

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

**IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS EM UMA
EMPRESA DE BEBIDAS**

Giselle Ribeiro de Souza

Porto Alegre, 2002

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

**IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS EM UMA
EMPRESA DE BEBIDAS**

Giselle Ribeiro de Souza

Orientador: Professor Dr. Flávio Sanson Fogliatto, PhD

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Luis Ribeiro

Prof. Dra. Carla ten Caten

Profa. Dra. Simone Hickmann Flôres

Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia – modalidade Profissionalizante – Ênfase em Qualidade e Desenvolvimento de Produtos e Processos

Porto Alegre, 2002

Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de mestre em ENGENHARIA e aprovada 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. Flávio Sanson Fogliatto

Orientador

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

Prof. Dr. José Luis Ribeiro

PPGEP/UFRGS

Prof. Dra. Carla ten Caten

PPGEP/UFRGS

Prof. Dra. Simone Hickmann Flôres

ICTA/UFRGS

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho à direção e funcionários da empresa Allied Domecq, pelo apoio e dedicação aos trabalhos realizados, sem os quais este trabalho não se concretizaria. Agradeço imensamente ao meu orientador Flávio Sanson Fogiatto pelos conhecimentos compartilhados que contribuíram de forma significativa à realização deste trabalho. E, ao meu amigo e marido, obrigada.

RESUMO

Esta dissertação tem por finalidade principal verificar a viabilidade de implantação do método de controle integrado de atributos da qualidade. O objetivo secundário baseia-se em uma revisão na bibliografia do controle estatístico do processo, em especial as cartas de controle tradicionais e a carta de controle integrado do processo. A carta de controle integrado do processo é aplicável em processos contínuos e intermitentes de manufatura onde existem vários atributos independentes a serem monitorados. A partir de um posto de trabalho definido em uma linha de produção, o monitoramento, visando o controle e a garantia da qualidade, é realizado através de uma única carta de controle que engloba todas as características de qualidade pertinentes ao processo. Utilizando-se de um gráfico de Pareto, obtém-se a hierarquização das características de qualidade, podendo-se atuar sobre aquelas que mais contribuem para o percentual de defeituosos. Desta forma, é possível diagnosticar e solucionar problemas de qualidade tendo como alvo a melhoria contínua do processo. A principal vantagem desta carta está na simplicidade do controle integrado por apresentar em uma única carta uma visão geral da condição da qualidade. A demonstração da aplicabilidade da carta de controle integrado do processo é feita através do estudo de caso em uma empresa de bebidas alcoólicas. O processo estudado é a rotulagem de duas bebidas alcoólicas que apresentam 10 características de qualidades, e destas se desdobram 29 tipos de defeitos. Todos estes defeitos são monitorados por uma carta de controle integrado do processo. Em um dos processos, se verifica através do gráfico de Pareto que dos 29 tipos de defeitos, 2 são responsáveis pela instabilidade do mesmo. Pode-se, então, atuar sobre estes defeitos e, portanto, melhorar este processo. Sempre que houver uma causa especial anômala ao processo, a carta indicará sua presença, e dará uma base sólida para a tomada de decisão de uma ação corretiva.

Palavras chave: Bebidas, Controle Estatístico de Processos, Qualidade

ABSTRACT

This dissertation has for main purpose verify the applicability of the integrated quality control for attributes. The second objective is a walk through in the bibliography of the statistical process control, in special the traditional control charts and the integrated quality control. The integrated quality control is applicable in continuous processes of manufacture where several independent attributes exist to be monitored. From a control station defined in a production line, the investigations of the process, aiming at the control and the guarantee of the quality, is carried through an only control chart that aggregated all the pertinent quality characteristics of the process. Using a graph of Pareto, it is gotten a rank of the quality characteristics, given support to act on that characteristic that contribute the most for the percentage of non-conformities. Consequently, it is possible to diagnosis and to solve quality problems having as a target the continuous improvement of the process. The main advantage of this chart is in the simplicity of the integrated quality control for presenting in an only chart a general vision of the condition of the quality. The demonstration of the applicability of the integrated quality control of the process is made through the study of case in an alcoholic beverage company. The studied process is the labeling process of two alcoholic beverages that present 10 quality characteristics, and these if they unfold 29 types of defects. A chart of integrated quality control of the process monitors all these defects. In one of these examples studied, it verifies through the graph of Pareto that of the 29 types of defects, 2 are responsible for the process instability. It gives a possibility to act on these defects, and therefore, to improve this process. Whenever an anomalous special cause to the process appears, the chart will signal its presence, and will give a solid base for a decision-making of a corrective action.

Key Words: Alcoholic Beverage, Quality, Statistical Process Control

SUMÁRIO

<u>RESUMO</u>	4
<u>ABSTRACT</u>	5
<u>SUMÁRIO</u>	6
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	8
<u>LISTA DE TABELAS</u>	9
<u>1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS</u>	10
<u>1.1 INTRODUÇÃO</u>	10
<u>1.2 TEMA E JUSTIFICATIVA</u>	11
<u>1.3 OBJETIVO</u>	12
<u>1.4 MÉTODO DE PESQUISA</u>	13
<u>1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA</u>	14
<u>1.6 LIMITAÇÕES DA PESQUISA</u>	14
<u>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	15
<u>2.1 QUALIDADE</u>	15
<u>2.2 INTRODUÇÃO AO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO</u>	18
<u>2.2.1 Coleta e Organização dos dados</u>	19
<u>2.2.2 Apresentação e Análise dos dados coletados</u>	20
<u>2.2.2.1 Fluxograma</u>	21
<u>2.2.2.2 Gráfico de Pareto</u>	22
<u>2.2.2.3 Diagrama de causa e efeito</u>	23
<u>2.2.2.4 Histograma</u>	24
<u>2.2.2.5 Diagrama de dispersão</u>	25
<u>2.2.2.6 Cartas ou gráficos de controle</u>	25
<u>2.2.2.7 Estudo da capacidade do processo</u>	27
<u>2.2.2.8 Plano de aceitação de amostras</u>	27
<u>2.2.3 Análise das possíveis causas de variação</u>	28
<u>2.2.4 Análise da estabilidade do processo</u>	28
<u>2.2.5 Análise da capacidade do processo</u>	29
<u>2.3 CARTAS DE CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO</u>	29
<u>2.3.1 Cartas de controle estatístico por variáveis</u>	31
<u>2.3.1.1 Distribuição das variáveis aleatórias contínuas</u>	31
<u>2.3.1.2 Teorema do limite central</u>	32
<u>2.3.1.3 Limites de controle</u>	33
<u>2.3.1.4 Estudo da capacidade do processo</u>	34
<u>2.3.1.5 Cartas de controle para a média</u>	38
<u>2.3.1.6 Cartas de controle para a amplitude</u>	39
<u>2.3.1.7 Cartas de controle para o desvio-padrão</u>	42
<u>2.3.1.8 Cartas de controle para a variância</u>	45
<u>2.3.1.9 Cartas de controle para a mediana e amplitude</u>	46
<u>2.3.1.10 Cartas de controle para valores individuais</u>	48
<u>2.3.1.11 Outras cartas de controle estatístico para variáveis</u>	51
<u>2.3.2 Cartas de controle estatístico por atributos</u>	52
<u>2.3.2.1 Ensaio de Bernoulli</u>	52
<u>2.3.2.2 Distribuição binomial</u>	52
<u>2.3.2.3 Cartas de controle para a proporção de itens defeituosos – p</u>	53
<u>2.3.2.4 Cartas de controle para o número de itens defeituosos – np</u>	55
<u>2.3.2.5 Cartas de controle para o número de defeitos – c</u>	56
<u>2.3.2.6 Cartas de controle para o número de defeitos por unidade – u</u>	58
<u>2.3.2.6 Outras cartas de controle de controle por atributos</u>	60

