estes dados serão analisados. Montgomery (1991), recomenda as seguintes etapas:

3.3.1.1 Identificação dos Objetivos do Experimento

Esta etapa parece ser um tanto óbvia, mas na prática não é tão simples perceber-se que um problema necessita de experimentação e não é tão simples desenvolver uma clara e aceitável definição do problema. É necessário que se desenvolva todas as idéias sobre os objetivos do experimento. Usualmente, faz-se necessário solicitar-se *inputs* aos vários outros setores da empresa e envolvidos como Engenharia, Garantia da Qualidade, Manufatura, *Marketing*, Clientes e o pessoal de operação, que geralmente tem um conhecimento muito aprofundado sendo porém muitas vezes ignorados.

Segundo Werkema e Aguiar (1996), para a definição do objetivo deve ser feita uma sessão de brainstorming, em que devem participar todas as pessoas que possam contribuir para a definição dos objetivos. Devem ser utilizadas informações já publicadas sobre o assunto, a experiência prática do grupo e os resultados de experimentos similares já realizados.

3.3.1.2 Seleção das variáveis de resposta

Nesta etapa, o pesquisador deve estar certo que as variáveis de resposta escolhidas realmente fornece informações completas sobre o processo em estudo. Segundo Werkema e Aguiar (1996), o pesquisador deve determinar o método de medição da variável de resposta e a escala de medida a ser utilizada. A exatidão das medidas também deve ser determinada.

Nesta etapa é importante definir uma importância relativa entre as variáveis de resposta. Essa importância é proveniente do índice de importância corrigido (IQ^*) da matriz da qualidade.

3.3.1.3 Escolhas dos níveis e fatores controláveis

Nesta fase devem ser escolhidos os fatores controláveis ou parâmetros que irão variar no experimento, as faixas de variação e os níveis específicos em que os ensaios serão feitos. Deve-se ainda definir como estes fatores serão controlados dentro dos valores desejados e como eles serão medidos, ou seja, o método de medição e a escala de medida a ser utilizada.

O conhecimento do processo requerido para esta etapa é uma combinação da experiência prática e do entendimento teórico. É importante investigar todos os fatores que podem ter importância e não se deixar levar por experiências passadas, particularmente quando se está em estágios iniciais da experimentação ou quando o processo ainda não está maduro.

A escolha dos fatores que deverão ser ensaiados no experimento é baseado no índice de importância corrigido dos processos e parâmetros dos processos (IP_i^*) resultante da matriz dos processos,, ou seja, os parâmetros do processo que apresentarem o maior efeito sobre as variáveis de resposta e menor capacidade e conhecimento serão escolhidos para serem os fatores controláveis do experimento. Os demais parâmetros do processo serão mantidos constantes no experimento para não inflacionarem o erro experimental.

Segundo Caten (1995), a escolha da faixa de variação dos fatores controláveis deve fazer sentido em termos técnicos e depende do objetivo do experimento. Por exemplo, se o objetivo do experimento é modelar o comportamento dos fatores controláveis sobre a variável de resposta e posteriormente fazer estimativas, deve-se investigar uma faixa ampla dos fatores controláveis. No entanto, se o objetivo do processo é definir o ajuste ótimo para os fatores

controláveis, deve-se investigar uma faixa restrita em torno do possível valor ótimo dos fatores controláveis. A escolha do número de níveis dos fatores depende do tipo de efeito do fator sobre a variável de resposta. Por exemplo, se o efeito do fator sobre a variável de resposta for linear é necessário ensaiar apenas dois níveis do fator. No entanto, se o efeito do fator for quadrático é necessário ensaiar no mínimo três níveis.

3.3.1.4 Definição dos fatores de ruído

Nesta etapa devem ser definidos os fatores de ruído, ou seja, aqueles fatores que podem ter algum efeito sobre as variáveis de resposta e no entanto não são controlados. Os fatores de ruído são responsáveis pelo erro experimental e quando muito elevados não permitem que sejam identificados os efeitos dos fatores controláveis.

3.3.1.5 Planejamento da Matriz Experimental

Se os três primeiros passos foram seguidos corretamente, este passo torna-se relativamente fácil. A escolha da matriz experimental envolve algumas considerações sobre o tamanho da amostragem (número de réplicas), a seleção de uma ordem aleatória para os ensaios, a determinação da formação ou não, de blocos, e a presença de uma restrição de aleatorização qualquer. Os principais tipos de projetos experimentais estão descritos no subitem 2.3.4.

Werkema e Aguiar (1996) sugerem a criação de um roteiro ou matriz experimental com um detalhamento dos passos a serem seguidos durante a realização dos experimentos, com o objetivo de minimizar-se a ocorrência de erros.

3.3.1.6 Realização dos Experimentos

Durante a realização dos experimentos, é fundamental monitorar-se o processo cuidadosamente para certificar-se de que tudo está ocorrendo de acordo com o planejado na etapa anterior. Erros no procedimento experimental podem comprometer e até mesmo invalidar o estudo. Um planejamento inicial bem executado é fundamental para o sucesso desta etapa. É fácil subestimar-se a logística e aspectos de planejamento de ensaios em um ambiente de produção complexo.

Werkema e Aguiar (1996) sugerem que se monitore o progresso dos experimentos,

registrando dados auxiliares (datas, número de ordem dos ensaios, dados omissos, ensaios adicionais) e quaisquer modificações que tenham sido feitas no planejamento experimental inicial.

3.3.1.7 *Análise dos Dados*

Nesta etapa deve ser feito um processo de revisão dos dados, com o objetivo de detectarem-se possíveis erros e dados atípicos. Se o experimento foi projetado corretamente e se foi executado de acordo com o projeto então não são necessários métodos estatísticos muito elaborados.

A vantagem principal dos métodos estatísticos é que eles adicionam objetividade ao processo de tomada de decisão. Técnicas estatísticas aplicadas com bom conhecimento dos processos e senso comum geralmente levam a conclusões sólidas.

As ferramentas de análise sugeridas para identificar quais fatores controláveis influenciam significativamente nas variáveis de resposta são o papel de probabilidade Normal, a análise de variância (ANOVA) e a regressão múltipla. Uma verificação da adequação do modelo e análise residual também são importantes técnicas de análise. Para maiores detalhes destas ferramentas ver, por exemplo, Montgomery (1991), Werkema e Aguiar (1996), Montgomery e Peck (1992), e Ribeiro e Caten (2000).

Com o auxílio dessas ferramentas, identifica-se o ajuste ótimo individual, ou seja, a combinação de fatores controláveis que minimiza (menor-é-melhor) ou maximiza (maior-é-melhor) cada uma das variáveis de resposta separadamente.

3.3.1.8 *Otimização global*

Uma vez identificados os ajustes ótimos individuais, é necessário definir uma função objetivo que permita otimizar simultaneamente todas as variáveis de resposta analisadas anteriormente. Esta otimização global implica numa solução conciliatória que pondere as importâncias relativas de cada variável de resposta sobre o produto final (Caten, 1995).

A ponderação é realizada utilizando-se os índices de importância corrigidos (IQ_i^*) provenientes da matriz da qualidade do QFD. Os pesos (w_j), além de considerarem o índice de importância corrigido de cada variável de resposta, possuem a função de normalizar os

desvios do alvo em relação às especificações para que os desvios de todas as variáveis possam ser diretamente comparáveis entre si.

O peso w é calculado pelas seguintes fórmulas, conforme o tipo de variável de resposta:

Para variáveis de resposta do tipo maior-é-melhor:

$$w = \frac{IQ_i^*}{(Alvo - LIE)^2} \text{ eq. 3.6}$$

onde:

IQ_i^* é o índice de importância corrigido da variável de resposta;

LIE é o limite de especificação inferior da variável de resposta.

Para variáveis de resposta do tipo menor-é-melhor:

$$w = \frac{IQ_i^*}{(LSE - Alvo)^2} \text{ eq. 3.7}$$

onde:

IQ_i^* é o índice de importância corrigido da variável de resposta;

LSE é o limite de especificação superior da variável de resposta.

Para variáveis de resposta do tipo nominal-é-melhor:

$$w = \frac{IQ_i^*}{((LSE - LIE)/2)^2} \text{ eq. 3.8}$$

onde:

IQ_i^* é o índice de importância corrigido da variável de resposta;

LIE é o limite de especificação inferior da variável de resposta;

LIE é o limite de especificação superior da variável de resposta.

Em estudos de melhoria da qualidade, é desejável que o ajuste ótimo dos fatores controláveis seja determinado considerando que as variáveis de resposta fiquem o mais próximo possível do seu valor alvo com a menor variabilidade em torno desse valor. Reduzir a variabilidade em torno do valor alvo significa dizer que o produto será robusto, ou seja, terá um bom desempenho mesmo quando submetido a condições adversas do meio.

A otimização global do processo deve otimizar as múltiplas variáveis de resposta com seus respectivos pesos, em relação a esses dois objetivos citados anteriormente. Ela pode ser realizada utilizando-se a função de perda quadrática multivariada originalmente proposta por Ribeiro, Caten e Elsayed (1993), apresentada a seguir:

$$\hat{Z}(i) = \sum_{j=1}^J w_j \left[\left(\hat{Y}_j - T_j \right)^2 + \hat{S}_{y_j}^2 \right] \text{ eq. 3.9}$$

onde:

$\hat{Z}(i)$ é o valor que a função perda 'Z' assume para um dado ajuste 'i' do conjunto de fatores controláveis;

w_j é a ponderação ou os pesos atribuídos a cada variável de resposta 'j';

T_j é o valor alvo para a variável de resposta 'j';

\hat{Y}_j é a equação de regressão que fornece uma estimativa da média da variável de resposta 'j' em função do ajuste dos fatores controláveis;

\hat{S}_{y_j} é a equação de regressão que fornece uma estimativa do desvio padrão da variável de resposta 'j' em função do ajuste dos fatores controláveis .

O objetivo de reduzir a distância da variável de resposta do seu valor alvo é contemplado pela seguinte parcela:

$$\left[\left(\hat{Y}_j - T_j \right)^2 \right] \text{ eq. 3.10}$$

O objetivo de reduzir a variabilidade das características de qualidade devido aos fatores de ruído (temperatura, umidade, etc.) é contemplado pela fórmula do desvio-padrão:

$$\left[\hat{S}_{\bar{y}}^2 \right] \text{ eq. 3.11}$$

O objetivo da otimização global é encontrar o ajuste dos fatores controláveis que minimiza a função perda, ou seja, o ajuste que melhor satisfaz o conjunto das variáveis de resposta simultaneamente (Ribeiro, Fogliatto e Caten, 2000).

3.3.1.9 *Recomendações*

É importante salientar-se que a experimentação é uma importante parte do processo, quando formulam-se hipóteses sobre um sistema, executam-se experimentos para investigar essas hipóteses, e com base nos resultados formulam-se novas hipóteses e assim por diante, sugerindo-se a iteratividade da experimentação. Um experimento de sucesso requer conhecimento dos fatores importantes, as faixas sobre as quais esses fatores irão variar, o número de níveis apropriados para se utilizar e as unidades de medida apropriadas para essas variáveis.

Uma vez que os dados tenham sido analisados deve-se tirar conclusões práticas sobre os resultados e recomendar o curso das ações. A análise deve ser detalhada em termos gráficos e numéricos, tornando mais clara a interpretação dos resultados. Testes de acompanhamento e confirmação também devem ser executados para validar as conclusões do experimento. Devem ser considerados todos os dados coletados no experimento, durante a fase de interpretação dos resultados. As conclusões devem ser obtidas somente a partir de interpolações dos modelos resultantes do experimento realizado, evitando-se extrapolações para outras faixas de uso que não foram investigadas no estudo. Por fim, deve-se ainda registrar-se as limitações impostas pelos dados ou pelos métodos de análise utilizados.

3.3.2 Padronização das tarefas críticas

A padronização das tarefas e processo críticos é peça fundamental na garantia de que todos trabalhem da mesma forma e na busca dos mesmos resultados, fazendo com que a identificação de eventuais desvios e alterações nos processos seja facilitada. Segundo CAMPOS (1992), o padrão é o instrumento que indica a meta (fim) e os procedimentos (meios) para a execução dos trabalhos, de tal maneira que cada um tenha condição de assumir a responsabilidade pelos resultados do seu trabalho. Segundo ele, não existe gerenciamento sem padronização.

3.3.2.1 Instruções de Trabalho

A elaboração das Instruções de Trabalho deve começar pelos processos priorizados anteriormente. Ela deve ser feita mediante uma observação da forma de trabalhar de diferentes operadores, que devem ser envolvidos e questionados a respeito da operação. A seguir, a seqüência de trabalho considerada mais correta e apropriada pela equipe de engenharia de processos deve ser resumida em uma instrução, que deve na medida do possível conter fluxogramas e ilustrações para facilitar o seu entendimento. As Instruções são documentos vivos, e como tal devem ser avaliadas e revisadas se necessário toda vez em que ocorrer alguma alteração no processo ou produto. Desta forma, garante-se que todos trabalhem da mesma forma na busca dos mesmos resultados, que serão mais facilmente alcançados. Além disso, propõe-se a criação de um sistema de auditorias sistêmicas do cumprimento e adequação dos padrões, de modo a manter a credibilidade e confiabilidade dos mesmos e preparar-se para eventuais auditorias de certificação nas normas da série ISO9000.

3.3.2.2 Planos de Controle

O objetivo dos planos de controle é auxiliar a manufatura de produtos de qualidade de acordo com os requisitos do cliente. Eles fazem isso fornecendo um modelo estruturado para o projeto, seleção e implementação dos métodos de controle que adicionam valor para o sistema completo. Os planos de controle fornecem uma versão resumida dos sistemas usados para minimizar a variação do processo e do produto, como parâmetros e características a serem controladas, faixas de especificação para estes parâmetros e características, métodos de

controle utilizados e plano de reação em caso do não atendimento de algum dos itens. O Plano de Controle não substitui a informação contida nas instruções de trabalho detalhadas do operador, mas constitui uma importante ferramenta de controle e acompanhamento de processos. A elaboração deve ser feita por uma equipe multidisciplinar com base nas especificações de engenharia e no conhecimento das necessidades dos clientes, dos produtos e dos processos.

3.3.2.3 Gerenciamento Visual

O Gerenciamento Visual ou Gestão à Vista consiste na utilização de recursos visuais de comunicação e informação auto-explicativos e de fácil entendimento. A utilização correta permite uma homogeneização e transparência no conhecimento e monitoramento dos processos. A sua utilização deve ser feita sempre que possível, permitindo comunicar e informar a todos interessados sobre os processos e características controlados.

3.3.3 Controle Estatístico de Processos

O sucesso da implantação de programas de controle estatístico, depende além da cultura estatística da organização para aprender a executar processos e resolver problemas, da abordagem sistemática da equipe e da postura dos facilitadores para a sua implantação. Segundo Hradesky (1988), o sucesso da implantação do controle estatístico de processos depende 10% do conhecimento estatístico e 90% de ações gerenciais.

Nesta seção, sugere-se uma metodologia de implantação de Controle Estatístico baseada em 12 etapas adaptadas de Ribeiro, Fogliatto e Caten (2000).