2.3.3	<u>Interpretação das cartas de controle</u>	60
2.3.4	<u>Controle integrado de atributos</u>	64
2.3.4.1	<u>Percentual de defeituosos médio de uma amostra</u>	64
2.3.4.2	<u>Percentual de defeituosos médio das amostras</u>	65
2.3.4.3	<u>Tamanho da amostra</u>	65
2.3.5	<u>Capacidade do processo</u>	66
2.3.6	<u>Críticas ao controle integrado do processo</u>	66
2.4	<u>IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE DO PROCESSO</u>	67
2.4.1	<u>Definição do projeto</u>	67
2.4.2	<u>Planejamento da implantação do controle do processo</u>	68
2.4.3	<u>Treinamento em CEP</u>	71
2.4.4	<u>Implantação efetiva do controle do processo</u>	72
2.4.5	<u>Acompanhamento e consolidação</u>	72
2.5	<u>PASSOS PARA A CONSTRUÇÃO DA CARTA DE CONTROLE INTEGRADO DO PROCESSO</u>	73
3.	<u>ESTUDO DE CASO: IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE INTEGRADO DE PROCESSO EM UMA EMPRESA DE BEBIDAS ALCOÓLICAS</u>	75
3.1	<u>ALLIED DOMEQ BRASIL LTDA.</u>	75
3.2	<u>DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO</u>	76
3.3	<u>DEFINIÇÃO DO PROJETO</u>	77
3.4	<u>IDENTIFICAÇÃO DOS POSTOS DE CONTROLE E CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE A SEREM MONITORADAS</u>	77
3.5	<u>DEFINIÇÃO DO PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS</u>	80
3.6	<u>DEFINIÇÃO DE RESPONSABILIDADES</u>	81
3.7	<u>DEFINIÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO NECESSÁRIA E INFRAESTRUTURA</u>	82
3.8	<u>TREINAMENTO EM CONTROLE INTEGRADO DA QUALIDADE</u>	82
3.9	<u>IMPLANTAÇÃO EFETIVA</u>	83
3.9.1	<u>Início do monitoramento</u>	83
3.9.2	<u>Cálculo dos limites de controle</u>	86
3.10	<u>ACOMPANHAMENTO E CONSOLIDAÇÃO</u>	88
3.11	<u>IDENTIFICAÇÃO DO ITEM DE CONTROLE MAIS CRÍTICO POR POSTO (POR PRODUTO)</u>	89
4.	<u>CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	91
	<u>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</u>	93
	<u>APÊNDICE A – Material utilizado no treinamento dos funcionários da Allied Domecq</u>	97
	<u>ANEXO A - Avaliação final da linha de engarrafamento e produto acabado</u>	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Função-perda de Taguchi	17
Figura 2: Exemplo de Fluxograma aplicado a um processo de rotulagem de bebidas	21
Figura 3: Exemplo de gráfico de Pareto para defeitos de rotulagem de bebidas	23
Figura 4: Exemplo de diagrama de causa e efeito para identificação de itens de verificação de processos produtivos	24
Figura 5: Exemplo de histograma para defeitos de rotulagem de bebidas (descentralização do rótulo)	24
Figura 6: Exemplo de Diagrama de Dispersão para a relação entre a umidade relativa ambiente e o número de defeitos de rotulagem de bebidas	25
Figura 7: Exemplo de Gráfico de Controle para o número de defeitos de rotulagem de bebidas	27
Figura 8: Resumo das causas comuns e especiais de variação	28
Figura 9: Estratégia para melhorias dos processos	30
Figura 10: Percentuais associados a faixa de $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$	31
Figura.11: Processo Estável <i>versus</i> Processo Capaz	35
Figura 12: Distribuição dos valores individuais <i>versus</i> distribuição amostral das médias	36
Figura 13: Carta de controle para a média	42
Figura 14: Carta de controle para a amplitude	42
Figura 15: Carta de controle para a média	45
Figura 16: Carta de controle para o desvio padrão	45
Figura 17: Carta de controle para a mediana	47
Figura 18: Carta de controle para a amplitude	47
Figura 19: Carta de controle para médias de valores individuais	50
Figura 20: Carta de controle para a amplitude móvel	50
Figura 21: Máscara em forma de V para delimitar variabilidade na carta CUSUM	51
Figura 22: Carta de controle da fração de itens não conformes	55
Figura 23: Carta de controle para o número de itens não conformes	56
Figura 24: Carta de controle para o número de não conformidades	58
Figura 25: Carta de controle para não conformidades por unidade	59
Figura 26: Exemplo de ponto fora dos limites de controle	61
Figura 29: Exemplo de tendência com descendência de pontos	63
Figura 30: Exemplo de aproximação dos limites de controle	63
Figura 31: Exemplo de aproximação da linha média	64
Figura 32: Desdobramento da Qualidade	69
Figura 33: Desdobramento dos processos	70
Figura 34: Identificação e descrição dos postos de controle	77
Figura 35: Características de qualidade monitoradas por posto de controle	78
Figura 36: Característica de qualidade e tipos de defeitos correspondentes	79
Figura 37: Peso das diferentes classificações dos defeitos	79
Figura 38: Planilha de coleta de dados	80
Figura39: Definição de responsabilidades nas linhas de produção monitoradas através do controle integrado de processo	82
Figura 40: Carta de controle integrado da rotulagem do Teacher's	87
Figura 41: Carta de controle integrado da rotulagem do Wall Street	88
Figura 42: Pareto dos defeitos para o Wall Street (Linha 2)	90

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela 1: Valores constantes d_2, A_2, D_3, D_4</u>	40
<u>Tabela 2: Dados do exemplo da fresa: identificação mais tabela de dados</u>	41
<u>Tabela 3: Valores das constantes B_3, B_4 e A_3</u>	44
<u>Tabela 4: Valores da constante \tilde{A}_2</u>	46
<u>Tabela 5: Valores da constante E_2</u>	49
<u>Tabela 6: Valores do teor de pureza de uma substância química</u>	49
<u>Tabela 7: Dados do exemplo de fixação de rótulos: identificação mais tabela de dados</u>	54
<u>Tabela 8: Dados do exemplo de pintura de chapas de aço</u>	57
<u>Tabela 9: Dados do exemplo de processo de pintura de chapas de aço</u>	59
<u>Tabela 10: Escala da intensidade das relações</u>	69
<u>Tabela 11: Defeitos total por amostra para o produto Teacher's</u>	84
<u>Tabela 12: Defeitos total por amostra para o produto Wall Street</u>	85

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 INTRODUÇÃO

Na definição de Kotler (1980), um produto é tudo aquilo capaz de satisfazer a um desejo. A satisfação do desejo é o serviço que este determinado produto presta, ou seja, o produto é meio pelo qual o desejo é satisfeito. Assim, o conceito de produto não se limita a objetos físicos, tangíveis, mas também a seu serviço.

O desejo ou a necessidade a cerca de um determinado produto gera uma intenção de troca para a aquisição deste produto. Desta forma se estabelecem os mercados, “uma arena para trocas potenciais” (Kotler, 1980). Esta condição cria o valor percebido pelas duas partes envolvidas na troca: o produtor e o consumidor.

O valor percebido do produto está intimamente ligado à sua qualidade e esta é definida diferentemente pelos envolvidos na troca. Neste sentido, para o consumidor, um produto (ou serviço) é considerado como de qualidade quando adequado à sua finalidade ou uso; um produto é considerado de qualidade quando satisfaz o consumidor (Equipe Grifo, 1994).

A Norma NBR ISO 9000:2000 define a qualidade como a totalidade das propriedades e características de um produto ou serviço que lhe confere aptidão para satisfazer às necessidades implícitas dos clientes.

A tendência rumo a uma economia mundial integrada e, portanto, competitividade global está forçando as empresas a desenvolver estratégias para projetar, rapidamente, produtos inovadores e com qualidade, maximizando os recursos da empresa ao produzi-los (Campos, 1998). Este novo modelo não apenas é utilizado pelas empresas que visam o mercado global, mas por todas as empresas que buscam uma vantagem competitiva no mercado onde atua.

Assim, a garantia da qualidade dos produtos é essencial para que se estabeleça uma confiança entre produtor e consumidor. Esta garantia é alcançada através de atividades geradoras de evidências objetivas que levem a resguardar o consumidor contra possíveis falhas no produto que gerem a má-qualidade (Juran, 1991).

Nos sistemas de gerenciamento da qualidade necessários à garantia da qualidade, são definidas técnicas que visam a obtenção e manutenção da qualidade de um produto ou serviço, identificando e eliminando as causas de problemas de qualidade. Estas técnicas enunciam o controle da qualidade de um produto ou serviço (Oakland, 1994).

O desempenho da empresa é determinado pela criação de riqueza, ou seja, a correta alocação de recursos escassos: capital e pessoal (Drucker, 2000). Neste contexto, é necessário identificar quais as demandas de qualidade exigidas pelo mercado para definir as características do produto que realmente agreguem valor a este. A partir da observação destas características mais relevantes, deve-se utilizar técnicas que facilitem a análise da qualidade e a tomada de decisão.

Oliveira (1995) denomina tais técnicas de ferramentas de aprimoramento da qualidade. Dentre os objetivos destas ferramentas, citados pelo autor, estão: (a) facilitar a visualização e entendimento do problema de qualidade, sistematizando o conhecimento das causas e as tomadas de decisão para sua eliminação; (b) permitir o conhecimento do processo; (c) fornecer elementos para o monitoramento do processo.

1.2 TEMA E JUSTIFICATIVA

O tema desta dissertação é o controle e garantia da qualidade em situações industriais onde há necessidade de se controlar diversos atributos de um produto para alcançar a satisfação do cliente.

Dentro de uma filosofia de garantia da qualidade do produto, as organizações estabelecem técnicas de controle da qualidade que objetivam, entre outros, a manutenção da qualidade do produto, controlando e aprimorando a qualidade do processo. O controle da qualidade do processo pode ser feito através de ferramentas estatísticas.

Dentre as ferramentas estatísticas no controle estatístico do processo destacam-se as cartas de controle. O controle de processos utilizando as cartas de controle é realizado através de amostragens com significância estatística das características de qualidade relevantes ao produto. Estas são analisadas de forma sistemática quanto ao comportamento ao longo do tempo, do parâmetro ou atributo pertinente na fase do processo, ou no produto onde estes parâmetros ou atributos são passíveis de serem melhorados. Para tanto, é feito um estudo prévio da característica analisada e são calculados os limites de controle do processo em relação à centralização da característica de qualidade (média, mediana, etc.) e a variabilidade permitida a este valor (amplitude, desvio-padrão, etc.). Com estas informações, são elaboradas as cartas de controle do padrão histórico verificando sua estabilidade (processo sob controle estatístico ou não). Em seguida, é feita a análise da capacidade do processo, verificando se o mesmo é capaz de atender as especificações demandadas pelo cliente. Uma vez estando o processo estável e capaz, a carta de controle servirá como instrumento de controle do processo, ou seja, servirá para identificar a presença ou não de causas especiais,

anômalas ao mesmo. Os casos de anomalia do processo indicados pela carta de controle devem gerar ações corretivas com o intuito de se retornar aos padrões históricos. Desta forma, as cartas de controle são utilizadas como forma de prevenção à falhas do processo que geram produtos com problemas de qualidade.

As características de qualidade demandadas pelos clientes em relação ao produto ou serviço podem ser do tipo variável (mensurável em uma escala contínua de tempo, massa, corrente elétrica, temperatura, etc.) ou do tipo atributo (conforme ou não-conforme).

As cartas de controle por atributos são utilizadas quando não é possível medir a característica de qualidade que se deseja controlar ou quando não existe disponibilidade de tempo ou recursos financeiros para se mensurar tal característica. Nestes casos controla-se o número de itens defeituosos ou o número de defeitos por item (ou por unidade).

Deve-se estar atento na identificação de características de qualidade realmente relevantes ao processo, na escolha da carta adequada ao processo que se deseja monitorar, no correto treinamento das pessoas envolvidas no processo e na obtenção de informações necessárias e consistentes às tomadas de decisões seguras, em forma de ações corretivas, que contribuam para retornar o processo aos níveis históricos.

Relativo à escolha da carta correta, Caten (1999) levanta a dificuldade de operacionalização de cartas tradicionais de variáveis e/ou atributos em determinados setores industriais, onde o número de características de qualidade a serem monitoradas é grande e simultâneo. Para estes casos, a autora propõe um controle integrado da qualidade, visando viabilizar o monitoramento de todas estas variáveis e atributos reunidos em uma carta.

O estudo de caso apresenta o controle de 26 tipos de defeitos que especificam atributos a serem monitorados. Este alto número de atributos em um posto de trabalho torna inviável o controle por cartas tradicionais por demandar 26 cartas de controle diferentes, uma para cada atributo. Este número de cartas dificultaria tanto a coleta como a compilação e interpretação dos dados. Neste cenário, o controle integrado de atributos oferece informação necessária a tomadas de decisões seguras para o controle estatístico do processo.

1.3 OBJETIVO

O objetivo principal desta pesquisa é verificar a viabilidade de implantação do método de controle integrado de atributos da qualidade proposto por Caten (1999) em empresas de manufatura intermitente.

Como objetivos secundários desta dissertação, será feita uma revisão da literatura dos atuais paradigmas da qualidade de produtos e processos e dos métodos de controle dos

processos, em especial das cartas de controle tradicionais. No estudo de caso serão dadas diretrizes de implantação da carta de controle integrado, adaptado à realidade da empresa do estudo de caso, Allied-Domecq S.A., no monitoramento dos atributos relativos à rotulagem de seus produtos.

1.4 MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa Ação é um método de pesquisa qualitativo que associa a pesquisa e a prática, assumindo aproximações com a finalidade de resolver problemas e implementar mudanças dentro do cenário organizacional, a fim de melhorar continuamente o sistema. Este método consiste em (a) esclarecer a situação, objetivos e suposições de uma dada questão em estudo de um sistema, (b) coletar dados a respeito da questão, (c) diagnosticar a questão a partir dos dados coletados, (d) executar ações de intervenção a partir do diagnóstico que melhorem o sistema, (e) aprender sobre o sistema permitindo maior controle do mesmo e (f) acompanhar as melhorias obtidas no sistema (Bennett & Oliver, 1988; Avison et al, 1999).

Pelas características do presente trabalho de pesquisa, o método de pesquisa utilizado nesta dissertação é a Pesquisa Ação. No contexto deste trabalho, o problema ou questão proposta é a melhoria da qualidade de um sistema automático de rotulagem de garrafas de bebidas alcoólicas através do controle estatístico do processo. Em primeiro lugar, será apresentado um estudo teórico através da revisão bibliográfica dos controles estatísticos de processos e, na seqüência, a implantação de um controle que melhore a qualidade do sistema.

A implantação do controle do processo segue as seguintes etapas: (i) definição do projeto, (ii) planejamento da implantação, (iii) identificação e priorização das características de qualidade a serem monitoradas no processo, (iv) treinamento do pessoal operacional da empresa em estudo, (v) desenvolvimento da implantação efetiva do controle estatístico no processo de rotulagem e (vi) acompanhamento e consolidação.

Desta forma, as etapas (i) e (ii) da implantação do controle do processo visam elucidar a situação atual do processo, traçando objetivos e suposições para sua melhoria. Na etapa (iii), serão coletados dados a fim de diagnosticar as principais fontes de variabilidade do processo, portanto, do produto, que atuam sobre a qualidade do mesmo. Já nas etapas (iv) e (v) serão executadas ações sobre o sistema de treinamento e implantação do controle do processo propriamente dita e, como consequência, o aprendizado do mesmo. A última etapa, como prevê a pesquisa ação tem por objetivo acompanhar as melhorias obtidas no sistema.

1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA

O capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho, o tema e justificativas, os objetivos e o método de desenvolvimento da pesquisa, bem como sua estrutura e limitações.

No capítulo 2 serão apresentados alguns conceitos de qualidade e uma breve descrição das cartas de controle tradicionais. Além destas, serão abordadas outras cartas de controle desenvolvidas por diferentes autores, em especial, a carta de controle integrada por posto de controle proposta por Caten (1999). Será apresentado, ainda, um roteiro de implantação do controle do processo.

Posteriormente, no capítulo 3, um estudo de caso de implantação do controle integrado do processo em uma empresa de bebidas alcoólicas corroborará a teoria pela prática dentro da realidade específica em questão, sendo esta a finalidade da dissertação.

A dissertação é encerrada com conclusões sobre o processo de implantação do controle integrado do processo e delineamento de pesquisas futuras, abordadas no capítulo 4.

1.6 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Empresas com processos de manufatura contínuos, onde é necessário o monitoramento de vários atributos, independentes entre si, poderão utilizar a presente pesquisa como base para seus estudos a partir do estudo de caso apresentado. A referida pesquisa apresenta uma abordagem sistemática para a implantação do controle integrado do processo.

Na pesquisa, o estudo da implantação do controle integrado do processo é limitado ao setor rotulagem de bebidas alcoólicas, onde inúmeros atributos devem ser controlados. Os custos de implantação ou do programa computacional de apoio ao CEP, bem como os custos associados à má qualidade do produto manufaturado na empresa contemplada no estudo de caso não são avaliados nesta dissertação.

No que tange a revisão bibliográfica, a pesquisa limitou-se a apresentação das cartas de controle tradicionais para o controle do processo e o controle integrado do processo proposto por Caten (1999). As cartas multivariadas de controle do processo utilizadas para o monitoramento de processos com variáveis que tenham correlação significativa entre si não são abordadas na pesquisa. Outras cartas como as cartas para a média móvel ponderada exponencial (cartas EWMA) desenvolvidas para fornecer maior sensibilidade a variações da média também não foram apresentadas neste trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 QUALIDADE

Com a mudança dos paradigmas no mundo dos negócios, para que uma empresa possa monitorar seu desempenho em um determinado mercado e, portanto, se manter nele, quatro diretrizes básicas devem ser observadas: (a) a perspectiva financeira; (b) a perspectiva do cliente; (c) a perspectiva dos processos internos; e (d) a perspectiva do aprendizado e crescimento (Kaplan & Norton, 2000; Meyer, 2000; Campos, 1998).

Para que haja uma real mudança nas corporações existe a necessidade (i) da definição clara da visão estratégica do negócio, (ii) da divulgação e plena compreensão desta visão pelos gerentes que irão definir os objetivos a serem alcançados em acordo com a visão, (iii) da busca da satisfação e retenção dos clientes, (iv) da exploração de todas as oportunidades de aprendizagem, crescimento e melhoria dos processos, (v) da negociação entre a organização e fornecedores buscando objetivos comuns, (vi) da participação e aprovação de todas as pessoas envolvidas com o processo de mudança, nos diferentes níveis e áreas e entre eles, (vii) do planejamento bem elaborado da implantação das mudanças, (viii) da liderança consciente, capaz, presente e comprometida com as mudanças e (ix) de bons indicadores para a avaliação do desempenho e de incentivos, pelo reconhecimento e recompensa, que fomentam a satisfação dos colaboradores (Kaplan & Norton, 2000; Campos, 1998).

As necessidades listadas acima estão diretamente relacionadas a melhores índices de qualidade do produto, gerando maior satisfação ao cliente, através do aprimoramento dos processos (produtivos ou de serviços), e maior satisfação de colaboradores, melhorando o moral e qualidade de vida destes. Estas são as premissas da qualidade total. (Equipe Grifo, 1994).

A gestão pela qualidade total em uma empresa exige duas linhas de atividade e esforços. De um lado, ocorre a aplicação dos conceitos de ciências humanas com o objetivo de conhecer as expectativas dos clientes e de conquistar a adesão dos funcionários da empresa aos princípios, métodos e procedimentos. De outro lado, é necessário que estas expectativas se transformem em especificações técnicas a serem controladas durante o processo de fabricação até a chegada do produto a estes clientes (Juran, 1991).

A qualidade de um produto dentro do conceito de Qualidade Total é definida em cinco dimensões (Equipe Grifo, 1994; Campos, 1992):

- a) Qualidade (intrínseca ao produto): são as características específicas do produto (ou serviço) que geram a satisfação do cliente, tais como ausência de defeitos, qualidade da informação, qualidade do pessoal, etc;
- b) Custo: é a resultante do custo de projeto, fabricação e desempenho do produto;
- c) Entrega: é a operação logística como um todo, ou seja, a entrega do produto certo, na quantidade correta, no dia e no local acordados, sem nenhum dano ao produto;
- d) Moral: corresponde ao nível médio de satisfação dos funcionários da empresa, medido por índices de absenteísmo, demissões, etc;
- e) Segurança: corresponde a segurança dos funcionários e do usuário do produto.

A qualidade de um produto pode ser vista como a perda imposta à sociedade pelo produto durante seu ciclo de vida. O produto, do ponto de vista do cliente, deve adequar-se ao máximo às suas expectativas, deve ter um preço justo e ser duradouro, e do ponto de vista do fabricante, deve ter o menor custo. A perda para a sociedade é a somatória dos custos de produção mais os custos do cliente com o produto durante a vida útil do produto. Para minimizar esta perda, deve-se buscar a produção de produtos uniformes, com a exata especificação das características de projeto: desenhos, dimensões, tolerâncias, materiais. Estas especificações devem estar baseadas na percepção e expectativas do cliente em relação à qualidade do produto. A medida em que determinada característica de qualidade do produto aproxima-se do valor da especificação do projeto, ou seja, do valor nominal (VN), a perda para a sociedade diminui (Ross, 1991).