3.3.3.1 Lançamento do Projeto

A. Definição do Escopo

Nesta etapa são definidos: (i) escopo do projeto, (ii) objetivo, (iii) resultados esperados a partir da implantação do controle estatístico do processo, (iv) custos de implantação, e (v) cronograma de implantação. Também são definidos os indicadores de desempenho para avaliar o sucesso do projeto e as metas que serão alcançadas ao final da implantação do controle estatístico do processo.

B. Definição da Equipe de Trabalho

Esta etapa consiste na definição dos integrantes da equipe responsável pela implantação. Esta equipe deve ser formada por gerentes, engenheiros, supervisores, técnicos e operadores que estejam envolvidos com os processos a serem monitorados. A equipe deve conter um núcleo básico que participará de todas as reuniões e decisões referentes ao projeto; conforme a necessidade, poderão ser convidadas pessoas externas à equipe para auxiliar em etapas específicas da implantação.

C. Palestra de lançamento do projeto

A operacionalização do controle estatístico do processo é uma tarefa diária e contínua, envolvendo muitas pessoas dentro da organização por um longo período de tempo. Dada a longa duração da implantação, a equipe de projeto deve conscientizar a todos na empresa que o sucesso ou o fracasso do controle estatístico do processo é de responsabilidade de todos.

3.3.3.2 O Planejamento da Implantação do CEP

Nesta etapa, é importante a participação de todos os envolvidos com os processos, que devem sentir-se comprometidos com o sucesso da implantação do sistema. Portanto, deve-se investir um maior tempo na fase de planejamento, para minimizar a necessidade de alterações posteriores à implantação. Os seguintes aspectos devem ser observados:

- a) não deve ser selecionado um número excessivo de variáveis e atributos pois a coleta de dados pode se transformar no gargalo da produção;
- b) o controle deve ser aplicado sobre as etapas dos processos importantes sob o ponto de vista das demandas de qualidade dos clientes;
- c) o controle deve estar associado a uma estratégia de ação, pois coletar dados e não agir quando necessário implica em desperdício de tempo e recursos.

Inicialmente é necessária a identificação dos processos nos quais será aplicado o CEP. Nesta etapa, também é importante definir:

- (i) Características de qualidade importantes para o cliente;
- (ii) Processos nos quais as características determinadas em (i) são construídas;
- (iii) A quantidade de postos de controle necessários;

- (iv) A melhor localização dos postos de controle;
- (v) Variáveis ou atributos a serem controladas em cada posto;
- (vi) Critérios de classificação (filtros);
- (vii) Capacidade do Sistema de Medição;
- (viii) Indivíduos responsáveis pela ação sobre o sistema quando este sinalizar um estado de descontrole estatístico;
- (ix) Ações a serem tomadas quando o sistema estiver fora de controle.

3.3.3.3 Identificação dos postos de controle e parâmetros e características de qualidade a serem monitoradas em cada posto

Os postos de controle são os locais físicos onde serão monitorados os diversos parâmetros e características de qualidade dos processos críticos, que podem ser atributos ou variáveis. Nas empresas divididas em células manufaturadas, os postos de controle podem ser as próprias células. Enquanto isso, uma linha de produção tradicional pode ser dividida nos seus macro processos, fornecendo uma primeira idéia da posição dos postos de controle.

De forma mais específica, conhecendo-se as características críticas para a qualidade segundo a demanda dos clientes e onde elas são construídas, ou seja, a etapa do processo produtivo, fica fácil definir a localização dos postos de controle e os parâmetros e características de qualidade do processo. Além disso, eles devem concentrar instrumentos de medição, pessoal capacitado para as medições e facilidades computacionais para o registro dos dados.

Um exemplo mais detalhado da identificação dos postos de controle e definição das características de qualidade monitoradas em cada posto é apresentado em Ribeiro e Caten (1998).

3.3.3.4 Definição dos critérios de classificação dos produtos (filtros)

Nessa etapa, é importante definir os critérios de classificação (também denominados filtros) que serão utilizados posteriormente na análise gerencial das cartas de controle. Os

critérios de classificação são informações como tipo de produto, dimensões do produto, turno, máquina, operador, fornecedor, matéria-prima, etc... que são registradas juntamente com os dados de qualidade. Posteriormente, os dados podem ser agrupados segundo esses critérios na análise gerencial; em outras palavras, os dados podem ser filtrados relativamente a critérios de classificação pré-estabelecidos. Descrição dos parâmetros e características de qualidade do processo

3.3.3.5 *Descrição das características e parâmetros do processo*

Uma vez definidos os postos de controle e os parâmetros e características de qualidade do processo a serem monitorados em cada posto, segue-se para um detalhamento maior desses parâmetros e características de qualidade do processo.

Nessa etapa, é necessário definir se o parâmetro ou característica do processo é uma variável ou um atributo.

Variáveis são medições realizadas com um sistema de medição, logo podem assumir qualquer valor dentro de um intervalo qualquer.

Atributos são avaliações realizadas comparando-se o parâmetro ou a característica de qualidade do processo com um padrão, podendo ser classificado conforme ou não-conforme o padrão. Logo, os atributos só podem assumir valores inteiros.

Outra questão é definir se os itens monitorados são parâmetros de processo, variáveis e atributos que qualificam o processo e não estão diretamente ligadas à qualidade do produto final ou se são características de qualidade, variáveis e atributos que configuram diretamente a qualidade do produto final.

Parâmetros de processo fora de especificação indicam uma maior probabilidade de produção de defeituosos (e devem gerar ações corretivas); enquanto que características de qualidade fora da especificação representam diretamente a ocorrência de defeituosos (e também devem gerar ações corretivas).

Para cada variável (ou atributo) que será monitorada, é necessário definir o tipo (nominal, maior ou menor-é-melhor), unidade de medição, valor alvo e especificações para os estudos de capacidade.

Variáveis do tipo nominal-é-melhor possuem um valor alvo e qualquer desvio desse valor alvo provoca uma perda de qualidade. Logo, é necessário definir um limite inferior e superior de especificação, além dos quais a variável é considerada não-conforme.

Variáveis do tipo maior-é-melhor são aquelas cujo valor alvo é teoricamente o infinito, logo não possuem limite superior de especificação. É necessário definir apenas um limite inferior de especificação, abaixo do qual a variável é considerada não-conforme.

Variáveis do tipo menor-é-melhor são aquelas cujo valor alvo é teoricamente o zero, logo não possuem limite inferior de especificação. É necessário definir apenas um limite superior de especificação, acima do qual a variável é considerada não-conforme.

3.3.3.6 Definição do procedimento de coleta de dados

Nessa etapa é necessário definir: (a) o tipo de carta de controle; (b) o tamanho da amostra; (c) a frequência de amostragem; (d) a forma de registro dos dados (registro eletrônico em computador ou em planilha de papel) e (e) o sistema de medição.

3.3.3.7 Avaliação do sistema de medição

Uma vez definido o sistema de medição, é necessário avaliar a sua capacidade. Um sistema de medição capaz apresenta uma variância de medição inferior a 10% da amplitude das especificações. Quando houver suspeita a respeito da capacidade de um sistema de medição, ele deve ser analisado através de estudos de Repetibilidade e Reprodutibilidade. Caso os estudos revelem a insuficiência do sistema de medição, planeja-se melhorias no equipamento, revisão de procedimentos ou treinamento dos operadores. A avaliação do sistema de medição é etapa importante na implantação do controle estatístico do processo, pois define a confiabilidade dos dados a serem utilizados no controle dos processos.

3.3.3.8 Definição de responsabilidades

Nessa etapa é necessário definir os responsáveis pela coleta dos dados e registro na planilha, digitação dos dados (no caso de uso do computador), monitoramento eventual das cartas individuais, cálculo dos limites de controle e estudos de capacidade.

Também é necessário definir quem é o responsável por disparar e executar ações corretivas

no caso do processo sair fora do controle e ações preventivas para evitar a reincidência do problema. Além disso, é recomendado criar um grupo de apoio à qualidade (GAQ) que deve ser chamado caso a causa especial não possa ser corrigida pelo operador e supervisor.

3.3.3.9 Definição da documentação necessária

Nesta etapa, são elaboradas as planilhas de coleta de dados a serem utilizadas em cada posto de controle e as planilhas de registro de ocorrência de causas especiais. As planilhas de coleta de dados devem conter todas as variáveis e atributos monitorados em cada posto de trabalho e informações sobre os critérios de classificação dos dados coletados. Informações referentes a critérios de classificação são específicas para cada posto de controle (é possível que alguns critérios de classificação não se apliquem a todos os postos de controle). Nas planilhas de registro de ocorrência de causas especiais, são registrados: (a) a data e hora de ocorrência da anomalia; (b) sua provável origem (matéria-prima, mão-de-obra, máquinas, etc.); (c) a ação tomada para a solução do problema e seu responsável e (d) o tempo observado de parada da produção.

Hradesky (1988) sugere o desenvolvimento de uma matriz onde possíveis ações a serem tomadas na presença de causas especiais são apresentadas. Tal matriz deve ser continuamente atualizada de forma a refletir as anomalias que incidem com maior frequência nos processos. O objetivo dessa matriz é agilizar a identificação da origem do problema causador da anomalia e sua solução por parte do operador.

O monitoramento da qualidade através do controle estatístico do processo deve estar associado a uma estratégia de ação, com procedimentos e responsáveis bem definidos. Coletar dados e não agir em resposta às causas especiais implica desperdício de tempo e recursos.

3.3.3.10 Treinamento em CEP

O treinamento é considerado uma etapa muito importante, pois todos na empresa envolvidos com os processos produtivos devem ser capazes de interpretar os dados coletados e processados no CEP. O treinamento deve ser aplicado imediatamente antes da implantação efetiva do CEP, podendo ser ministrado para diferentes níveis e funções na empresa.

Funcionários de diferentes níveis e funções na empresa devem receber treinamentos diferenciados. Por exemplo, para gerentes e diretores, é suficiente ministrar os conteúdos

referentes à análise dos dados, dando-lhes, assim, subsídios para a tomada de decisões baseadas nos dados coletados. Supervisores, técnicos e engenheiros, por outro lado, devem receber um treinamento integral em CEP pois cabe a estes profissionais o atendimento das necessidades mencionadas na fase de Planejamento da Implantação. Operadores, por fim, devem ser treinados no preenchimento e análise das cartas de controle, sendo capazes de identificar a presença de causas especiais atuando nos processos, e por conseguinte, fazer avaliações a respeito da estabilidade dos mesmos.

Seguindo estas linhas, o treinamento para gerentes e diretores compreende estudos de estabilidade e capacidade de processos. O treinamento para engenheiros, supervisores e técnicos compreende uma introdução ao CEP, cartas de controle para variáveis e atributos, estudos de estabilidade e capacidade do processo e estudos de R&R. O treinamento para operadores compreende a coleta de dados, o preenchimento e a análise das cartas de controle.

3.3.3.11 Implantação Efetiva do CEP

Para a implantação efetivas do CEP, duas etapas distintas são consideradas:

a) Início do Monitoramento

Nesta etapa, define-se a data de início da coleta de dados a serem utilizados no CEP, bem como os responsáveis pela coleta e preenchimento das cartas de controle. Desta forma, tem-se o início da utilização prática do CEP, sendo utilizadas os tamanhos de amostra e as frequências de amostragem definidas. Nesta etapa, os dados são coletados e plotados nas cartas de controle, mas, os limites de controle e a linha central ainda não são conhecidos.

b) Cálculo da Linha Central e dos Limites de Controle

Após a coleta e o preenchimento de uma primeira carta de controle, o cálculo dos limites de controle e da linha central já pode ser feito. Uma vez calculados, estes devem ser acrescentados às cartas de controle permitindo a sua utilização plena. No caso de surgimento de causas especiais, os limites de controle devem ser recalculados, após a identificação e eliminação das causas de anomalia do processo. Os Limites de Controle e Linha Central calculados a partir de um processo no qual têm-se apenas causas comuns atuando devem ser utilizados no monitoramento futuro dos processos.

3.3.3.12 Estudos de Estabilidade e Capacidade

Nesta fase de acompanhamento e consolidação, avaliam-se os resultados da implantação do CEP e, posteriormente, identificam-se melhorias futuras advindas de sua implantação. O acompanhamento e consolidação do controle estatístico de processos compreende as seguintes etapas

a) Análise de Estabilidade

Nesta etapa avalia-se a estabilidade dos processos, a existência de causas especiais e, se necessário, adotam-se procedimentos de identificação e eliminação destas causas

b) Análise da Capacidade

Nesta etapa avalia-se a capacidade dos processos e, se necessário, adotam-se estudos de otimização dos processos através de grupos de ação de melhorias de qualidade.

3.3.3.13 Avaliação da Sistemática de Ação

Nesta etapa analisa-se e aprimora-se o sistema de controle de processo implantado através da verificação dos procedimentos de coleta de dados, registro e ação de melhorias. Esta análise deve ser realizada em conjunto com toda a equipe envolvida na implantação do CEP.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será apresentado o estudo de caso. O estudo foi realizado em uma moderna e automatizada montadora de veículos automotores. Mais especificamente, o processo estudado foi o de pintura de carrocerias automotivas.

O item 4.1 aborda uma descrição do processo de pintura; o item 4.2 apresenta a matriz da qualidade; o item 4.3 a matriz dos processos; o item 4.4. a análise e direcionamento das ações; o item 4.4.1 otimização dos parâmetros do processo; o item 4.4.2 a padronização das tarefas críticas; por fim o item 4.4.3. apresenta o Controle Estatístico de Processos.

4.1 O Processo de Pintura Automotiva

Um fluxograma completo do processo de pintura, objeto do estudo de caso realizado pode ser visualizado na Figura 4.1.

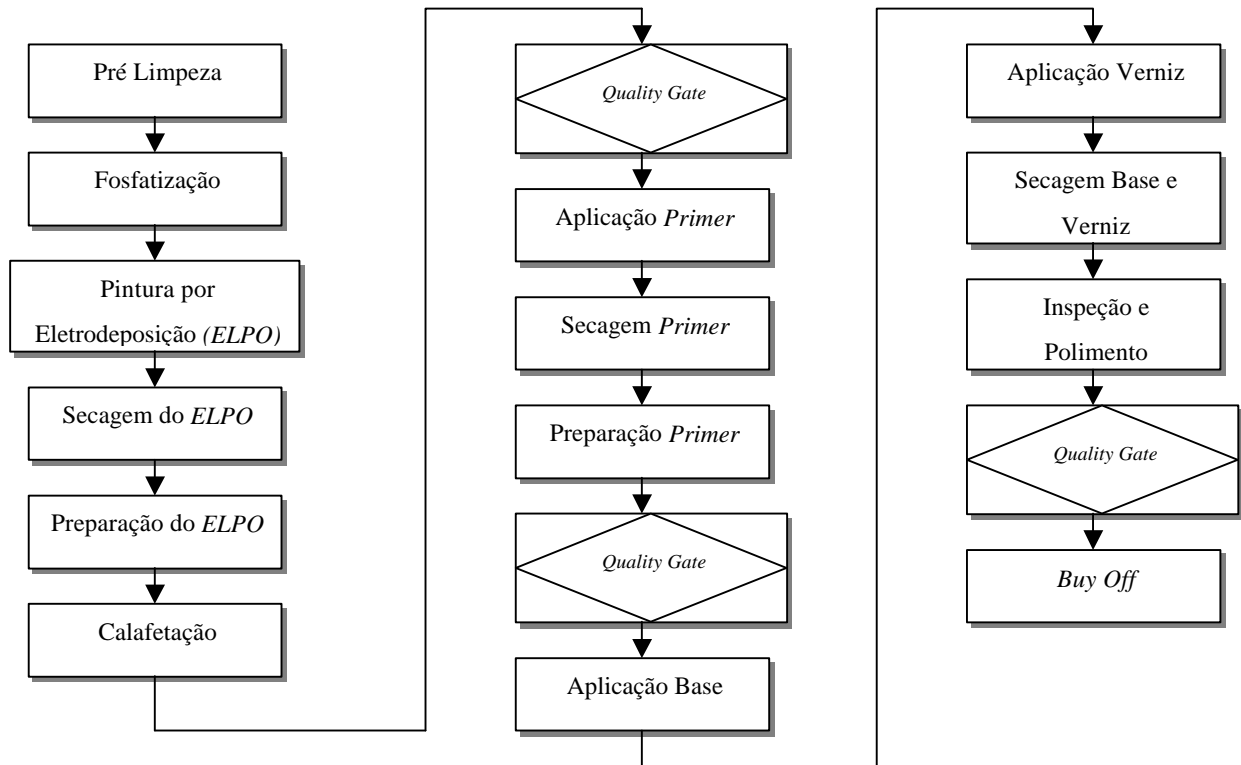


Figura 4.1 Fluxograma do processo de pintura automotiva

4.1.1 Fosfatização

O estágio do Fosfato é o estágio mais sensível e crítico para controlar. É a qualidade da cobertura depositada nesse estágio que vai primariamente determinar a resistência à corrosão de todas as demais coberturas subseqüentes.