As características de qualidade do produto durante os processos de produção não são uniformes e existem dispersões da distribuição destas características. Desta forma, definem-se limites de especificação para cada característica de qualidade do produto: LI limite inferior e LS limite superior. A função-perda de Taguchi quantifica a perda para a sociedade devida a variabilidade existente em um processo.

A gestão da qualidade, dentro dos conceitos de Taguchi, se reflete em duas áreas fundamentais: controle de qualidade fora da linha e na linha. O controle de qualidade fora da linha diz respeito às atividades de qualidade no desenvolvimento de produtos e processos. Já o controle de qualidade na linha considera a monitoração do processo industrial a fim de verificar os níveis da qualidade produzida observando a variabilidade do processo (Sudhakar, 1995).

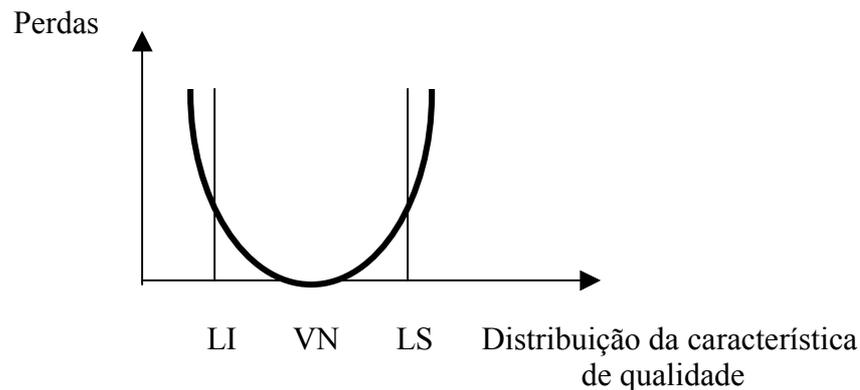


Figura 1: Função-perda de Taguchi

A qualidade do produto ou serviço é alcançada quando este satisfaz plenamente o cliente e, para gerenciar esta qualidade, deve-se utilizar técnicas sistemáticas e ferramentas. A gerência da qualidade do produto (ou serviço) inicia-se em sua concepção, ou seja, na fase de identificação de uma oportunidade de mercado (Cunha, 1999).

Uma vez identificada a oportunidade de mercado, as especificações do projeto podem ser identificadas e priorizadas pelo próprio cliente (voz do cliente) utilizando-se ferramentas como o QFD (Quality Function Deployment)¹. O QFD é utilizado no controle de qualidade de projetos, ou seja, no controle de qualidade fora da linha. Dentre as vantagens da sua utilização estão (a) a melhoria da qualidade do produto, (b) o aumento da satisfação dos clientes, (c) diminuição dos custos de desenvolvimento de projetos e (d) redução dos erros e problemas de projetos (Fuller, 1998; Pahl & Beitz, 1996; Tottie & Lager, 1995).

Após a obtenção da voz do cliente e a transformação desta em características de qualidade e especificações, na fase do projeto conceitual do produto ou serviço onde as novas idéias, conceitos, métodos, etc. são desenvolvidos com o objetivo de fornecer ao consumidor produtos novos ou aperfeiçoados, pode-se utilizar uma série de técnicas como projeto axiomático (identificação das necessidades funcionais afim de que estas sejam satisfeitas com entes físicos), análise de valor (para que se tenha no projeto do produto apenas características que realmente agreguem valor a este), utilização de projetos modular, etc.. Na fase subsequente, de projeto preliminar, certos parâmetros do projeto do produto ou processo são estabelecidos para que o desempenho destes se torne o menos sensível às causas de variação.

¹ Cristiano *et al.* (2001) estudaram o impacto da utilização do QFD em mais de 400 empresas do Japão e EUA. Os autores perceberam a vantagem da utilização desta ferramenta no desenvolvimento de produtos e processos, uma vez que as melhorias dos mesmos vão de encontro e, às vezes, superam a real expectativa dos consumidores. Cada item de controle, identificado pelo QFD, terá uma série de itens de verificação em seu processo de produção, que o afetam e que devem, assim, ser monitorados.

Neste momento, utilizam-se ferramentas de confiabilidade. No projeto de tolerâncias, a qualidade é aperfeiçoada através da redução das tolerâncias dos parâmetros pela utilização de técnicas como projetos de experimentos, FMEA -Failure Mode and Effects Analysis (análise dos modos e efeitos de falha), FTA - Failure Tree Analysis (análise de árvores de falha), etc. para tornar o produto ou serviço mais robusto (Cunha, 1999; Pahl e Beitz, 1996; Ross, 1991).

No controle de qualidade na linha, o gerenciamento da qualidade do processo é atingido (a) pelo diagnóstico e ajuste do processo, (b) pela previsão e correção de falhas no processo e (c) pela medição das características de qualidade e disposição dos produtos não conformes ou fora dos parâmetros de especificação. Os dois primeiros controles utilizam-se de ferramentas estatísticas de controle do processo e serão abordados na próxima seção. O último controle não agrega valor ao produto e não será abordado nesta dissertação.

2.2 INTRODUÇÃO AO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

O controle estatístico de processo (CEP), seja o processo gerador de produtos, de serviços, ou de informações, é baseado em ferramentas, na maioria de natureza estatística, que auxiliam na compreensão do comportamento do processo e, em última análise, no controle deste comportamento.

Todos os processos de produção apresentam variações, gerando produtos ou serviços que diferem entre si. Os fatores que podem contribuir para estas mudanças nas características de qualidade do produto ou serviço são variações naturais existentes nas máquinas, nos métodos, nos materiais, no meio ambiente, na mão-de-obra ou nas medidas ou observações efetuadas nos produtos (Siqueira, 1997; Kume, 1993).

As ferramentas do CEP têm por objetivo fazer a análise do comportamento do processo. Estas ferramentas identificam, a partir de dados coletados do processo com significância estatística, as tendências de variações do processo, a fim de eliminar ou diminuir a variabilidade, causa de problemas de qualidade. Assim, as ferramentas do CEP tornam-se um meio eficiente de controle do processo (Oakland, 1999). O uso de técnicas estatísticas para a análise do processo ou seus resultados (produtos), oferece subsídios para agir adequadamente a fim de alcançar e manter um nível de capacidade e estabilidade do processo, com o objetivo final de garantir, com produtividade, a qualidade dos itens produzidos.

A eficaz utilização das ferramentas do CEP no controle de um processo envolve basicamente os seguintes tópicos (Oakland, 1994; Kume, 1993; Hradesky, 1988): (i) coleta e organização de dados do processo, (ii) apresentação e análise dos dados coletados, (iii) análise

das possíveis causas de variações (iv) análise da estabilidade do processo e (v) análise da capacidade do processo. Cada um destes tópicos será abordado a seguir.

2.2.1 Coleta e Organização dos dados

Os dados coletados do processo devem apresentar veracidade e representatividade em relação à população da qual foram extraídos, pois é através do resultado obtido sobre a análise deste conjunto de dados que são realizadas as ações e tomada de decisões sobre um processo (Ribeiro & Caten, 1999; Kume, 1993).

As medições feitas sobre a variável de interesse no processo devem ser reais e os sistemas de medição devem, para tanto, apresentar uma precisão adequada para garantir a qualidade destas medições. Neste sentido, deve-se tomar vários cuidados:

- a) Os aparelhos devem ser capazes medir frações iguais ou menores que um décimo da tolerância desejada para as medidas;
- b) Os aparelhos devem estar perfeitamente calibrados;
- c) Os aparelhos não podem estar desgastados ou apresentando falhas de repetibilidade;
- d) Os responsáveis pelas medições devem ser bem treinados no manuseio dos aparelhos usados;
- e) Para coletas de dados de atributos, deve-se definir bem que características diferenciam o item não-conforme do item conforme.

A análise dos sistemas de medição quanto à estabilidade, a tendência, a linearidade, a repetitividade e a reprodutibilidade dos dados obtidos se tornam vitais para a correta aplicação das ferramentas do CEP (Ribeiro & Caten, 1999).

A organização dos dados é de extrema importância, pois facilita o manuseio de dados e informações. Tendo em mãos dados que sejam representativos do processo, dispostos corretamente, pode-se tirar conclusões e descrever o processo no tempo, mostrando, por exemplo:

- a) o número de defeitos;
- b) localização dos defeitos;
- c) dimensão das peças (valor central e variabilidade), etc.

Uma forma, muito utilizada, de organizar estes dados é registrar as informações (dados) em folhas de verificação. Estas folhas, em forma de formulário, possuem itens de interesse sobre o processo, que são verificados e preenchidos pela pessoa responsável (Werkema, 1995).

Outra forma de proceder-se à coleta dos dados é a utilização de coletores de dados industriais. Estes equipamentos são fáceis de serem utilizados e proporcionam rapidez na transmissão dos dados, eliminam erros de transcrição, dando maior confiança ao sistema como um todo. (Kendrick, 1994).

2.2.2 Apresentação e Análise dos dados coletados

A apresentação e a análise dos dados coletados de um processo pode ser feita com o auxílio das ferramentas do CEP. Com estas, pode-se, de forma sistemática, verificar o comportamento do processo (Werkema, 1995; Oakland, 1994; Kume, 1993; Eshelman & Cooksey, 1992).

As oito ferramentas mais utilizadas no controle estatístico do processo são:

1. Fluxograma
2. Gráfico de Pareto
3. Diagrama de causa e efeito
4. Histograma
5. Diagrama de dispersão
6. Gráfico de controle
7. Estudo da capacidade do processo
8. Plano de aceitação de amostras

Utilizar a ferramenta correta para a situação correta é a base para a identificação e melhoria da qualidade por ação na causa do problema (Dietrich, 2000). A escolha da ferramenta adequada nem sempre é óbvia. Edmund (1997) sugere que dois modos de ação: modo preventivo e modo reativo. Ferramentas que permitem uma ação preventiva são, por exemplo, o histograma, a carta de controle e os estudos da capacidade do processo. Tais ferramentas são capazes de alertar quando o processo apresenta problema. Ferramentas que permitem uma ação reativa é, por exemplo, o gráfico de Pareto. Neste caso, algo aconteceu de errado no processo e é necessário priorizar as causas ou efeitos do problema e concentrar nestes para sua resolução.

As ferramentas supra-citadas podem ser utilizadas em conjunto ou separadamente, dependendo do processo que se deseja compreender e controlar e o grau deste controle. Na seqüência, apresenta-se uma breve descrição destas ferramentas exemplificadas para um processo contínuo de rotulagem em uma indústria de bebidas. Esta rotulagem possui três componentes: rótulo, contra-rótulo e selo de controle de importação fornecido pelas secretarias da Receita Federal.

2.2.2.1 Fluxograma

Uma excelente ferramenta para iniciar o estudo de um processo e encontrar formas de melhorá-lo, é desenhar o fluxograma de suas funções. O fluxograma permite obter uma visão geral do processo (Pitt, 1994).

O fluxograma consiste em uma ordenação seqüencial das atividades ou eventos dos processos produtivos ou de serviços, de forma que as relações entre eles estejam evidenciadas (Oakland, 1999).

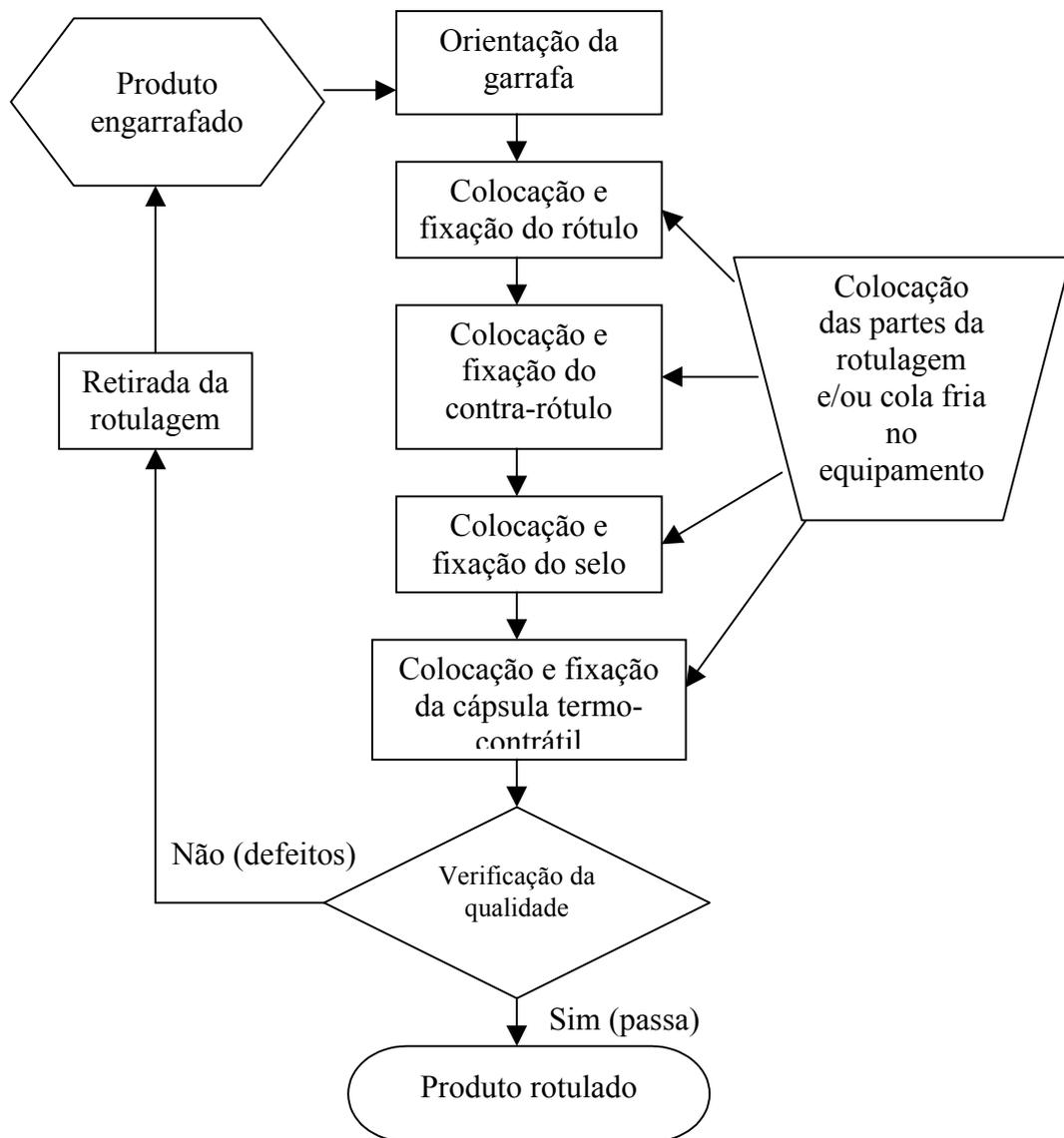


Figura 2: Exemplo de Fluxograma aplicado a um processo de rotulagem de bebidas.

Considere o exemplo do processo de rotulagem, anteriormente mencionado. Para elaborar um fluxograma deve-se, primeiramente, identificar cada passo desse processo, a fim de ordená-los (Figura 2). Os passos do processo são: entrada do produto engarrafado, entrada

dos insumos, orientação das garrafas (para a fixação das partes da rotulagem no local correto), colocação do rótulo, fixação do rótulo, colocação do contra-rótulo, fixação do contra-rótulo, colocação do selo, fixação do selo, colocação da cápsula termo-contrátil, fixação da cápsula, verificação da qualidade da rotulagem e saída do produto rotulado.

2.2.2.2 Gráfico de Pareto

O gráfico de Pareto aplicado ao controle da qualidade consiste em um gráfico de barras onde se expressa a quantidade das observações de cada defeito (categoria: variável ou atributo) em processo produtivo de manufatura ou de serviços. Desta forma, se faz uma priorização visual das informações. Utilizando o princípio dos “poucos vitais”, ou seja, o princípio onde 20% das causas de problemas de qualidade resultam em 80% destes problemas, pode-se diminuir a maioria das perdas causada pela má qualidade através de poucas ações sobre o processo (Eshelman & Cooksey, 1992). Este gráfico pode ser usado para análise de causa ou de efeito de um problema (Werkema, 1995; Kume, 1993).

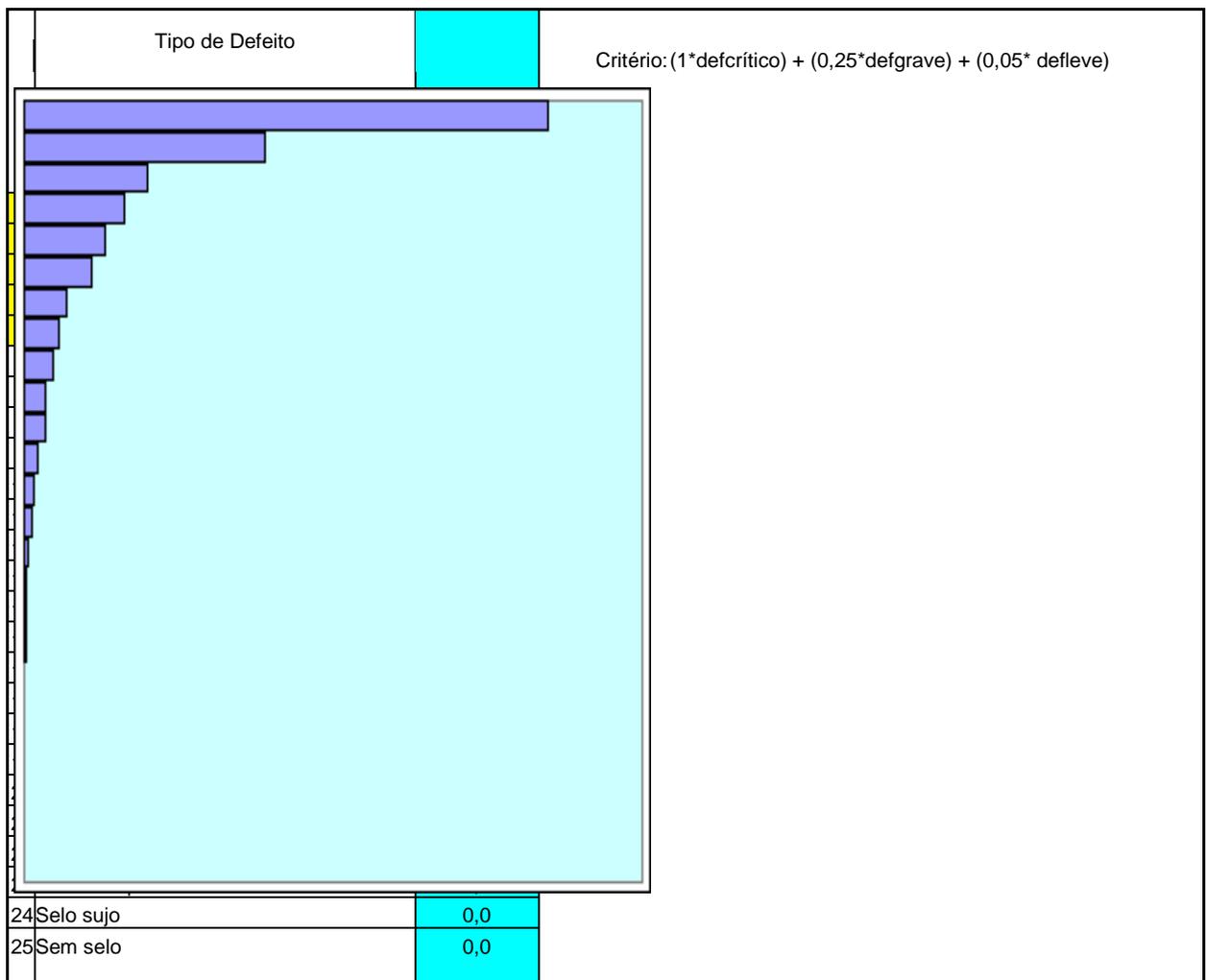


Figura 3: Exemplo de gráfico de Pareto para defeitos de rotulagem de bebidas.