Coberturas de fosfato de boa qualidade são caracterizadas por pequenos tamanhos de cristais e peso de cobertura intermediários. Em sistemas por imersão, como é o caso, é muito importante que o sistema seja ajustado para prover um fluxo laminar de solução sobre a superfície do metal. As carrocerias em chapa nua são imersas em tanques que compreendem as várias etapas do processo de fosfatização, entre as quais o desengraxe, o refino, a fosfatização propriamente dita, a passivação e a lavagem.

4.1.2 ELPO

A pintura por eletrodeposição, também conhecida por *ELPO*, *E-Coat*, Cataforese, foi desenvolvida para atender os requisitos anti-corrosivos, exigidos pela indústria automobilística, de autopeças e de eletrodomésticos. O revestimento aplicado sobre superfícies metálicas fosfatizadas, pode ou não, ser seguido de coberturas subseqüentes.

O conceito básico do funcionamento do processo de eletrodeposição e da formulação da tinta é que partículas com cargas opostas se atraem. Basicamente o processo de eletrodeposição ocorre quando se mergulha um objeto metálico (substrato) em um banho de tinta diluída em água, através da qual se faz passar uma corrente elétrica contínua. A peça a ser pintada é conectada a um pólo sendo o outro pólo o próprio tanque de imersão, ou então, os eletrodos colocados em suas paredes laterais.

Existem dois tipos de eletrodeposição: anódico e catódico. Eletrodeposição anódica é um processo que deposita cargas negativas no substrato de uma superfície carregada positivamente. Eletrodeposição catódica é um processo que deposita partículas de tinta carregadas positivamente em um substrato carregado negativamente (aterrado). O sistema anódico foi desenvolvido inicialmente, contudo, o catódico tem maior aplicação nos revestimentos por eletrodeposição atualmente.

As partículas de tinta, resinas e pigmentos, migram inicialmente para os lugares de maior intensidade do campo elétrico, neles se depositando. A camada de tinta depositada não conduz a eletricidade; portanto a camada formada nos pontos privilegiados isola a eletricidade e a tinta migra para outros pontos, cobrindo toda a superfície do substrato. A camada assim formada é uniforme em toda a superfície, salientando-se a ótima cobertura de cantos, pontas e arestas, o que não pode ser conseguido por nenhum outro processo de pintura.

4.1.3 Preparação do ELPO

Nesta etapa, todas as carrocerias “elpadas”, ou seja, que já receberam a camada de tinta eletrodepositada, são inspecionadas e todas as discrepâncias são removidas através de lixamento e limpeza subsequente, de forma a não prejudicar as próximas etapas de aplicação de tinta.

4.1.4 Calafetação

A calafetação tem como objetivos principais a vedação das unidades contra a entrada de pó e sujeira e melhorar a estética de algumas junções e extremidades de painéis. Uma massa viscosa à base de PVC é aplicada por meio de bicos pressurizados sobretudo nas junções de diferentes painéis que constituem a carroceria e nas flanges, contornos e rebordamentos das chapas nas extremidades dos painéis. Essa massa, após aplicação é polimerizada e seca durante a passagem das unidades por uma estufa destinada à cura da camada de tinta aplicada na etapa

seguinte descrita abaixo.

Ainda nesta etapa, é aplicada uma camada fina de uma massa à base de *PVC* no assoalho externo das unidades, prevenindo e atenuando os efeitos causados pelas batidas de pedra como o ruído e o arrancamento de camadas de tinta tornando estas regiões mais suscetíveis ao surgimento de pontos de corrosão.

4.1.5 Primer

A pintura *primer* é essencial para a durabilidade e a aparência da pintura final. Ela é feita tendo como substrato a camada de *ELPO* depositada no processo anterior e é usada para proteção contra corrosão, resistência contra lascamentos, nivelamento da superfície e promotor de adesão para a aplicação da camada final. A aplicação pode ser feita tanto manualmente como por máquinas automáticas eletrostáticas, que através de um sistema de sinos giratórios imersos em alta tensão ionizam as partículas de tinta, fazendo com que as mesmas sejam fortemente atraídas para a superfície da unidade que está aterrada.

A tinta *primer* pode ser de cor genérica, ou seja, seja qual for a cor final da unidade, ela não varia ou específica, ou específica, onde a cor da tinta é muito próxima da cor final do carro, trazendo dessa forma várias vantagens, como por exemplo:

- Como a cor é semelhante, a camada de tinta final, mais cara, pode ser reduzida fazendo com que o custo final por unidade produzida possa ser reduzido;
- As emissões de compostos organo-voláteis para a atmosfera podem ser reduzidas;
- Os lascamentos que possam ocorrer ficam menos visíveis aos olhos.

4.1.6 Preparação do primer

Esta etapa é fundamental para o acabamento e a aparência final do veículo. Nesta etapa são removidas todas e quaisquer discrepâncias encontradas, além de uma limpeza extremamente criteriosa para que durante a aplicação da camada final de tinta estas discrepâncias não sejam reveladas, o que implicaria na realização de reparos ou até mesmo de uma repintura. A remoção é feita por meio de um lixamento localizado

4.1.7 Aplicação de tinta base e verniz (topcoats)

A denominação *topcoat* refere-se à camada mais externa e superficial de uma unidade pintada sendo constituída por uma aplicação da tinta base ou *basecoat*, que dá a coloração final das unidades e uma camada de verniz, aplicada sobre a mesma, responsável principalmente por conferir o brilho e proteção à pintura.

Os *topcoats* têm duas funções primárias mais importantes: (i) prover o carro de uma aparência atrativa; (ii) proteger a camada *primer* e subseqüentemente o substrato dos danos físicos e relacionados com o meio ambiente.

A cor e o brilho do *topcoat* são os atributos primários para a aparência geral dos veículos. Contudo, o *topcoat* também é fundamental na manutenção da durabilidade do substrato. O *topcoat* constitui uma barreira contra a penetração da luz ultravioleta, que pode deteriorar tanto a resistência à corrosão dos *primers* quanto a resistência dos substratos plásticos. Ele ainda protege as camadas anteriores, oferecendo uma resistência à abrasão e à penetração de umidade.

A aplicação destas camadas pode ser manual ou automática. Nas plantas de pintura automotiva mais modernas, a aplicação é mista, sendo que as partes internas das unidades são pintadas manualmente e as partes externas são automatizadas. A aplicação automática da tinta base é feita em uma etapa para as cores sólidas e em duas etapas para as cores metálicas e perolizadas. Na primeira etapa, as partículas de tinta são ionizadas e vaporizadas pela passagem através de um “sino” carregado à alta tensão (60KV) e rotacionando à altas rotações (30000RPM), que com o auxílio de braços mecânicos acompanham a configuração da carroceria que por estar aterrada, atrai estas partículas para sua superfície. Na segunda etapa, as partículas são vaporizadas por robôs que acompanham toda a configuração da carroceria, garantindo uma aplicação completa e homogênea em todos os pontos. Durante a aplicação do verniz, executa-se tão somente a primeira etapa, com as máquinas de sinos.

4.1.8 Inspeção e polimento

Nesta etapa, todas as unidades pintadas passam por uma inspeção onde avaliam-se todas as discrepâncias de pintura encontradas. De acordo com o tipo de discrepância, a unidade pode ser simplesmente polida ou até mesmo ser enviada para repintura completa. Em geral, as maiores discrepâncias encontradas estão relacionadas ao nível de sujeira que fica aderido às

camadas de cobertura mais superficiais, e podem ser removidas por uma abrasão seguida de polimento localizado.

4.1.9 *Quality Gates*

Estações de trabalho onde 100% das unidades são verificadas quanto à itens de qualidade previamente definidos em *check lists*, que contemplam itens relativos à operações anteriores, é são destinadas ao processo seguinte ou a retrabalhos.

4.1.10 *Buy Off*

Da mesma forma que os *Quality Gates*, o *Buy Off* compreende uma estação de trabalho onde é feita uma inspeção detalhada em vários itens das carrocerias, também definidos em um *check list*. Diferentemente dos *Quality Gates*, localizados em pontos intermediários do processo de pintura, o *Buy Off* trata-se da porta de saída das carrocerias do processo de pintura onde as mesmas são “compradas” ou não pelo departamento de qualidade, para continuarem o processo de montagem.

4.2 *Matriz da Qualidade*

No estudo de caso em questão, a modelo conceitual proposto para a identificação das características de qualidade importantes para o cliente através do desdobramento da qualidade realizada pela matriz da qualidade foi simplificada. Em função de uma restrição de custo, os itens de qualidade demanda não foram levantados através de pesquisa de mercado com o cliente final. Desta forma, as características de qualidade importantes não foram obtidas de um desdobramento dos itens de qualidade demandada, mas, sim consultando-se a equipe técnica e reclamações de clientes conforme descrito no item 4.1.2.3.

4.2.1 *Desdobramento da Qualidade Demandada*

No estudo de caso, o desdobramento da qualidade demandada não foi realizado uma vez que os itens de qualidade demandada não foram levantados junto ao cliente final.

4.2.2 *Priorização da Qualidade Demandada*

Conforme dito anteriormente, no estudo de caso, a priorização da qualidade demandada não foi realizada uma vez que os itens de qualidade demandada não foram levantados junto ao

cliente final.

4.2.3 Desdobramento e identificação das características de qualidade

A identificação das características de qualidade foi feita pela equipe técnica, composta por 2 engenheiros, 3 técnicos e 4 supervisores do departamento de pintura, além de mais 3 engenheiros integrantes da empresa parceira gerenciadora de tintas e de um supervisor da área da qualidade. A identificação foi feita com base em diferentes fontes, sendo a principal um *check list* utilizado nas inspeções de qualidade finais realizadas em todas as carrocerias pintadas na planta. A elaboração deste *check list*, por sua vez, foi realizada com base em reclamações de campo, em reclamações de clientes internos, em análises de *benchmarking* e em relatórios e documentação técnica da corporação. Além dos itens mencionados, foi importante também o conhecimento técnico dos membros da equipe para a definição de características que procurassem atender às demandas de qualidade dos clientes. As principais características de qualidade indicadoras destas demandas podem ser visualizadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Características de qualidade identificadas

Característica de Qualidade	Descrição
Tonalidade	A cor da superfície pintada é avaliada através de comparação visual com padrões de cor preestabelecidos. Em alguns casos, colorímetros podem ser utilizados como ferramenta na quantificação da variação total da cor, não podendo no entanto substituir a avaliação visual.
DOI (Distinctness of image)	O DOI é uma medida da nitidez da imagem refletida sobre a superfície pintada. A avaliação pode ser feita por meio de um instrumento específico onde a escala varia de 0 (pobre) até 100 (bom).
Gloss (Brilho)	É a capacidade de reflexão direta de um feixe de luz aplicado sobre uma superfície. Quanto maior o brilho da superfície, menor a dispersão do feixe luminoso refletido e maior a intensidade deste feixe refletido. A avaliação do brilho é feita através de um aparelho onde a medição é feita sobre um feixe de luz incidente à 20° na superfície.
Mottle (Manchas)	As manchas referem-se às não uniformidades da cor da superfície pintada. É geralmente observada nas pinturas metálicas. Se todos os cristais metálicos não ficarem depositados sob o mesmo ângulo, ou sob a mesma orientação, na mesma concentração, então a superfície pode apresentar regiões aparentando “sombras” na sua extensão. As manchas são fortemente afetadas pelo método de aplicação da tinta base.
Orange peel (Casca de Laranja)	Refere-se à textura de superfícies pintadas semelhante ao aspecto de uma casca de laranja. A casca de laranja é fortemente influenciada pela molhabilidade da tinta, pelo solvente utilizado na tinta, pela pigmentação e qualquer refluxo de aditivo na tina. A avaliação pode ser feita através de uma

	comparação visual com padrões preestabelecidos ou por meio de um instrumento específico, cujas escala varia de 0 (ruim) até 10,5 (bom).
Espessura de Camada	A espessura de camada refere-se à espessura do filme de tinta depositado sobre as carrocerias. A espessura de camada total é função de uma soma algébrica da camada de ELPO, PRIMER, base e verniz e pode ser facilmente avaliada separadamente através de um instrumento de medida manual de princípio de funcionamento magnético. A espessura da camada confere proteção anti-corrosiva às carrocerias e desvios e variações ocorridas podem afetar significativamente outras características.
Escorrido	O “escorrido”, conforme o próprio nome diz, refere-se à escorrimentos de tintas ou vernizes ocorridos na superfície das carrocerias após a aplicação, antes da secagem completa destas camadas. Esta discrepância está fortemente associada a parâmetros como viscosidade e temperatura da tinta, quantidade de tinta aplicada, e temperatura e umidade das cabines de aplicação.
Aderência	A falta de aderência é considerada uma das características de maior severidade e refere-se a não aderência de uma ou mais camadas de tinta aplicadas às camadas subjacentes, caracterizando-se por descascamentos e lascamentos localizados da tinta. Em geral, a sua ocorrência está mais relacionada ao material e ao processo de secagem da tinta.
Fervido	São pequenas erupções nas camadas de tinta aplicada causadas pela evaporação dos solventes dispersos na tinta através do filme de tinta. Em camadas de filme muito espessas, o balanço de solventes da tinta (leves e pesados) e as taxas de aquecimento utilizadas na cura da pintura são importantes

	fatores que afetam a ocorrência destas bolhas.
Sujeiras	Como o próprio nome diz, as sujeiras são pequenas partículas que se grudam na superfície da unidade antes da cura da tinta, fazendo com que fiquem aderidas na pintura final. O controle é feito visualmente de acordo com um padrão mínimo de tamanho e quantidade de sujeiras preestabelecido para cada região da unidade.
Crateras	São pequenas indentações/depressões na superfície da camada de tinta que podem ou não expor as camadas mais internas. Em geral, está relacionada às contaminações do processo de pintura.
Esvelado	Entende-se como esvelado as regiões da superfície das unidades que durante uma operação de preparação com lixamento tiveram a camada de tinta removida por inteiro, fazendo com que a chapa nua da unidade apareça. Este tipo de discrepância faz com que a superfície fique desprotegida e fortemente propensa à corrosão.
Queima	A queima, como, o próprio nome diz, caracteriza-se por um aparência queimada, amarelada, relacionada principalmente com a temperatura das estufas de secagem e o tempo de permanência das carrocerias em seu interior.
Bolhas	As bolhas são pequenas erupções geradas nos cordões de massa de calafetação aplicados. Como alguns são em áreas visíveis, como é o caso da moldura das portas, este é um item crítico de aparência.
<i>Overspray</i>	O <i>overspray</i> é decorrente da pulverização e acúmulo de partículas de tinta em áreas adjacentes à área onde está sendo feita a aplicação.