Para o exemplo da rotulagem, pode-se listar os defeitos existentes e, por amostragem, quantificar o número de observações de cada defeito. A Figura 3 traz um gráfico de Pareto obtido a partir de dados reais obtidos de um processo de rotulagem.

2.2.2.3 Diagrama de causa e efeito

O diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa ou diagrama de espinha de peixe, é uma forma gráfica de se ordenar análises de causas (fatores do processo, possíveis causas do problema) para um dado efeito pesquisado do processo ou problema (Kume, 1993).

Em um processo de rotulagem, por exemplo, pode-se analisar as causas do defeito de rótulo com bolha através de um diagrama de causa e efeito. Neste caso, o defeito é o efeito e deve-se verificar para cada tipo de item de verificação (Insumos, Procedimento, Processo de medida-análise, Pessoa, Condições ambientais e Equipamentos) possíveis causas do defeito.

A utilização da técnica com o máximo de pessoas envolvidas com o processo/problema para a construção do diagrama com todas as informações é fator essencial para a análise de todos os fatores relevantes ao processo/problema (Werkema, 1995; Oakland, 1994).

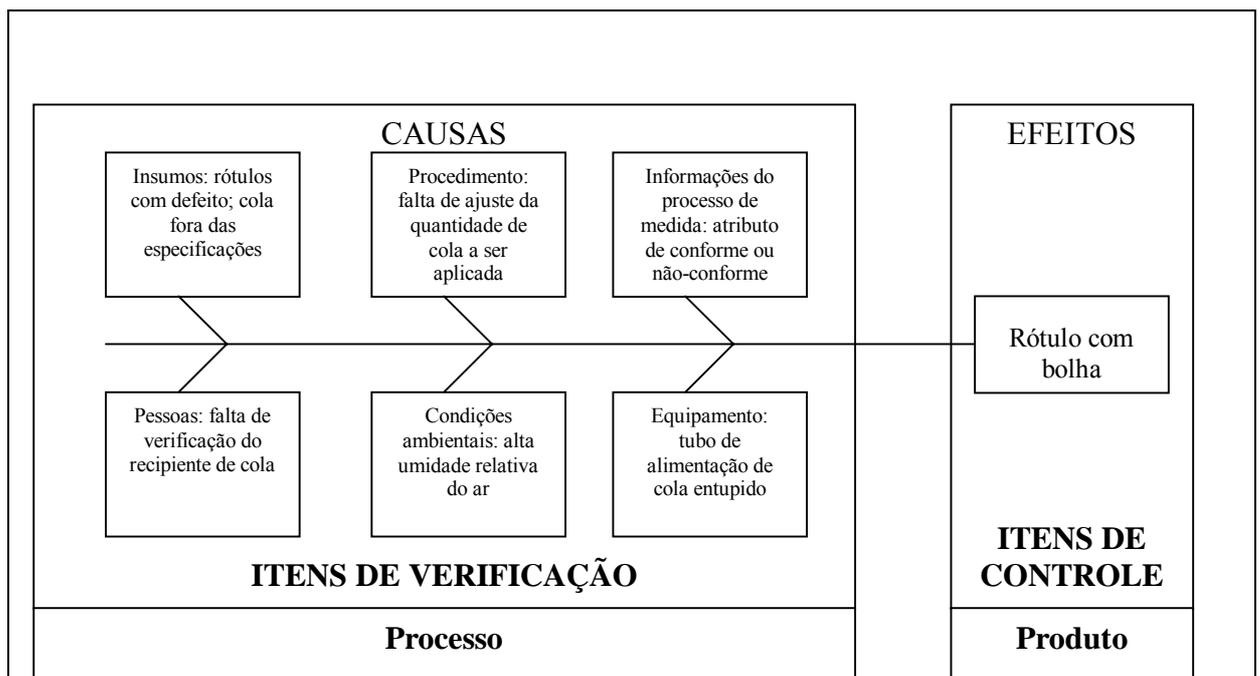


Figura 4: Exemplo de diagrama de causa e efeito para identificação de itens de verificação de processos produtivos.

2.2.2.4 Histograma

Para uma mesma característica observada em várias amostras de uma população é possível ter-se uma idéia do modelo estatístico da distribuição de probabilidade da característica em estudo através de seu histograma de freqüência. Para tanto, divide-se o eixo horizontal de um gráfico em intervalos (normalmente constantes) criando subgrupos nos quais a variável de interesse pode assumir. São construídas barras de altura relativa ao número de observações que os valores da variável de interesse compreendida no intervalo do subgrupo correspondente detectados (Kume, 1993; Eshelman & Cooksey, 1992).

O histograma de freqüência, como descrito acima, é utilizado para variáveis contínuas. No caso de atributo (isto é, variáveis discretas), o eixo horizontal é dividido em valores possíveis de serem encontrados nas observações amostrais do atributo; no eixo vertical é anotada a freqüência com que estes valores aparecem.

Voltando novamente ao exemplo da rotulagem, a má centralização dos rótulos é um defeito que deve ser controlado. Para se observar a distribuição deste defeito pode-se utilizar um histograma, onde a altura das barras verticais equivale a freqüência do número do atributo, conforme ilustrado na Figura 5.

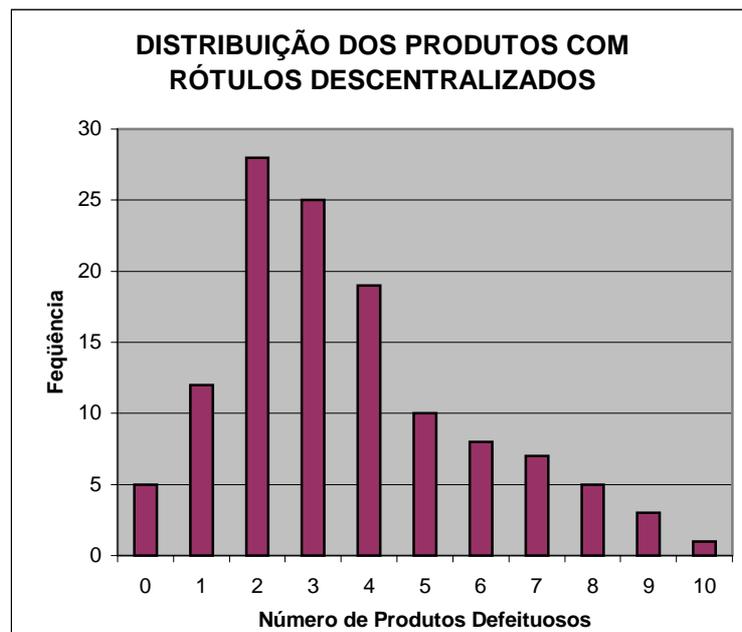


Figura 5: Exemplo de histograma para defeitos de rotulagem de bebidas (descentralização do rótulo).

2.2.2.5 Diagrama de dispersão

No diagrama de dispersão tem-se a visualização gráfica do relacionamento de duas variáveis de interesse, que podem ser (a) uma característica de qualidade e um fator que a influencie, (b) duas características de qualidade ou (c) dois fatores que influenciam uma característica de qualidade (Kume, 1993).

Para o exemplo da rotulagem, pode-se estudar a influência do número de defeitos na colocação dos rótulos e a umidade relativa ambiente da planta, visto como um fator que pode alterar tanto a qualidade do rótulo, como a quantidade de água condensada sobre a garrafa de vidro e, portanto, a qualidade da aderência do rótulo sobre o vidro. Tal estudo vem apresentado na Figura 6.

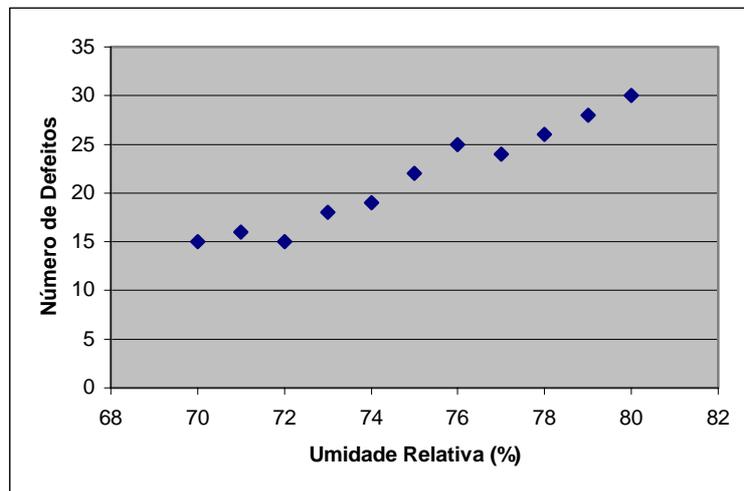


Figura 6: Exemplo de Diagrama de Dispersão para a relação entre a umidade relativa ambiente e o número de defeitos de rotulagem de bebidas.

2.2.2.6 Cartas ou gráficos de controle

A variabilidade de um processo pode ser devida a duas categorias de causas: causas comuns, características do processo e causas especiais, atípicas, devidas a uma condição especial. Causas especiais são assinaláveis (Werkema, 1995) e sua presença caracteriza um processo fora de controle. O estudo e a ação sobre causas especiais devem ser feitos com a finalidade de melhoria da qualidade do processo (Ribeiro e Caten, 1998).

As cartas de controle permitem a visualização destas duas fontes de variabilidade do processo, separadamente, possibilitando a atuação no processo em quando da presença de causa especial (Siqueira, 1997; Kume, 1993).