Empoeirado	Esta discrepância perceptível visualmente, está associada a uma insuficiência da aplicação da tinta ou uma tinta não adequada.
Má Preparação	Apresenta-se na superfície pintada como riscos de lixa provenientes de processos anteriores de preparação e lixamento.
Má Calafetação	A má calafetação caracteriza-se por aplicação de massa de calafetação deficiente e de má aparência em áreas visíveis aos olhos do cliente e em áreas sujeitas a vazamentos e infiltrações.
Vazamentos	São avaliados pela ocorrência de infiltrações de água, onde os carros montados passam por uma cabine de vários jatos de água à alta pressão. A sua ocorrência está associada principalmente às deficiências na calafetação de áreas de junções de painéis.
Resistência à corrosão	Refere-se à resistência das carrocerias às intempéries como a chuva, o sol e a umidade. A sua avaliação é feita em testes de durabilidade em campos de prova e em testes de corrosão acelerada, além de testes de laboratório.

4.2.4 Relação da qualidade demandada com as características de qualidade

No estudo de caso, as relações da qualidade demandada com as características de qualidade não foram realizadas uma vez que os itens de qualidade demandada não foram levantados.

4.2.5 Avaliação da Severidade das características de qualidade

A avaliação da severidade da ocorrência de valores indesejados das características de qualidade foi feita com base no conhecimento técnico da criticidade e dos efeitos acarretados para o processo e para o produto. A severidade foi estimada a partir da escala apresentada na Tabela 3.1, mostrada na seção 3.1.5 desta dissertação.

4.2.6 Avaliação da Ocorrência das características de qualidade

A avaliação da ocorrência de efeitos indesejados das características de qualidade foi feita com base no conhecimento técnico e em registros históricos de inspeções e reclamações de clientes internos e externos. A ocorrência foi estimada a partir dos percentuais e índices de capacidade listados na Tabela 3.2, mostrada na seção 3.1.6 desta dissertação

4.2.7 Avaliação da Detecção das características de qualidade

A avaliação da detecção das características de qualidade foi feita pela equipe multifuncional e levou em consideração a probabilidade de detectarem-se desvios indesejáveis nas características de qualidade. A detecção foi estimada a partir da escala listada na Tabela 3.3, mostrada na seção 3.1.7 desta dissertação

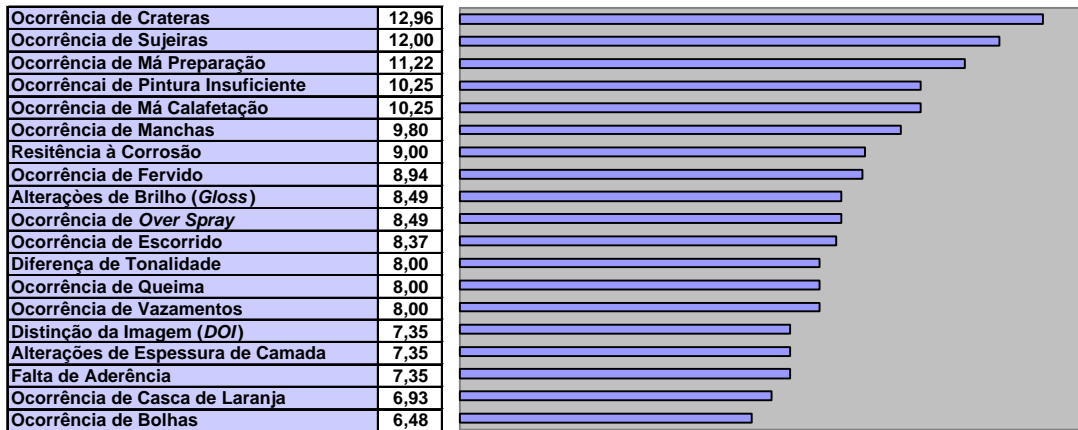
4.2.8 Priorização das Características de Qualidade

Após a identificação das características de qualidade, partiu-se para a fase de priorização destas. Nesta etapa, para cada característica de qualidade identificada, a equipe atribuiu níveis de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D). Atribuídos estes valores, determina-se o grau de importância (IP) que cada característica representa no atendimento da qualidade demandada, através da seguinte fórmula:

$$IP_j = \sqrt{S \times O \times D} \text{ eq. 4.1}$$

Os valores de severidade, ocorrência e detecção para cada característica de qualidade estão apresentados na Figura 4.2 e as características de qualidade priorizadas estão apresentadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Características de qualidade priorizadas



4.3 Matriz dos Processos

4.3.1 Desdobramento dos Processos em Etapas

Para o preenchimento da Matriz dos Processos, todo o processo de pintura automotiva foi desdobrado em etapas e seus respectivos parâmetros de processo, na ordem em que aparecem na linha de produção. As etapas e os parâmetros de processo foram organizados em uma forma lógica e listados para formar o cabeçalho das linhas da matriz. As características de qualidade, já identificadas e devidamente priorizadas na etapa anterior, formaram então o cabeçalho das colunas da matriz dos processos.

4.3.2 Relacionamento das Características de Qualidade com os Processos

Para a avaliação do relacionamento entre as características de qualidade aos parâmetros dos processos, a equipe técnica atribui pesos que relacionam a intensidade deste relacionamento, ou seja, quais parâmetros dos processos estão mais fortemente associados à construção e/ou atendimento das características listadas e os escreveu no interior da matriz. A Figura 4.2 apresenta a matriz. de processos.

qualidade pela intensidade de relacionamento entre as etapas do processo e as características de qualidade.

4.3.4 Avaliação da capacidade do processo produtivo

A avaliação da capacidade foi feita com base no conhecimento técnico e em históricos do percentual de observações de características e parâmetros do processo fora de especificações. A capacidade foi estimada a partir dos percentuais e índices de capacidade listados na Tabela 3.5, mostrada na seção 3.2.1.4 desta dissertação.

4.3.5 Avaliação do conhecimento do processo produtivo

Para a avaliação do conhecimento dos processos produtivos, a equipe técnica foi questionada sobre o seu domínio e conhecimento técnico dos processos e parâmetros envolvidos. A sinceridade e o bom senso utilizado para as avaliações foi fundamental nesta etapa. O conhecimento foi mensurado a partir da escala apresentada na Tabela 3.6, seção 3.2.1.5, onde o grau de conhecimento veio designado pela letra C.

4.3.6 Priorização dos Processos

A priorização foi realizada com base na importância, na capacidade e no conhecimento dos processos e parâmetros aferidos na etapa anterior. Os processos e parâmetros considerados mais críticos, ou seja, mais fortemente relacionados à construção das características de qualidade, foram os processos e parâmetros com maior grau de importância, menor capacidade e menor conhecimento. A Figura 4.3 apresenta um Pareto com os processos e parâmetros priorizados de acordo com o índice de importância corrigido (IP_i^*) apresentado na equação 3.5.

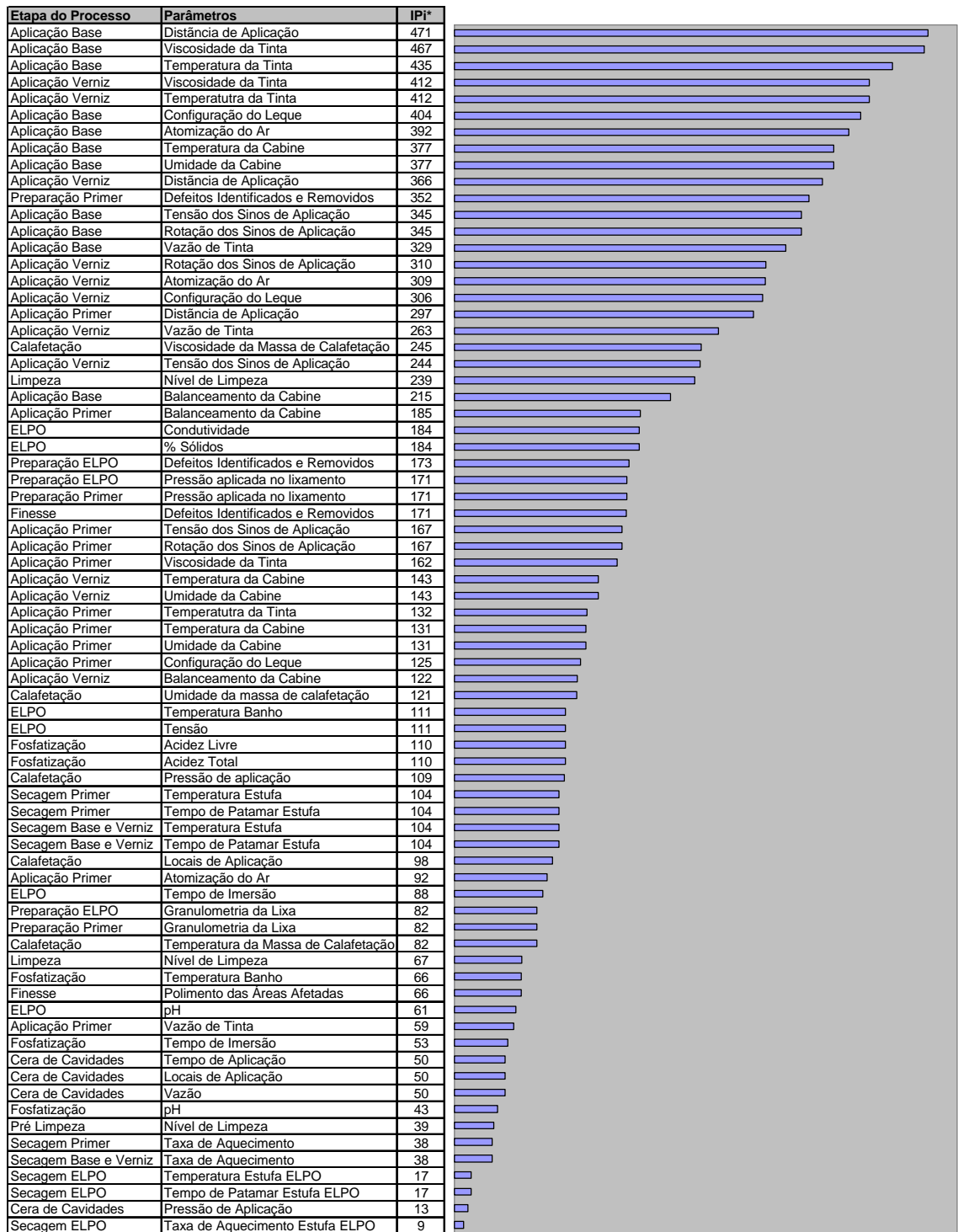


Figura 4.3 Priorização dos parâmetros de processos

4.4 Direcionamento das Ações

Após a identificação e priorização dos processos e parâmetros mais importantes, eles foram analisados quanto às possíveis ações de melhoria. A equipe técnica definiu para cada

processo ou parâmetro as ações consideradas mais apropriadas. Dentre as ações possíveis, consideraram-se a otimização dos parâmetros do processo, a padronização das tarefas, e a implantação do Controle Estatístico do Processo, ou mesmo a utilização conjunta de duas ou mais destas alternativas, aplicada por exemplo para processos de baixa capacidade e conhecimento com influência marcante na construção das características de qualidade mais importantes.

Para a definição das ações mais adequadas, a equipe baseou-se no fluxograma do modelo conceitual proposto mostrado no capítulo 3 desta dissertação. Por exemplo, a equipe entendeu que o conhecimento da magnitude e influência do parâmetro de processo viscosidade da tinta base na obtenção da característica de qualidade alastramento era insatisfatório, necessitando uma otimização. Da mesma forma, a equipe entendeu que além de padronizar as atividades relacionadas à variação do parâmetro deveria controlá-lo estatisticamente pois a capacidade do mesmo fora considerada insatisfatória.

As ações definidas mais apropriadas para os parâmetros de processo priorizados foram listadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 Ações de melhoria para processos e parâmetros

Etapa do Processo	Parâmetros	IPi*	Ações
Aplicação Base	Distância de Aplicação	471	Treinamento, Padronização
Aplicação Base	Viscosidade da Tinta	467	DOE, Padronização, CEP
Aplicação Base	Temperatura da Tinta	435	DOE, Padronização, CEP
Aplicação Verniz	Viscosidade da Tinta	412	DOE, Padronização, CEP
Aplicação Verniz	Temperatura da Tinta	412	DOE, Padronização, CEP
Aplicação Base	Configuração do Leque	404	Treinamento, Padronização
Aplicação Base	Atomização do Ar	392	Padronização
Aplicação Base	Temperatura da Cabine	377	Padronização, CEP
Aplicação Base	Umidade da Cabine	377	Padronização, CEP
Aplicação Verniz	Distância de Aplicação	366	Treinamento, Padronização
Preparação Primer	Defeitos Identificados e Removidos	352	Treinamento, Padronização
Aplicação Base	Tensão dos Sinos de Aplicação	345	Padronização
Aplicação Base	Rotação dos Sinos de Aplicação	345	Padronização
Aplicação Base	Vazão de Tinta	329	Padronização
Aplicação Verniz	Rotação dos Sinos de Aplicação	310	Padronização
Aplicação Verniz	Atomização do Ar	309	Padronização
Aplicação Verniz	Configuração do Leque	306	Treinamento, Padronização
Aplicação Primer	Distância de Aplicação	297	Treinamento, Padronização
Aplicação Verniz	Vazão de Tinta	263	Padronização
Calafetação	Viscosidade da Massa de Calafetação	245	Padronização, CEP
Aplicação Verniz	Tensão dos Sinos de Aplicação	244	Padronização
Limpeza	Nível de Limpeza	239	Treinamento, Padronização
Aplicação Base	Balanceamento da Cabine	215	Padronização
Aplicação Primer	Balanceamento da Cabine	185	Padronização
ELPO	Condutividade	184	Padronização, CEP
ELPO	% Sólidos	184	Padronização, CEP
Preparação ELPO	Defeitos Identificados e Removidos	173	Treinamento, Padronização
Preparação ELPO	Pressão aplicada no lixamento	171	Treinamento
Preparação Primer	Pressão aplicada no lixamento	171	Treinamento
Finesse	Defeitos Identificados e Removidos	171	Treinamento, Padronização
Aplicação Primer	Tensão dos Sinos de Aplicação	167	Padronização
Aplicação Primer	Rotação dos Sinos de Aplicação	167	Padronização
Aplicação Primer	Viscosidade da Tinta	162	CEP
Aplicação Verniz	Temperatura da Cabine	143	Padronização, CEP
Aplicação Verniz	Umidade da Cabine	143	Padronização, CEP
Aplicação Primer	Temperatura da Tinta	132	CEP
Aplicação Primer	Temperatura da Cabine	131	CEP
Aplicação Primer	Umidade da Cabine	131	CEP
Aplicação Primer	Configuração do Leque	125	Treinamento, Padronização
Aplicação Verniz	Balanceamento da Cabine	122	Padronização
Calafetação	Umidade da massa de calafetação	121	Padronização
ELPO	Temperatura Banho	111	Padronização
ELPO	Tensão	111	Padronização
Fosfatização	Acidez Livre	110	Padronização, CEP
Fosfatização	Acidez Total	110	Padronização
Calafetação	Pressão de aplicação	109	Treinamento, Padronização
Secagem Primer	Temperatura Estufa	104	Padronização
Secagem Primer	Tempo de Patamar Estufa	104	Padronização
Secagem Base e Verniz	Temperatura Estufa	104	Padronização
Secagem Base e Verniz	Tempo de Patamar Estufa	104	Padronização
Calafetação	Locais de Aplicação	98	Treinamento, Padronização
Aplicação Primer	Atomização do Ar	92	Padronização
ELPO	Tempo de Imersão	88	Padronização
Preparação ELPO	Granulometria da Lixa	82	Treinamento, Padronização
Preparação Primer	Granulometria da Lixa	82	Treinamento, Padronização
Calafetação	Temperatura da Massa de Calafetação	82	Padronização
Limpeza	Nível de Limpeza	67	Padronização
Fosfatização	Temperatura Banho	66	Padronização
Finesse	Polimento das Áreas Afetadas	66	Treinamento, Padronização
ELPO	pH	61	CEP
Aplicação Primer	Vazão de Tinta	59	Padronização
Fosfatização	Tempo de Imersão	53	Padronização
Cera de Cavidades	Tempo de Aplicação	50	Padronização
Cera de Cavidades	Locais de Aplicação	50	Treinamento, Padronização
Cera de Cavidades	Vazão	50	Padronização
Fosfatização	pH	43	Padronização, CEP
Pré Limpeza	Nível de Limpeza	39	Treinamento, Padronização
Secagem Primer	Taxa de Aquecimento	38	Padronização
Secagem Base e Verniz	Taxa de Aquecimento	38	Padronização
Secagem ELPO	Temperatura Estufa ELPO	17	Padronização
Secagem ELPO	Tempo de Patamar Estufa ELPO	17	Padronização
Cera de Cavidades	Pressão de Aplicação	13	Padronização
Secagem ELPO	Taxa de Aquecimento Estufa ELPO	9	Padronização

4.4.1 Otimização dos Processos

Na etapa anterior, os processos foram relacionados com as possíveis ações de melhoria. Os processos considerados mais críticos são aqueles que necessitam um melhor conhecimento dos parâmetros e dos efeitos destes parâmetros sobre as características de qualidade que atendem às demandas dos clientes. Nesta fase, o foco de atenção volta-se para os processos passíveis de otimização através do projeto de experimentos.

Como pode-se verificar na Tabela 4.3, entre os principais parâmetros de processo que

necessitam ser otimizados estão a viscosidade da tinta base, a viscosidade do verniz, a temperatura da tinta base, a temperatura do verniz, a temperatura das cabines de aplicação e a umidade relativa das cabines de aplicação. Nessa dissertação será apresentado o estudo de otimização dos parâmetros de processo viscosidade da tinta base e temperatura da tinta base com vistas à melhoria da característica de qualidade alastramento.

4.4.1.1 Identificação dos Objetivos do Experimento

Os objetivos do experimento foram definidos por meio de um *brainstorming* de uma equipe multifuncional da planta onde este estudo de caso foi realizado. Nesta oportunidade obteve-se *inputs* de todas as partes envolvidas: engenharia, garantia da qualidade, produção, *marketing*, administração, cliente e operadores. Uma clara enunciação do problema contribuiu substancialmente para um melhor entendimento do fenômeno e da solução final do problema.

Para o estudo de caso, definiu-se como objetivo estudar os parâmetros de viscosidade e temperatura de aplicação da tinta base a fim de maximizar o alastramento.

4.4.1.2 Seleção das variáveis de resposta

Na seleção da variável de resposta, procurou-se selecionar uma variável que provesse informação completa sobre o processo em estudo. Nas etapas anteriores foram definidas as características de qualidade prioritárias e essas foram associadas às etapas dos processos e seus respectivos parâmetros do processo.

As características de qualidade definidas nas etapas anteriores do QFD serviram de diretrizes para a identificação das possíveis variáveis de resposta a serem incluídas no experimento.

Tabela 4.4 Caracterização da variável resposta escolhida para a otimização experimental

Variáveis Resposta	Tipo	Alvo	Especificações	
			Min	Máx
Alastramento	maior-é-melhor	10,5	7	10,5

4.4.1.3 Escolhas dos Níveis e Fatores Controláveis

Nesta etapa, escolheram-se os parâmetros do processo priorizados para serem investigados no experimento, de agora em diante denominados fatores controláveis, sua faixa de variação e os respectivos níveis desses fatores.

Os fatores controláveis escolhidos, priorizados na matriz dos parâmetros do processo, na seção 4.1.3.6 deste trabalho, foram a temperatura e a viscosidade da tinta base aplicadas nas carrocerias. O método de medição utilizado para a viscosidade foi um cronômetro e um copo Ford N° 4 e para a temperatura foi um termômetro de contato. A definição dos níveis de cada fator controlável requereu um conhecimento aprofundado do processo, resultado de uma combinação da experiência prática e do entendimento teórico.

Como o propósito do estudo estava associado ao mapeamento e caracterização dos processos, optou-se por utilizar três níveis para os fatores controláveis. Os fatores controláveis e seus respectivos níveis estão apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 Fatores controláveis e seus respectivos níveis

Fatores Controláveis	N° de Níveis	Níveis	Unidade de Medida
Viscosidade da Tinta	3	16 21 24	Seg
Temperatura da Tinta	3	20 25 33	°C

Os parâmetros de processo priorizados, que não serão alterados no experimento, devem ser mantidos constantes. Os fatores mantidos constantes estão apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 Fatores controláveis mantidos constantes

Fatores Controláveis Constantes	Nível	Unidade de Medida
Temperatura das Cabines de Aplicação de Base	25	°C

Atomização do Ar	60	Psi
Balanceamento da cabine	Positiva	Positiva/Negativa
Vazão de Tinta	500	MI/min
Umidade Relativa das Cabines de Aplicação de Base	55	%

Os fatores tensão e rotação dos sinos de aplicação não foram considerados pois a realização dos experimentos foi feita através de aplicação manual e não automática

4.4.1.4 Definição dos fatores de ruído

Ainda nesta fase, a equipe elencou alguns fatores não-controláveis (ruído) que julgou terem efeitos sobre as variáveis de resposta, mas cujo controle é difícil ou impossível de ser realizado. Os fatores de ruído elencados aparecem na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 Fatores de ruído

Fatores de Ruído
Distância da pistola de aplicação de tinta à chapa
Configuração do leque de tinta durante a aplicação

4.4.1.5 Planejamento dos Experimentos

A escolha do projeto envolveu algumas considerações sobre número de repetições, seleção da ordem apropriada para os testes experimentais e a divisão do experimento em blocos. A definição da ordem de realização dos ensaios foi feita aleatoriamente com o uso do Software Minitab®.

Em virtude do alto custo e risco envolvido na experimentação com veículos de produção normal, optou-se por fazer os testes com corpos de prova na forma de pequenas chapas metálicas de 100mm x 300mm. Nestas chapas foram feitas as aplicações da tinta nas diferentes condições de processamento, resultantes da combinação dos diferentes níveis para cada um dos fatores escolhidos. O projeto experimental escolhido foi um 3^2 , ou seja, dois

fatores, cada um variando a três níveis. Foram realizadas quatro repetições de cada ensaio. A matriz experimental, com todos os ensaios e as respectivas medidas da variável de resposta, está apresentada na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 Matriz experimental do experimento 3²

Ordem dos Ensaio	Temperatura da Tinta (°C)	Viscosidade da Tinta (s)	Alastramento
1	33	16	6,5
2	33	21	7,6
3	33	24	7,2
4	33	21	7,5
5	20	21	7,7
6	20	16	6,8
7	20	16	6,8
8	25	16	7
9	25	16	7,2
10	20	24	7,5
11	25	21	8
12	20	16	6,9
13	25	21	7,9
14	25	24	7,8
15	20	24	7,4
16	20	24	7,4
17	33	24	7,1
18	33	24	7,2
19	25	21	8,1
20	33	21	7,5
21	20	24	7,4
22	33	21	7,6
23	20	21	7,8
24	33	16	6,4
25	20	21	7,7
26	25	16	7,1
27	33	16	6,4
28	25	21	8
29	25	24	7,7
30	20	21	7,8
31	25	24	7,9
32	25	24	7,8
33	33	16	6,3
34	25	16	7,2
35	33	24	7,2
36	20	16	6,8

4.4.1.6 Realização dos Experimentos

Durante a execução do experimento, foi fundamental monitorar o processo

cuidadosamente, para se ter certeza de que tudo estava sendo feito de acordo com o planejado, pois eventuais erros no procedimento experimental neste estágio poderiam invalidar o experimento. Os experimentos foram realizados de acordo com a matriz experimental definida na Tabela 4.8, sendo que os diferentes ensaios, com as alterações de viscosidade e temperatura da tinta base aplicada, foram feitos respectivamente através de adições de solventes na tinta e aquecimento da mesma através de lâmpadas infravermelhas.

4.4.1.7 Análise dos Dados

Os dados obtidos nos experimentos, conforme mostrados na Tabela 4.8, foram analisados com o auxílio do Software Minitab®. Foram analisados os efeitos de cada um dos fatores isoladamente e o efeito da interação entre os mesmos. A Tabela 4.9 mostra a análise de variância realizada, a partir da qual as conclusões foram feitas.

Tabela 4.9 Análise de Variância do experimento (ANOVA)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	GDL	Médias Quadradas	Teste F	F _{0,1}
Temperatura	2,1606	2	1,0803	224,37	2,51
Viscosidade	6,0956	2	3,0478	633,00	2,51
Temperatura*Viscosidade	0,0994	4	0,0249	5,16	2,17
Erro	0,1300	27	0,0048		
Total	8,4856	35			

A análise da Tabela 4.9, considerando-se um nível de significância de $\alpha = 0,90$ permitiu que se fizessem as seguintes afirmações:

- O efeito principal da viscosidade e temperatura são significativos sobre a variável de resposta alastramento.
- O efeito da interação é significativo, mas relativamente pequeno comparado aos efeitos principais da viscosidade e temperatura.

A seguir apresenta-se os gráficos dos efeitos principais e de interação.

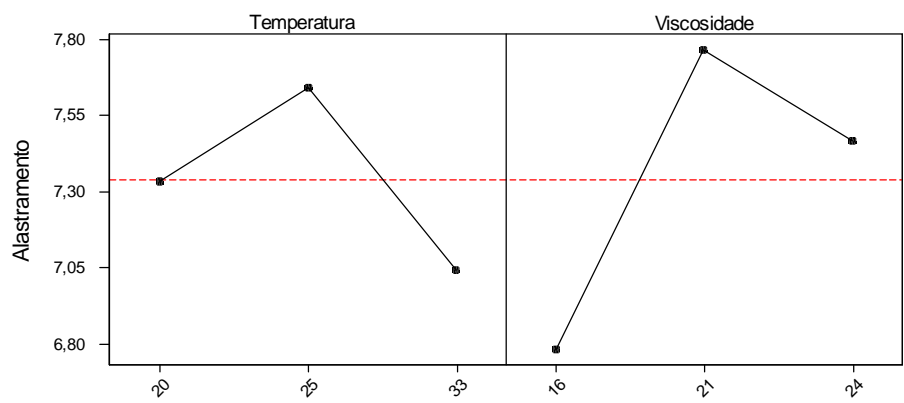


Figura 4.4 Gráfico dos efeitos principais da viscosidade e da temperatura sobre a variável de resposta alastramento

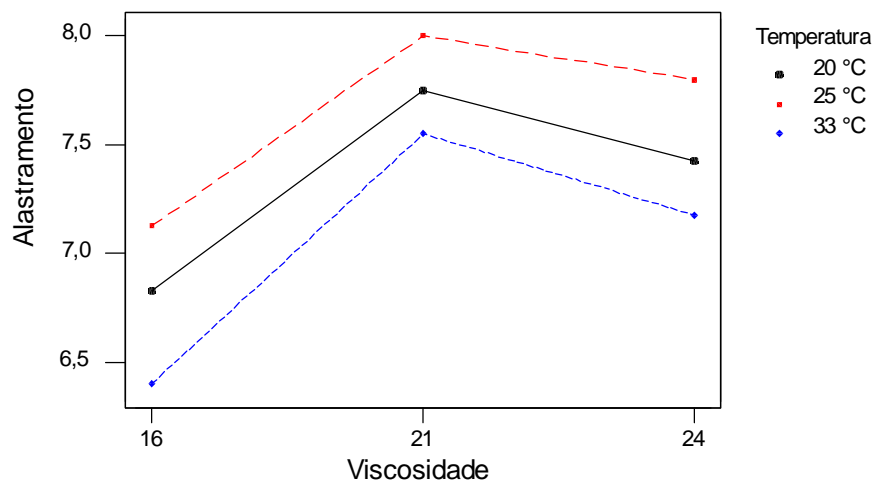


Figura 4.5 Gráfico do efeito de interação viscosidade e temperatura sobre a variável de resposta alastramento

4.4.1.8 Otimização global

Como definido na Tabela 4.4, a variável de resposta alastramento é do tipo maior-é-melhor. Em função disto o ajuste ótimo é viscosidade 21 seg e temperatura 25 °C, resultando em um valor de alastramento 8.

Em função do histórico de ocorrências de discrepâncias de alastramento nas auditorias de qualidade, optou-se por realizar a otimização com apenas esta variável de resposta. Sendo assim, não se utilizou a função de perda quadrática multivariada para realizar a otimização global considerando-se simultaneamente mais de uma variável de resposta.

4.4.1.9 Recomendações

Pode-se visualizar na Figura 4.4 e Figura 4.5 que o ajuste que maximiza a variável resposta alastramento é temperatura no nível 25°C e viscosidade no nível 21 segundos. Como recomendação, deve-se considerar a hipótese da realização de ensaios com um maior número de fatores e com mais de uma variável de resposta, o que permitiria avaliar o efeito diferenciado e em sua maioria não proporcional que alterações nos parâmetros provocariam em cada uma delas.