O gráfico de controle consiste em uma figura onde está representado o valor médio da distribuição da variável ou atributo estudado (linha central) e os valores relativos a dispersão da distribuição (limites de controle). Além destes, são representados os valores relativos a cada amostragem medida que representam o estado atual do processo.

Para a construção das cartas de controle, primeiramente deve-se selecionar a característica de qualidade a ser controlada e definir o método de amostragem e o tamanho da amostra. Em seguida, coletam-se os dados e determina-se a linha central e os limites de controle. Faz-se, então a revisão dos limites de controle, plotando-se na carta os valores dos dados utilizados para o cálculo da linha central e dos limites de controle. Todos os valores plotados devem estar dentro do limite de controle para que esta carta possa ser utilizada no controle do processo, caso contrário, deve-se recalcular a linha central e limites de controle eliminando o ponto fora dos limites. Desta forma, é estabelecida a melhor estimativa para o valor central com base nos dados disponíveis. Por fim, analisa-se a capacidade do processo em atender as especificações da característica de qualidade em questão, como será discutido na seção 2.3. A carta de controle poderá, então, ser implantada no controle do processo (Siqueira, 1997).

Se os valores amostrais obtidos a partir da implantação da carta estiverem dentro do espaço delimitado pelos limites de controle e não apresentarem tendências, o processo em estudo é dito sob controle estatístico. Neste caso, as variações entre as amostras são somente devido a causas comuns. Por outro lado, se houver um ponto fora dos limites de controle, o processo é dito fora de controle estatístico e causas especiais estão atuando sobre o processo.

As cartas de controle podem ser utilizadas tanto para o controle de valores atributivos como de valores variáveis, porém, para tanto, existem cartas diferentes para cada tipo de variável (Kume, 1993).

Para o exemplo de rotulagem de bebidas, podemos visualizar o estado do processo de rotulagem a partir de seu gráfico de controle. Nesse gráfico, está representada a porcentagem de defeitos (p) do processo de rotulagem obtidos em 17 amostras de tamanho 100. O mínimo de defeitos que se pode obter é zero defeitos; portanto, o limite de controle inferior (LCI) está localizado em zero. O limite de controle superior (LCS) é 3,8% de defeitos e a linha central (LC) é de 0,9% de defeitos, correspondente a média de defeitos na amostra analisada.

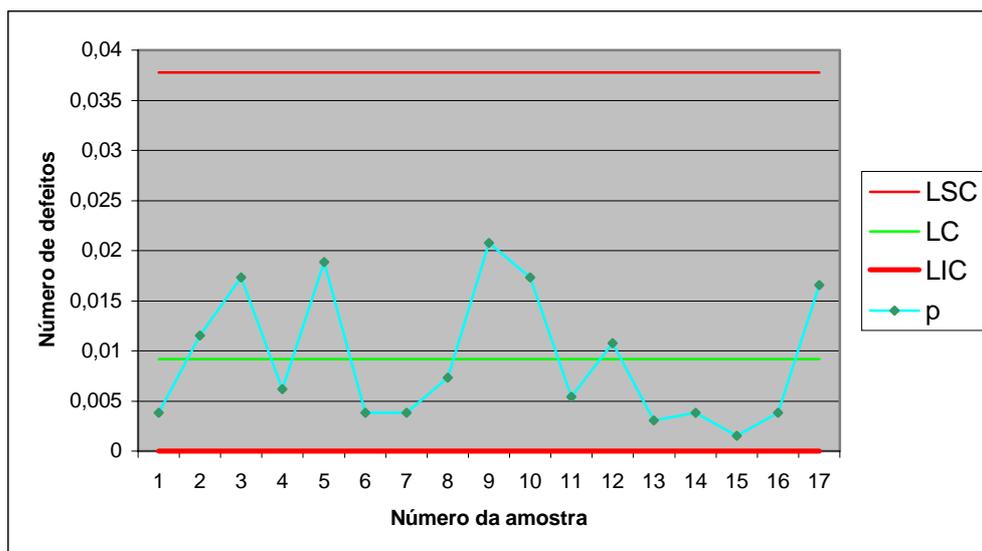


Figura 7: Exemplo de Gráfico de Controle para o número de defeitos de rotulagem de bebidas.

2.2.2.7 Estudo da capacidade do processo

O estudo da capacidade do processo mede parâmetros funcionais do produto, não o processo (Montgomery, 1985). Estes parâmetros possuem uma distribuição de probabilidade caracterizada por sua centralização e dispersão e com estas informações obtêm-se os limites naturais do parâmetro. Estes limites naturais são comparados com a especificação desejada, determinando a fração de não-conformidade em relação a esta especificação.

Desta forma, o estudo da capacidade pode ser utilizado no sistema de melhoria da qualidade pela aderência do processo as especificações e a redução de variabilidades, auxiliando, na fase de desenvolvimento de produtos e processos, a seleção entre diferentes processos, ou modificações destes.

2.2.2.8 Plano de aceitação de amostras

O plano de aceitação de amostras teve uma utilização intensa no passado quando o foco da qualidade era o produto (Pitt, 1994). A aceitação ou rejeição de um lote de matéria-prima ou produto em determinada fase do processo, em relação a um padrão, levou ao desenvolvimento de um plano de decisão para esta aceitação ou não dos produtos. Tais planos ainda são utilizados, porém com menor ênfase, dando lugar a análise do processo como ação preventiva.

2.2.3 Análise das possíveis causas de variação

Apesar de todo o aperfeiçoamento e padronização dos equipamentos e métodos de trabalho, não é possível evitar a ocorrência de uma série de variações no processo de produção (Kume, 1993). Surge, então, a necessidade da intervenção do homem na detecção e diminuição do efeito das causas de variações. Não existem dois produtos ou duas características exatamente iguais; as diferenças sempre existem, embora, às vezes, não possam ser medidas. Tendo em vista o controle do processo, as cartas de controle do processo se tornam uma ferramenta útil na detecção das causas de variações no processo. Tais causas de variação podem ser divididas em dois grandes grupos (ver Oakland, 1999; Kume, 1993; McNeese & Klein, 1991):

Causas Comuns – causadas por fontes de variações inerentes ao processo que se encontra sob controle estatístico. Estas causas são de difícil identificação; porém, juntas, criam um sistema constante de variação entre as amostras coletadas.

Causas Especiais – causadas por fontes relativamente grandes de variações, as quais são assinaláveis e ocorrem fora do sistema constante de variação entre as amostras; ou seja, além dos limites de controle das cartas.

Tipo de causa	Tipo de variação	Status do processo	Ação requerida
Comum	Inerente, natural, previsível	Sob controle estatístico (estável)	Ação sobre o sistema
Especial	Errática, alteração brusca, fuga gradual	Fora de controle (instável)	Ação localizada

Figura 8: Resumo das causas comuns e especiais de variação

Fonte: Ribeiro & Caten, 1998.

2.2.4 Análise da estabilidade do processo

Um processo é dito estável quando as variações que nele incidem não são provocadas por causas especiais, mas apenas por causas comuns. Nesta condição de estabilidade, o processo está “sob controle estatístico” (Kume, 1993). Quando existe a atuação de causas especiais além das causas comuns, a variabilidade tende a aumentar, caracterizando um processo “fora de controle estatístico” (Werkema, 1995).

Nas cartas de controle, não importando o tipo utilizado, se os pontos plotados a partir de uma amostra situarem-se sempre dentro dos limites de controle, não apresentando

seqüências de pontos acima ou abaixo da média, nem tendências, entre outras situações, caracterizam um processo sob controle estatístico (Werkema, 1995; Pitt, 1994; Kume, 1993).

2.2.5 Análise da capacidade do processo

Uma vez estando o processo estável, ou seja, livre de causas especiais, é possível fazer-se o estudo de capacidade do processo. Este estudo pode ser feito através de análise gráfica ou através de índices de capacidade. Em ambos os casos, avalia-se o processo estável é capaz de produzir respeitando os limites de especificação de determinada característica de qualidade em análise. Em outras palavras, a capacidade do processo se refere a uniformidade do processo (Montgomery, 1985) fazendo uma comparação entre os limites naturais de variação da variável de interesse e os limites especificados para ela (Oakland, 1999; Sirqueira, 1997; Montgomery, 1985).

Para o exemplo do gráfico de controle do número de defeitos da rotulagem, deve-se verificar se o limite superior de 3,8% atende as especificações do produto e se os índices de capacidade estão dentro do limite aceitável.

Como consequência da utilização das ferramentas do CEP, tem-se a gradual diminuição da variabilidade do processo, gerando produtos e serviços de maior qualidade (Oakland, 1994).

2.3 CARTAS DE CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

Cartas de controle são gráficos que estabelecem os limites dentro dos quais uma variável de processo ou característica de qualidade do produto deve se manter ao longo do tempo. Estes limites são o resultado histórico da variabilidade. Portanto, com esta ferramenta pode-se controlar a variabilidade inerente ao produto e, portanto, ao processo (Werkema, 1995).

Existem dois grandes grupos de cartas de controle: cartas para variáveis contínuas e cartas para atributos; ver Werkema, 1995; Pitt, 1994; Montgomery, 1985.

Variável é uma característica que pode assumir qualquer valor em uma escala contínua ou discreta (Oakland, 1999; Werner & Echeveste, 1998).

Exemplos de variáveis contínuas são o tempo de entrega de um produto ao cliente ou o diâmetro de um furo; tais variáveis podem assumir valores em qualquer ponto fracionário ou inteiro ao longo de um intervalo especificado de valores.

Exemplos de variáveis discretas (atributos) são a quantidade de peças defeituosas encontradas em um lote ou a quantidade de pessoas por domicílio em uma cidade. Esses

atributos podem assumir valores observados em pontos isolados ao longo de uma escala de valores.