4.4.2 A Padronização das tarefas críticas

4.4.2.1 Instruções de Trabalho

Para os processos priorizados nas etapas anteriores, foram elaboradas instruções detalhadas de operação, que foram continuamente acompanhadas e discutidas para que a melhor seqüência de trabalho pudesse ser definida. Alguns dos principais processos para os quais foram elaboradas instruções de trabalho, de acordo com a definição feita na análise e direcionamento de ações na seção 4.4 foram o controle de umidade, temperatura e balanceamento de cabines de pintura e o controle de viscosidade e temperatura das tintas. Após elaboradas as instruções de trabalho, todos os operadores e usuários foram treinados e estas instruções passaram a fazer parte do sistema de gestão de qualidade da companhia, sendo objeto de auditoria em auditorias de certificação para a Norma ISO9000.

4.4.2.2 Planos de Controle

Para os parâmetros e processos otimizados ou com conhecimento considerado satisfatório, optou-se por utilizar o Plano de Controle como ferramenta para minimizar a variação do processo e do produto. O plano de controle consiste na listagem de parâmetros e características a serem controladas e das faixas de especificação correspondentes, determinadas em função de uma otimização, do conhecimento técnico ou mesmo de especificações de engenharia, os métodos de controle a serem utilizados e o plano de reação a ser utilizado quando do não atendimento de algum dos itens. As características de qualidade e os parâmetros de processo listados nos planos de controle para monitoramento foram os priorizados nas seções 4.2.8 e 4.3.6. A Figura 4.6 apresenta um modelo de um plano de controle utilizado para o processo de aplicação de tinta base e verniz (*Topcoat*).

Nº Item	Ponto Focador Número	Nome do Processo ou etapa do processo Máquina	Descrição/ator	Classif. Controler	Especificação Mínima				Método de Controle Registro	Plano de reação	Responsabilidade do Controler
					Especificação Tolerância Presetada Processo	Formeira de medição Método de Inspeção	Método				
							Tabela	Procedido			
		Cabines de Pintura	Temperatura	20-28 °C	Dieta	3	2x/mês	Carta X-bar - R	R.0016	Atendimento QM	
			Umidade	50 - 60%	Dieta	2	2x/mês	Carta X-bar - R	R.0016	Atendimento QM	
			Balancamento	Procedo Post-It	Barbato	-	Contínuo	-	R.0016	Atendimento QM	
		Pistolas Base/Verniz	Vazão Tinta	400-700ml/min	Processo Qm	1	1x/mês	Tabela	Análise Estatística	Postador	
			Pressão Ar	55-70PSI	Medição	1	1x/mês	Tabela	Análise Estatística	Postador	
		Estufas	Temperatura	140°C ± 5°C	Capaciti	1	1x/mês	Gráfico	PE.002	Procurar QM	
			Tempo de Estar	20-30 min	Capaciti	1	1x/mês	Gráfico	PE.002	Procurar QM	
		Máquina Sinter	Tensão	6000 ± 200V	Dieta	1000	Contínuo	Sistema	PE.021	Atendimento QM	
			Rotação	2400 ± 60 RPM	Dieta	1000	Contínuo	Sistema	PE.021	Atendimento QM	
		Controle Tintas (Paint Mix)	Temperatura Base	24 - 26°C	Termômetro	1	1 x 5	Carta X-AVI	Plano de Reação PPO	PPO	
			Temperatura Verniz	24 - 26°C	Termômetro	1	1 x 5	Carta X-AVI	Plano de Reação PPO	PPO	
			Viscosidade Base	24 - 26 cP	Copo Ford 30Cros	1	2x/mês	Carta X-AVI	Plano de Reação PPO	PPO	
			Viscosidade Verniz	22 - 24 cP	Copo Ford 40Cros	1	2x/mês	Carta X-AVI	Plano de Reação PPO	PPO	
			Tonalidade	DuPont < 0,2	Espectrofotômetro	1	1x/mês	DuPont	Plano de Reação PPO	PPO	
		Controle Camadas	Espessura (E+V+Y)	> 0,2	Medidor de Camada	5	1x/mês	Carta X-bar - R	Plano de Reação PPO	PPO	

Figura 4.6 Modelo de plano de controle para aplicação de tinta base e verniz

4.4.2.3 Gerenciamento Visual

Os Planos de Controle e as Cartas de Controle utilizadas no monitoramento dos processos foram dispostos em quadros murais, localizados junto aos postos de coleta de dados, permitindo um nivelamento e transparência do conhecimento e monitoramento dos processos. Além dos planos e cartas de controle, os quadros trazem informações importantes do

monitoramento e controle realizado em cada posto.

4.4.3 Controle Estatístico de Processos

4.4.3.1 Lançamento do Projeto

A. Definição do Escopo

O escopo geral definido para o projeto de monitoramento através do Controle Estatístico do Processo (CEP) foi o processo de pintura automotiva, sendo que os parâmetros e características a serem monitoradas foram os priorizados nas seções anteriores. Na verdade, as cartas de controle, que na empresa são denominadas *QCOS (Quality Control Operation Sheet)* já são utilizadas para monitoramento estatístico de parâmetros críticos nas áreas de funilaria e montagem, porém, isto não ocorre na área da pintura. Na funilaria, as cartas são utilizadas entre outros, para o monitoramento da tensão aplicada na execução de alguns pontos de solda durante o processo de estruturação de carrocerias. Já na área da montagem, o monitoramento é feito em parâmetros como torques em parafusos de sustentação de estruturas relacionadas com a segurança veicular.

Os principais objetivos da implantação do CEP na pintura foram: (i) melhorar os níveis de qualidade praticados pela empresa; (ii) reduzir a variabilidade apresentada pelas características de qualidade, e (iii) reduzir os custos com o retrabalho dos produtos.

Os resultados principais esperados com a implantação eram:

- Maior envolvimento e comprometimento de todos com a qualidade do processo;
- Redução dos índices de refugo e retrabalho;
- Priorização para atividades de melhoria dos processos;
- Redução na variabilidade das características de qualidade identificadas e priorizadas nas seções anteriores;

Foi estabelecido um cronograma da implantação com duração de 5 meses, que pode ser visualizado na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 Cronograma de implantação do controle estatístico de processos

ETAPAS DO PROJETO	1° MÊS	2° MÊS	3° MÊS	4° MÊS	5° MÊS	6° MÊS
LANÇAMENTO DO PROJETO						
PLANEJAMENTO DA IMPLANTAÇÃO						
TREINAMENTO EM CEP						
IMPLANTAÇÃO EFETIVA						
ACOMPANHAMENTO E CONSOLIDAÇÃO						

B. Definição da equipe de trabalho

A equipe de trabalho definida para a implantação do CEP foi constituída por engenheiros, supervisores, técnicos e operadores do setor de pintura de carrocerias e o supervisor do departamento de qualidade da montadora em que o estudo de caso foi realizado. Além destes citados, participaram da equipe os engenheiros e técnicos da empresa parceira fornecedora de tintas para o processo de pintura. Conforme a necessidade, foram convidadas pessoas externas à equipe para prestar auxílio e suporte em etapas específicas da implantação.

C. Palestra de lançamento do projeto

Para a conscientização de todos envolvidos da empresa, foi realizada uma palestra de apresentação do projeto, onde apresentou-se uma visão geral do sistema, os seus objetivos e o cronograma de implantação.

4.4.3.2 O Planejamento da Implantação do CEP

Na etapa do planejamento da implantação foi crucial a participação de todos os envolvidos na equipe. Foi nesta fase que decidiu-se os processos que deveriam ser monitorados e as formas de monitoramento a serem adotadas.

Nesta fase foram revisadas as características de qualidade de maior importância para os clientes, os processos nos quais estas características são construídas e os parâmetros de processo a serem controlados obtidos do desdobramento da qualidade e dos processos

realizados anteriormente e do direcionamento da ação de implantação do CEP. O direcionamento da ação de implantação do CEP foi feito utilizando-se como base o fluxograma do modelo conceitual proposto no capítulo 3 e as características e parâmetros a serem monitorados podem ser visualizados na Tabela 4.11.

4.4.3.3 Identificação dos postos de controle e parâmetros e características de qualidade a serem monitoradas em cada posto

Os postos de controle correspondem aos locais físicos na produção onde o CEP propriamente dito será executado. Com uma análise realizada com base na matriz de processos e na proximidade física das características e parâmetros de processo na linha de produção, a equipe técnica definiu os postos de controle e as respectivas características e parâmetros a serem monitorados com o uso das cartas de controle. Os postos de controle definidos estão apresentados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 Detalhamento dos postos de controle, características e parâmetros para monitoramento

Posto	Etapa do Processo	CARACTERÍSTICAS E PARÂMETROS DO PROCESSO
1	FOSFATIZAÇÃO	PH
		Acidez livre
2	ELPO	pH
		Condutividade
		% Sólidos
3	Calafetação	Quantidade de vazamentos por unidade
		Viscosidade da massa de calafetação
4	Aplicação de Tinta	Temperatura das cabines de aplicação
		Umidade relativa das cabines de aplicação

		Viscosidade da tinta base
		Temperatura da tinta base
		Viscosidade do verniz
		Temperatura do verniz
5	Inspeção e Polimento	Quantidade de sujeiras por painel inspecionado
		Espessura de camada
		Alastramento
		Brilho

4.4.3.4 Definição dos critérios de classificação (filtros)

Nesta etapa definiram-se os critérios a serem utilizados na identificação dos dados de qualidade do processo e do produto, permitindo que se facilite uma análise gerencial posterior das cartas de controle. Os critérios escolhidos permitem que se faça agrupamentos das características e parâmetros de qualidade de interesse. Os critérios de classificação definidos são os relativos aos campos do cabeçalho da Carta de Controle de preenchimento manual, estando os principais listados na Tabela 4.12. O critério de classificação denominado “característica”, por exemplo, representa a nome da característica de qualidade ou parâmetro de processo monitorado em cada posto e foi definido por permitir que se faça um controle de qualidade considerando-se a possibilidade de uma futura automatização do sistema com os dados sendo todos registrados em uma mesma base de dados através de terminais instalados nos diferentes postos de controle.

Tabela 4.12 Descrição dos critérios de classificação

Critério	Descrição do Critério
Critério 1	Turno

Critério 2	Operador
Critério 3	Instrumento de Medição
Critério 4	Característica

4.4.3.5 Descrição das características e parâmetros do processo

Uma vez definidos os postos de controle e as características e parâmetros a serem monitorados em cada posto, classificaram-se os itens de controle quanto à sua natureza (variável ou atributo) e o tipo de alvo (nominal-é-melhor, menor-é-melhor e maior-é-melhor). Os resultados estão apresentados na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 Definição da natureza dos itens de controle e dos critérios

Posto	Parâmetro	Natureza	Critério
1	PH FOSFATO	Variável	nominal-é-melhor
1	Acidez livre	Variável	nominal-é-melhor
2	pH ELPO	Variável	nominal-é-melhor
2	Condutividade	Variável	nominal-é-melhor
2	% Sólidos	Variável	nominal-é-melhor
3	Quantidade de vazamentos por unidade	Atributo	menor-é-melhor
3	Viscosidade da massa de calafetação	Atributo	nominal-é-melhor
4	Temperatura das cabines de aplicação	Variável	nominal-é-melhor
4	Umidade relativa das cabines de aplicação	Variável	nominal-é-melhor
4	Viscosidade da tinta base	Variável	nominal-é-melhor

4	Temperatura da tinta base	Variável	nominal-é-melhor
4	Viscosidade verniz	Variável	nominal-é-melhor
4	Temperatura verniz	Variável	nominal-é-melhor
5	Quant. de sujeiras por painel inspecionado	Atributo	menor-é-melhor
5	Espessura de Camada	Variável	nominal-é-melhor
5	Alastramento	Variável	maior-é-melhor
5	Brilho	Variável	maior-é-melhor

4.4.3.6 Definição do procedimento de coleta de dados

Nesta etapa foram definidos (i) os tipos de cartas de controle (ii) os tamanhos das amostras, (iii) as frequências de amostragens, (iv) forma de registro de dados e (v) sistema de medição. As cartas de controle utilizadas, os tamanhos das amostras e as frequências de amostragem estão apresentadas na Tabela 4.14.

Tabela 4.11 Detalhamento do monitoramento

Posto	PARÂMETRO	Tipo de Carta	Frequência de Amostragem
1	PH	Carta X-AM	1 a cada 3 horas
1	Acidez Livre	Carta X-AM	1 a cada 3 horas
2	pH	Carta X-AM	1 a cada 3 horas
2	Condutividade	Carta X-AM	1 a cada 3 horas
2	% Sólidos	Carta X-AM	1 a cada 3 horas
3	Vazamentos por unidade	Carta c	1 x turno

3	Viscosidade da massa de calafetação	Carta c	2 x turno
4	Temperatura Cabines	Carta Xbar – R	2 x turno
4	Umidade Relativa Cabines	Carta Xbar - R	2 x turno
4	Viscosidade da Tinta	Carta X-AM	2 x turno
4	Temperatura da Tinta	Carta X-AM	1 a cada hora
4	Viscosidade do verniz	Carta X-AM	2 x turno
4	Temperatura do verniz	Carta X-AM	1 a cada hora
5	Sujeiras por Painel	Carta c	1 x turno
5	Espessura de Camada	Carta Xbar - R	1 x turno
5	Alastramento	Carta Xbar - R	1 x turno
5	Brilho	Carta Xbar - R	1 x turno

Definiu-se que o registro dos dados seria feito em cartas de controle impressas em papel, localizadas em quadros murais junto aos postos de controle. No verso das cartas encontra-se o diário de bordo, onde são anotadas as alterações ocorridas nos elementos dos processos. A opção da escolha pelas cartas do tipo valores individuais e médias móveis para a maioria dos itens a serem monitorados levou em consideração fatores como o tempo e o custo para a realização das amostragens. Para tanto, para cada característica a ser monitorada, fez-se uma avaliação do tipo de distribuição dos valores e a sua adequação ao modelo Normal, garantindo desta forma a adoção das cartas de controle de valores individuais. Como exemplo, a Figura 4.7 apresenta o papel de probabilidade normal utilizado na avaliação da adequação da distribuição da variável viscosidade da tinta base à distribuição Normal.

Papel de Probabilidade Normal

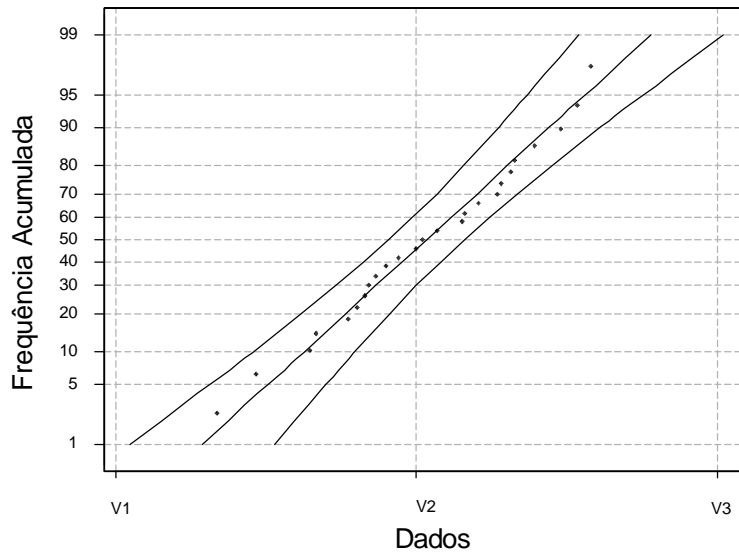


Figura 4.7 Papel de probabilidade para a distribuição da variável viscosidade da tinta base

4.4.3.7 Avaliação do Sistema de Medição

Decidiu-se executar a avaliação do sistema de medição de cada característica e parâmetro a ser monitorado. A avaliação foi sendo executada conforme a implementação do monitoramento de cada característica e parâmetro. Entre as características a serem monitoradas, o alastramento teve seu sistema de medição avaliado inicialmente. A análise foi realizada avaliando-se dez (10) diferentes amostras. Cada amostra foi avaliada por 3 técnicos, sendo que cada uma foi medida duas vezes por cada um deles. Concluiu-se, em virtude dos resultados das avaliações que o sistema de medição utilizado na empresa para medição do alastramento é eficiente na classificação de peças dentro e fora de especificação e capaz de identificar várias categorias. A Figura 4.8 apresenta os resultados da análise do sistema de medição utilizado na avaliação do alastramento.

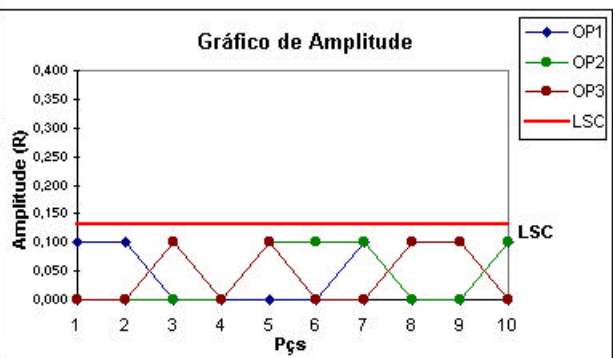
R&R Nº :	01/00
ÁREA:	Pintura
DESCRIÇÃO DO INSTRUMENTO:(mm)	Medidor de Alastramento de Pintura
RESOLUÇÃO :	0,1
ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO:	Wave Scan Plus
AMPLITUDE DA TOLERÂNCIA	1

MÉTODO COMPLETO

AVALIADOR	PEÇA										MÉDIA
Rubens	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	7,50	7,50	7,40	7,50	7,50	7,60	7,50	7,50	7,60	7,60	7,52
2	7,40	7,60	7,40	7,50	7,50	7,60	7,40	7,50	7,60	7,50	7,50
MÉDIA	7,45	7,55	7,40	7,50	7,50	7,60	7,45	7,50	7,60	7,55	7,51
AMPLITUDE	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,10	0,04
Cristiane											
1	7,50	7,60	7,40	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,60	7,60	7,52
2	7,50	7,60	7,40	7,50	7,60	7,60	7,40	7,50	7,60	7,50	7,52
MÉDIA	7,50	7,60	7,40	7,50	7,55	7,55	7,45	7,50	7,60	7,55	7,52
AMPLITUDE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,10	0,04
Felipe											
1	7,50	7,60	7,40	7,50	7,50	7,60	7,50	7,50	7,60	7,60	7,53
2	7,50	7,60	7,50	7,50	7,60	7,60	7,50	7,60	7,50	7,60	7,55
MÉDIA	7,50	7,60	7,45	7,50	7,55	7,60	7,50	7,55	7,55	7,60	7,54
AMPLITUDE	0,00	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,00	0,10	0,10	0,00	0,04
(RP)	7,48	7,58	7,42	7,50	7,53	7,58	7,47	7,52	7,58	7,57	0,17

AMPLITUDE MÉDIA	0,04
X DIF	0,03
LSC R	0,13
LIC R	0,00

Análise da Unidade Medição	
REPETITIVIDADE	0,18
REPRODUTIBILIDADE	0,07
R & R	0,20
VARIAÇÃO DA PEÇA	0,27
VARIAÇÃO TOTAL	0,33



% da em Relação à tolerância	R = (Ra + Rb + Rc) / nº OP	VE = K ₁ x R	%VP = 100 [VP/ VT]
REPETITIVIDADE	18,24	X _{diff} = (Max. X) - (Min. X)	VO = √[(X _{diff} x K ₂) ² - (VE ² /n.r)]
REPRODUTIBILIDADE	7,00	R _p = Max. (X) - Min. (X)	R&R = √[VE ² + VO ²]
R & R	19,54	LSC = D ₄ x R	% VO = 100 [VO/TOL]
% VARIAÇÃO DA PEÇA	81,02	LIC = D ₃ x R	% VE = 100 [VE/TOL]
SISTEMA APROVADO		VP = R _p x K ₃	R&R = 100 [R&R / TOL]

Figura 4.8 Análise do sistema de medição de alastramento realizada

4.4.3.8 Definição das responsabilidades

A responsabilidade do preenchimento de cada uma das cartas foi definida, ficando à cargo dos operadores dos postos de controle identificados e dos técnicos e engenheiros da empresa gerenciadora de tintas, que também são os responsáveis pela tomada das ações corretivas em caso de anormalidades no processo. Quando aparecer uma causa especial nas

cartas de controle, os operadores ou responsáveis pelo preenchimento devem atuar o quanto antes e registrar as ações corretivas no diário de bordo. As ações corretivas para causas comuns são de responsabilidade da equipe de controle de processos de pintura juntamente com o grupo técnico da empresa gerenciadora de tintas. A responsabilidade do cálculo dos limites de controle e dos estudos de capacidade ficou a cargo da equipe de controle de processos de pintura, que armazena os registros e periodicamente recalcula os limites e a capacidade de cada processo

4.4.3.9 Definição da documentação necessária

Nesta etapa, definiu-se a documentação e registros a serem utilizados no monitoramento. As cartas de controle a serem utilizadas foram impressas em papel, sendo que o verso de cada uma apresenta o diário de bordo onde as ocorrências de causas especiais e anomalias são registradas. Além disso, para as causas especiais recorrentes, definiu-se por utilizar para registro um formulário integrante do método de análise e solução de problemas utilizado na empresa. Além dos registros em papel citados, o registro e a análise de capacidade dos processos é feito em uma planilha de cálculo construída no *software* Excel.

A Figura 4.9 apresenta um modelo da carta de controle impressa em papel utilizada.

quando da ocorrência de desvios e tendências (causas especiais) nos processos.

4.4.3.11 Implantação Efetiva do CEP

A implantação efetiva compreendeu as seguintes etapas:

a) Início do monitoramento

Nesta etapa definiu-se a data para o início da coleta de dados a serem utilizados no controle estatístico de processos. Além da data, foram definidos dentre os processos priorizados, os que deveriam primeiramente ser monitorados, uma vez que a implantação é um processo de melhoria contínua com recursos limitados, sendo que os aperfeiçoamentos devem ser introduzidos ao longo do tempo. Inicialmente, optou-se pelo monitoramento da viscosidade e temperatura das tintas e vernizes, em função da priorização e otimização descrita nas seções anteriores.

b) Cálculo da linha central e dos limites de controle

O cálculo das linhas centrais e dos limites de controle inicial foram feitos tão logo as primeiras cartas de controle foram preenchidas, quando então foram adicionados às mesmas, juntamente com a data em que foram calculados. No caso da existência de causas especiais, estas são desconsideradas no momento do cálculo. O recálculo dos limites de controle é feito periodicamente, geralmente uma vez por mês ou conforme necessidade.

4.4.3.12 Estudos de Estabilidade e Capacidade

No acompanhamento foi feita uma avaliação geral da implantação do CEP, permitindo o planejamento de melhorias futuras no sistema. As etapas foram as seguintes:

a) Análise de Estabilidade

A análise de estabilidade dos processos monitorados pelo CEP é feita nos próprios postos de controle pelos responsáveis pelo preenchimento das cartas, que foram previamente treinados na identificação de causas comuns e especiais e instruídos das ações corretivas a serem tomadas quando da ocorrência de causas especiais.

Os limites e linhas centrais são calculados e recalculados desconsiderando-se as causas especiais. Os limites de controle calculados baseados apenas nas causas comuns são usados

para o monitoramento futuro do processo.

Como exemplo, as Figuras 4.10 e 4.11 apresentam respectivamente as cartas de controle para valores individuais e amplitudes móveis da viscosidade da tinta base e temperatura do verniz.

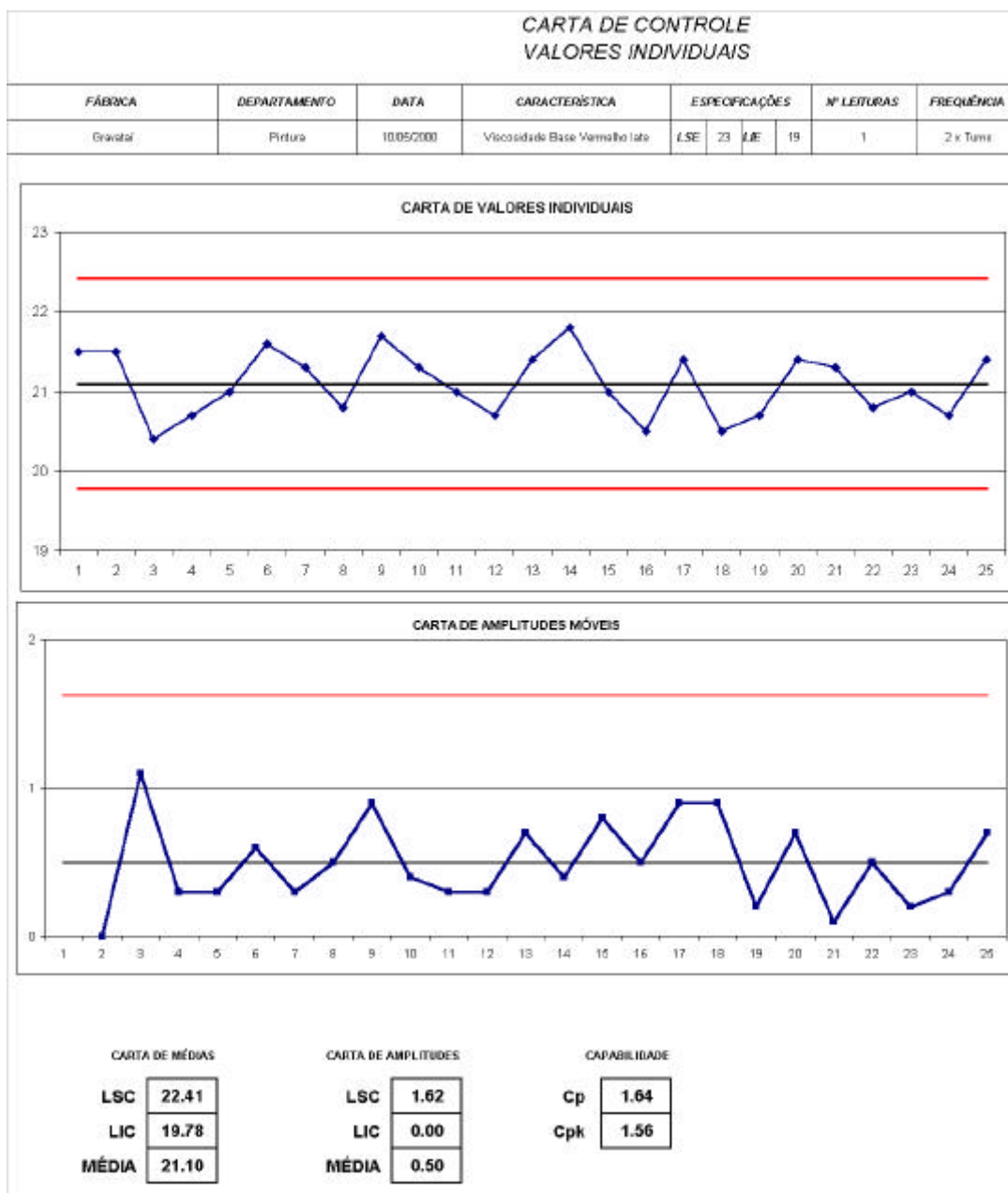


Figura 4.10 Carta de controle para a viscosidade da tinta base vermelho iate

Como pode verificar-se na Figura 4.10, o processo de controle da viscosidade da tinta base é estável, ou seja, não apresenta causas especiais. Um processo sendo estável, é previsível ao longo do tempo e com isso pode-se avaliar a sua capacidade de produzir peças conforme as especificações.

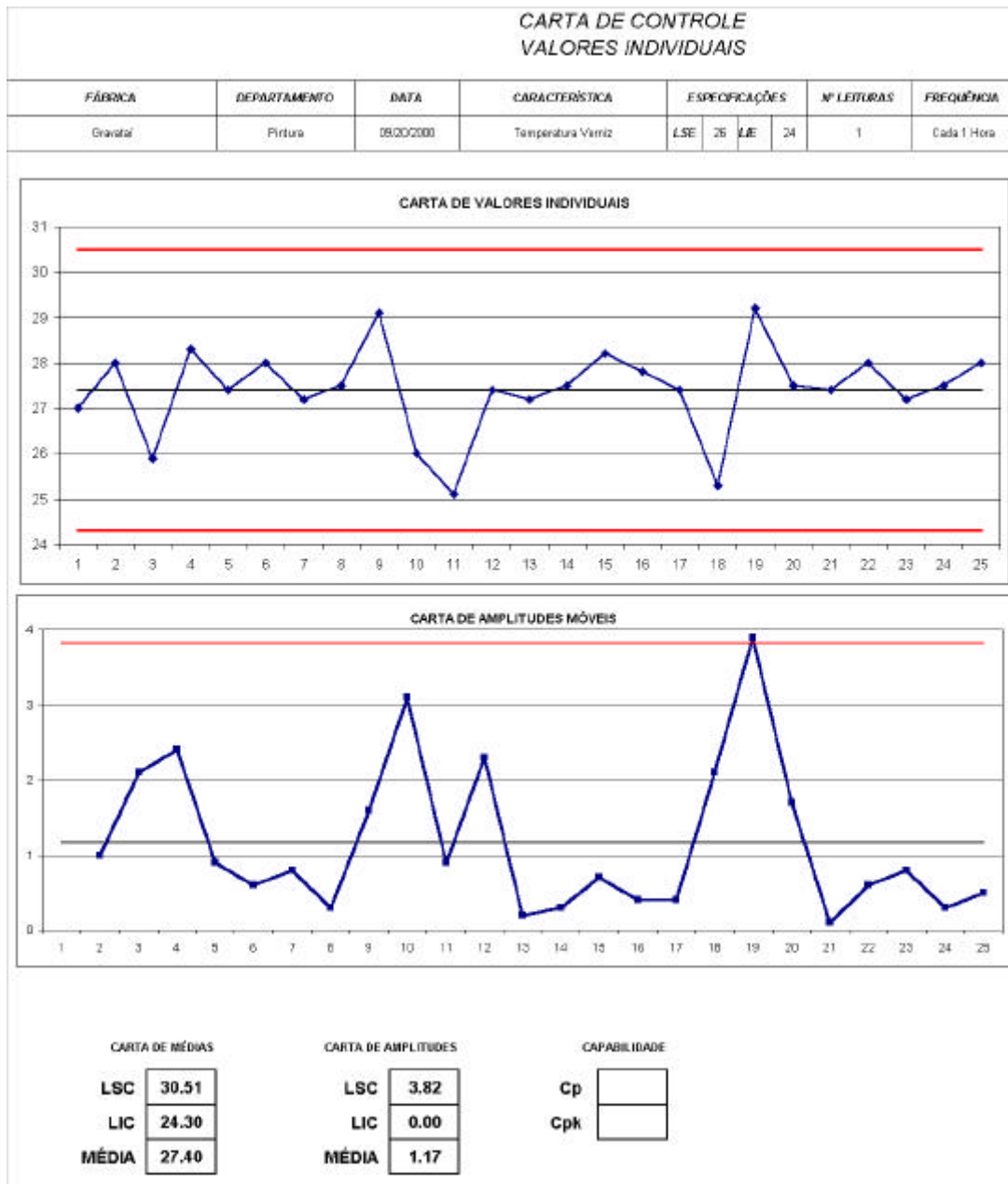


Figura 4.11 Carta de controle para a temperatura do verniz

Como pode-se verificar na Figura 4.11, o processo de controle de temperatura do

verniz não está sob controle estatístico, portanto a capacidade não pode ser determinada. Além disso, a média do processo encontra-se deslocada para valores acima do limite superior de especificação, denotando uma descentralização do processo. O desvio da média em relação ao alvo e a instabilidade da temperatura do verniz representa um problema crítico para a pintura de carrocerias, sobretudo no verão. A temperatura elevada aumenta a incidência de escorridos e casca de laranja, fazendo com que as unidades tenham que ser retrabalhadas. Para prevenir a ocorrência destas discrepâncias, através da redução da temperatura média do verniz e a diminuição da instabilidade observada são necessários investimentos consideráveis em equipamentos. Como ações como esta demandam custo e tempo, foram definidas ações de contenção até que a solução definitiva seja implantada. Uma das principais ações de contenção definidas foi a aditivação química do verniz para permitir uma boa aplicação mesmo com temperaturas mais elevadas, permitindo um alargamento da faixa de trabalho e um deslocamento do alvo para cima, junto ao limite de especificação superior de 26°C. Várias outras ações relacionadas a aplicação do verniz propriamente dita também foram tomadas e a redução da ocorrência das discrepâncias citadas reduziu para menos da metade nas inspeções realizadas pelo setor de qualidade, que utiliza como índice de avaliação o número médio de discrepâncias por veículo.

b) Análise da Capacidade

A análise da capacidade dos processos monitorados com CEP é realizada em períodos predeterminados pela equipe de controle de processos de pintura. A equipe digita os dados coletados nas cartas de controle em uma planilha eletrônica de cálculo elaborada em *Excel* que analisa as tendências e os índices de capacidade dos processos. Através das análises feitas, a equipe, com o consentimento da gerência, define as ações gerenciais que devem ser tomadas sobre os processos.

A Figura 4.10 apresenta os resultados obtidos no estudo de capacidade do parâmetro viscosidade da tinta base, com dados coletados referentes à cor vermelho iate. Como pode-se verificar, o processo apresenta um C_{pk} de 1,56, ou seja, está acima do limite definido de 1,33 para ser considerado capaz. Conforme já mencionado, o estudo de capacidade da temperatura do verniz não foi realizado em função do processo não estar sob controle estatístico.

4.4.3.13 Avaliação da sistemática de ação

Nesta etapa fez-se uma análise e aprimoramento do sistema de controle de processos implantado, onde foi feita uma verificação no sistema de coleta de dados, ou seja, nos processos monitorados, nos tamanhos e frequências de amostragens, nos responsáveis pela coleta nos registros e nas ações de melhoria possíveis.

Dentre as alterações realizadas, a principal diz respeito às ações de melhoria, onde para cada tipo de causa especial assinalada, têm-se uma ação bem definida e estruturada, permitindo agilidade na resolução de problemas e na diminuição da variabilidade dos processos. Além disso, definiu-se os próximos processos a serem monitorados.

5 COMENTÁRIOS FINAIS

5.1 *Conclusões*

Esta dissertação apresentou um modelo conceitual para a estabilização de processos e a sua aplicação prática num estudo de caso no setor de pintura automotiva.

O modelo proposto apresenta as seguintes etapas: a primeira etapa consiste na obtenção da voz do cliente, geralmente obtida através de uma pesquisa de mercado. A segunda etapa consiste no desdobramento destas expectativas em requisitos técnicos de qualidade através da utilização da Matriz da Qualidade. Um vez identificadas e priorizadas as principais características de qualidade, a próxima etapa consiste em identificar quais processos e respectivos parâmetros são os maiores responsáveis pela construção destas características, o que é feito através da Matriz de Processos. Desde que os os principais parâmetros de processo sejam conhecidos e devidamente priorizados, parte-se para a próxima etapa que é o direcionamento das ações que serão tomadas para cada parâmetro ou processo. O direcionamento das ações é apresentado na forma de perguntas lógicas sobre o conhecimento, a padronização e a estabilidade dos processos. Para processos com pouco conhecimento, a metodologia sugere a otimização experimental. Para processos não padronizados, sugere-se a criação de instruções de trabalho, planos de controle e ferramentas de auxílio visual. Para processos instáveis e incapazes, sugere-se a implantação do controle estatístico de processos.

O modelo proposto, com a integração e a utilização conjunta de algumas matrizes do QFD, projeto de experimentos, padronização, controle estatístico do processo e outras ferramentas de qualidade, permitiu desmistificar um caminho mais lógico e estruturado para a estabilização de processos.

O modelo foi aplicado parcialmente ao processo de pintura automotiva de uma grande montadora de veículos automotivos, e permitiu que além do processo, também os envolvidos tivessem benefícios, uma vez que houve uma grande troca de informações e conhecimento entre todos.

O modelo mostrou-se válido na medida em que, através de um fluxo lógico permitiu que fossem identificadas as características importantes sob o ponto de vista do cliente e que o trabalho de otimização, padronização e monitoramento realizado tenha sido aplicado de forma completa nos processos e parâmetros realmente influentes na construção destas características.

Com o estudo de caso, procurou-se validar o modelo em um processo real e complexo de manufatura. Através do estudo, a equipe toda pôde aperfeiçoar o conhecimento do processo, identificando quais são as variáveis que realmente interferem na qualidade do produto, permitindo uma otimização na utilização de tempo e de recursos, através do redirecionamento de sua aplicação.

O modelo conceitual proposto, apesar de lógico e esclarecido, requer um conhecimento razoável das técnicas e ferramentas utilizadas como *QFD*, *DOE* e *CEP*, podendo parecer de certa forma de difícil aplicação. Contudo, esta compreensão global torna-se fundamental no âmbito de um mercado globalizado e extremamente exigente, que cada vez mais valoriza aqueles que diferenciam-se pela qualificação e pela capacidade de gerar resultados. De fato, a compreensão destes conceitos não precisa ser total e difundida a todos, mas, cada um, na sua função deve pelo menos saber claramente quais são as suas responsabilidades e de que forma o seu trabalho afeta as dimensões da qualidade que os clientes consideram mais importantes.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

A proposição deste trabalho, já mencionada em capítulos anteriores, foi acima de tudo descrever e detalhar um modelo conceitual que pudesse ser aplicado visando a estabilização de processo.

A validação do modelo através do estudo de caso permitiu identificar alguns pontos que poderiam constituir melhorias para trabalhos futuros, como por exemplo, a abordagem de custos, que poderia ser contemplada em uma matriz do QFD e a utilização do “Seis Sigma” como parte integrante do fluxograma do modelo.

O desenvolvimento e a utilização do modelo conceitual completo, tal qual descrita no capítulo 3, além de complexo, requer a utilização de uma quantidade razoável de recursos. Justamente por estas razões, o modelo conceitual foi aplicado parcialmente no estudo de caso, fazendo com que os itens não abordados ou não concluídos ficassem como proposta e sugestão para trabalhos futuros.

Sugere-se entre outros, que os aspectos não abordados neste estudo de caso possam ser considerados. Por exemplo, sugere-se a realização de uma pesquisa extensiva de mercado externo procurando avaliar se as necessidades de qualidade identificadas no estudo de caso estão atualizadas e realmente condizem com os anseios do mercado atual, visto que, conforme descrito no capítulo 4, estas necessidades foram identificadas tomando-se por base os itens relacionados em um *Check List* utilizado na auditoria e inspeção de veículos dentro da própria montadora.

Para a etapa do estudo de otimização e aplicação do Projeto de Experimentos sugere-se a experimentação de um número maior de fatores ao longo de um número maior de níveis, permitindo uma otimização ainda maior dos parâmetros priorizados durante o Desdobramento dos Processos.

Por fim, propõe-se a finalização da implantação das ações direcionadas nos demais itens priorizados e a avaliação dos resultados práticos da sua implantação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAO, Yoji. Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design. Cambridge, USA., Productivity, 1990.
- AKAO, Yoji. Introdução ao Desdobramento da Qualidade. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni; Escola de Engenharia da UFMG, 1996.
- CAMPOS, Vicente F., Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-Dia. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni; Escola de Engenharia da UFMG, 1992.
- CATEN, C.S. Método de otimização de produtos e processos medidos por múltiplas características de qualidade. Porto Alegre, 1995, 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.
- CATEN, C.S., RIBEIRO, J.L.D. & FOGLIATTO, F.S., Implantação do controle integrado de processos. Revista Produto & Produção, Vol. 4, No. 1, fevereiro, 2000, pg. 22-39.
- CHENG, L. C. et al. QFD: Planejamento da Qualidade. Belo Horizonte: QFCO, 1995
- COFFEY, F, LAYDEN, J. America On Wheels – The First 100 Years: 1896 – 1996. Los Angeles: General Publishing Group, 1996.
- COHEN, Lou. Quality Function Deployment – How to Make QFD Work for You. Massachussets: Addison-Wesley Longman, Inc, 1995.
- DEMING, W.E., Qualidade: A Revolução na Administração. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.
- ECHEVESTRE, M. E. S., Planejamento da Otimização Experimental de Processos Industriais – Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.
- ERMER, D. S. Using QFD Becomes na Educational Experience for Students and Faculty. Quality Progress, may, 1995. p. 131 - 136.

- EUREKA, W.E., RYAN, N. E. QFD – Perspectivas Gerenciais do Desdobramento da Função Qualidade. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1993. 105 p.
- FEINGENBAUM, A.V. Total Quality Control – Engineering and Management. McGraw-Hill Book Co.
- FINE, E.S. Use Variables Charting for Proactive Controls, Huntsville: Quality Magazine, 1997.
- FORTUNA, R. M. Beyond Quality: Taking SPS Upstream. Quality Progress, v. 21, n. 6, p., 1988.
- HAHN, G.J., Some Things Engineers Should Know About Experimental Design. Journal of Quality Technology, v. 9, n. 1, p. 13-20, 1977.
- HAVENER, C. Improving the Quality of Quality. Quality Progress, Milwaukee, p.41-44, nov., 1993.
- HRADESKY, J.L. Productivity & Quality Improvement – A Practical Guide to Implement Productivity and Quality Improvement. New York: McGraw-Hill, 1988.
- KOTER, Philip. Administração de Marketing: Análise, Planejamento e Controle. São Paulo: Atlas, 1981.
- LEITE, Luiz Aurélio. FMEA, Plano de Controle, Plano de Reação. São Paulo: PSQuality, Apostila de Curso, 1997.
- LUCAS, M.J., How to Achieve a Robust Process Using Response Surface Methodology. Journal of Quality Technology, v. 26, n. 4, p. 248-260, 1994.
- MIZUNO, Shigeru. Management For Quality Improvement: The Seven New QC Tools.. Productivity, 1988.
- MIZUNO, S., AKAO, Y. QFD – The Customer Driven Approach to Quality Planning and Design. Tokyo: Asian Productivity Organization, 1994, 365 p.
- MONTGOMERY, D.C., Design and Analysis of Experiments. Arizona: Courier Companies, 1991.
- MONTGOMERY, D.C., Statistical Quality Control. Arizona: Courier Companies, 1985.

- MONTGOMERY, D.C. e PECK, E.A., Introduction to Linear Regression Analysis. New York: John Wiley and Sons, 2ed. 1991.
- MOTA, E. V. O Desdobramento da Qualidade em Hospitais. Dissertação de Mestrado - PPGEP/UFRGS. Porto Alegre, 1996.
- MYERS, R.H., KHURI, A.I. & CARTER, W.H.C., Response Surface Methodology: 1966-1988. Technometrics, v. 31, n. 2, p. 137-157, 1989.
- PAESE, Cíntia., Estudo de uma Metodologia de Estabilização de Processos – Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.
- PASSETO, S e ECHEVESTE. M.E. e RIBEIRO, J.L.D. - Desdobramento da Qualidade em serviços: Estudo de caso numa academia de ginástica. Anais do I Congresso Brasileiro de Desenvolvimento de Produto. UFMG, Belo Horizonte, MG, Agosto de 1999.
- PIRES, V. T., Implantação do Controle Estatístico do Processo em uma Empresa de Manufatura de Óleo de Arroz – Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.
- PFANSTIEHL, John., Automotive Paint Handbook. New York: HPBooks, 1998.
- QS-9000, Requisitos do Sistema da Qualidade – Manual de Referência. Chrysler Corporation, Ford Motor Company e General Motors Corporation. Edição brasileira, 1997.
- QUENOUILLE, M.H. The Design and Analysis of Experiment. London: Charles Griffin, 1953. 356 p.
- RIBEIRO, J.L. e CATEN, C.T., Controle Estatístico de Processos – Apostila de Curso. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Porto Alegre: UFRGS, 2000.
- RIBEIRO, J.L. e CATEN, C.T., Projeto de Experimentos – Apostila de Curso. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Porto Alegre: UFRGS, 2000.
- RIBEIRO, J.L., ECHEVESTE, M.E. A aplicação do projeto de experimentos do ambiente QFD. Porto Alegre: programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/UFRGS, 1994. 20 p. Caderno Técnico 03/94.

- RIBEIRO, J.L., ECHEVESTE, M., DANILEVICZ, A.M.F., Desdobramento da Função Qualidade – Apostila de Curso. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia – Porto Alegre: UFRGS, 2000.
- RIBEIRO, J.L. e ELSAYED, E. A., A Gradient Loss Function For Process Optimization. IE Working Paper, p. 1-23, Department of Industrial Engineering, Rutgers University, USA, 1993.
- RIBEIRO, J.L.D., FOGLIATTO, F.S. & CATEN, C.S., - Minimizing Manufacturing and Quality Costs in Multiresponse Optimization. Quality Engineering 13(2) pp 191-201, 2000, published by Marcel Dekker, Inc.
- ROSS, P.J. The Role of Taguchi Methods and Design of Experiments in QFD. Quality Progress, (LOCAL), V. 21, N.6, P41-47, JUNE 1988.
- SIQUEIRA, Luiz G. P., Controle Estatístico do Processo. São Paulo: Griffo, 1997.
- SJOBLOM, L. Quality Control by Prevention: A Field Study of na SPC and DOE Implementation. IMD Lausanne – Switzerland: Marcel Dekker, 1996.
- VICK Jr., J.E., Design for Experiments and the Waste of Subjectivity. Industrial Engineering, p. 58-61, Nov, 1992.
- WERKEMA, M.C.C, AGUIAR, S. Planejamento e Análise de Experimentos: Como Identificar as Principais Variáveis Influentes em um Processo. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni; Escola de Engenharia da UFMG, 1996.
- WERKEMA, M.C.C. Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni; Escola de Engenharia da UFMG, 1995.