Um processo pode ser descrito em função de duas características fundamentais: sua centralização e sua dispersão. A centralização do processo pode ser verificada calculando-se a média ou mediana de várias amostras. A dispersão pode ser estimada a partir do desvio padrão ou amplitude dessas amostras (Oakland, 1999; Ribeiro & Caten, 1998; Werkema, 1995).

A Figura 9 permite identificar as etapas envolvidas na operacionalização do controle estatístico de processos através das cartas de controle.

Dentre as vantagens percebidas por algumas indústrias na implantação das cartas de controle estão (a) a melhoria da produtividade pela redução do retrabalho e, portanto, o aumento da capacidade de produção; (b) a prevenção de defeitos dentro da filosofia de se “fazer certo da primeira vez”; (c) a prevenção de ajustes desnecessários no processo pela diferenciação entre causas especiais e causas comuns de variação do processo; (d) o prover de informações com poder de diagnosticar melhorias do processo face a uma mudança; e (e) o prover de informações sobre a capacidade do processo (Ribeiro e Caten, 1998; Montgomery, 1985).

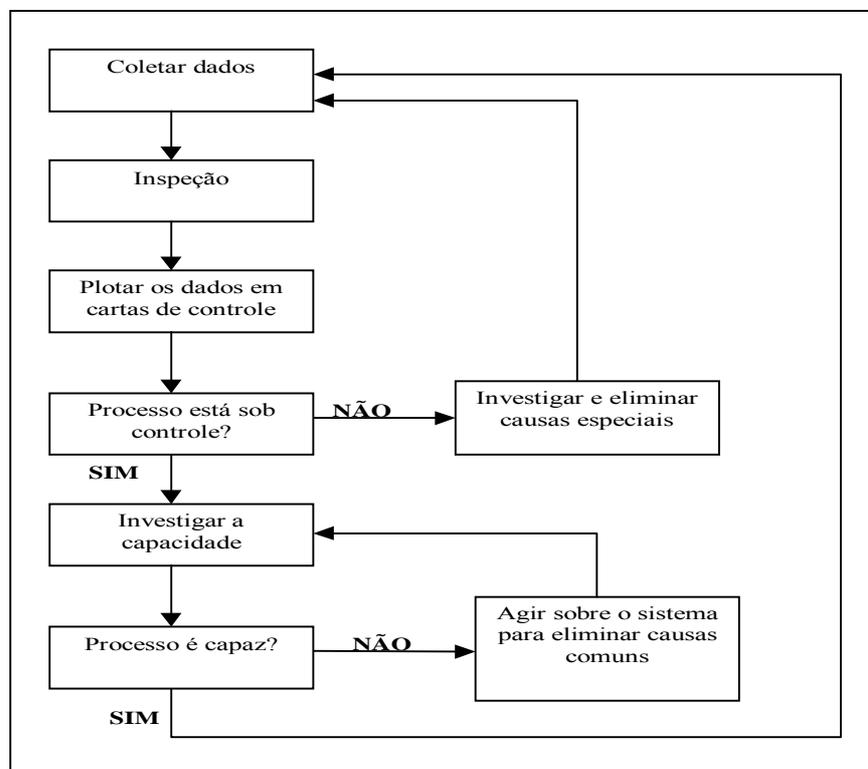


Figura 9: Estratégia para melhorias dos processos

Fonte: Ribeiro & Caten, 1998.

Dessa forma, as cartas de controle devem ser vistas como ferramentas para solucionar problemas. Entretanto, a correta utilização da carta adequada ao processo que se deseja monitorar é essencial para identificar e remediar a causa de problemas de forma rápida e eficiente (Fine, 1997).

2.3.1 Cartas de controle estatístico por variáveis

2.3.1.1 Distribuição das variáveis aleatórias contínuas

As populações das variáveis contínuas (dados amostrais) obtidas de um processo, quando coletados de forma aleatória, podem ser representadas por alguns modelos probabilísticos, como o modelo normal, o modelo exponencial ou o modelo de Weibull [ver Snedecor (1980) e Bussab (1987)].

Na distribuição Normal simétrica, unimodal, em forma de sino, com parâmetros de média μ e variância σ^2 , tal que $-\infty < \mu < +\infty$ e $0 < \sigma^2 < +\infty$, a função densidade de probabilidade é dada por (Snedecor, 1980):

$$\text{eq. 1} \quad f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad , -\infty < x < +\infty.$$

A Figura 10 ilustra a distribuição normal determinada pelos valores particulares da média μ e desvio padrão σ (no exemplo considera-se uma distribuição normal com média $\mu = 28,4$ e desvio padrão $\sigma = 0,20$).

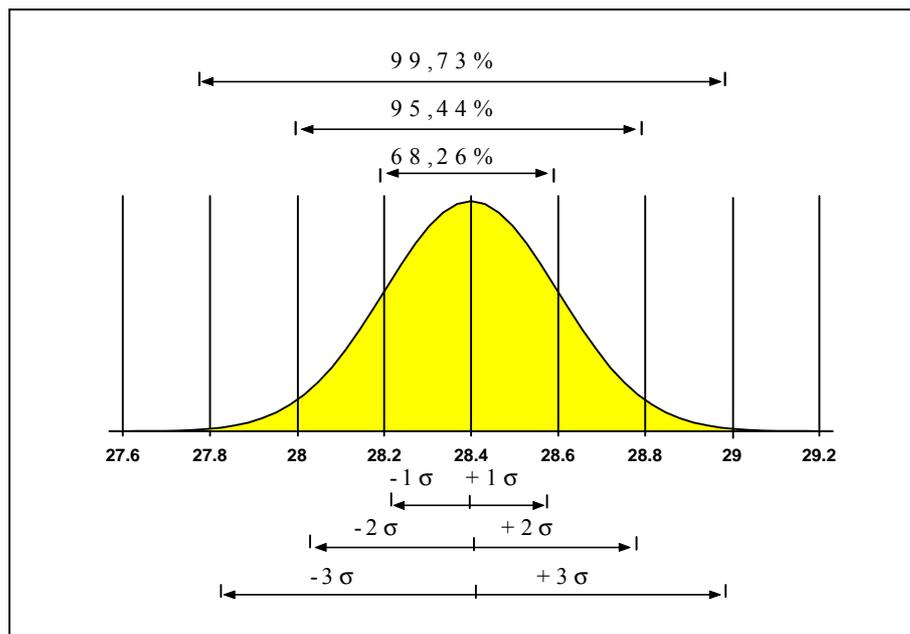


Figura 10: Percentuais associados a faixa de $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$
Fonte: Pitt, 1994.

A área abaixo da curva exemplificada na Figura 10, em um dado intervalo, indica a proporção de indivíduos da população ou processo, presentes neste intervalo. Portanto, a área total abaixo da curva normal indica 100% da população (Pitt, 1994).

Os parâmetros da normal podem ser estimados a partir de amostragem aleatória da variável de interesse. Para k amostras de tamanho n , os parâmetros da normal podem ser estimados através das equações (Snedecor, 1980):

$$\text{eq. 2} \quad \text{Média: } \bar{\bar{x}} = \mu = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k}{k}$$

$$\text{eq.3} \quad \text{Desvio-padrão: } \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

onde \bar{x}_k é a média aritmética da $k^{\text{ésima}}$ amostra e $\bar{\bar{x}}$ é a média das médias amostrais.

Na equação 3 pode-se verificar que o desvio-padrão da média amostral, representado por $\sigma_{\bar{x}}$, está relacionado com a variabilidade individual das unidades, representado por σ_x , e ao tamanho da amostra, n .

2.3.1.2 Teorema do limite central

Na inferência em estatística, independente da distribuição da população em estudo, a distribuição amostral da média de n variáveis independentes, aproxima-se de uma distribuição normal de média μ e variância σ^2/n , quando n tende ao infinito, por força do chamado teorema do limite central (Bussab, 1987).

A aproximação no teorema do limite central é mais consistente para n grandes; porém, Werner (1998) afirma que para determinadas distribuições populacionais já próximas da distribuição normal, um valor de $n = 4$ ou 5 já é suficiente na validação da aproximação. Para outras populações, em especial onde os dados sigam distribuições altamente assimétricas, é necessário $n = 20$ ou mais para que a aproximação possa ser validada.

Levinson (2000) atenta para não normalidade de alguns processos. Nestes casos, a construção das cartas de controle deve levar em conta a distribuição real das amostras. O autor propõe cartas de controle e estudo da capacidade do processo para variáveis que seguem uma distribuição gamma.

Existem vários testes para verificar a normalidade de uma distribuição; ver Snedecor (1980). Um deles baseia-se na construção de um histograma a partir das amostras para a

verificação visual da hipótese da normalidade. Pode-se, ainda, utilizar o teste de aderência do Qui-quadrado (Pitt, 1994).

Uma vez que nas cartas de controle trabalha-se com médias amostrais, segundo o teorema do limite central, estas médias seguem a distribuição normal, com parâmetros definidos nas equações 2 e 3.

2.3.1.3 Limites de controle

Os limites de controle superior e inferior refletem a variabilidade inerente do processo sendo, portanto, resultantes da incidência de causas comuns de variação. As medidas das características de qualidade são diferentes entre si, mas uma vez agrupadas, tendem a formar um padrão. Este padrão é descrito por uma distribuição de probabilidade (Ribeiro & Caten, 1998). Como normalmente nas cartas de controle estatístico do processo, trabalha-se com amostras de tamanho n , a distribuição da média destas amostragens segue a distribuição normal se as condições do teorema do limite central forem validadas.

Uma vez feita a inferência da distribuição das médias amostrais o espaço limitado pela distribuição desde seu ponto central até o limite de controle estipulado apresenta diferentes probabilidades de ocorrência de erros, dependendo da distância L entre o ponto central e o limite de controle (Caten, 1999). Estes erros são caracterizados como erro tipo I (α) ou erro tipo II (β).

A grande maioria das médias amostrais, influenciadas pela variabilidade inerente ao processo, estará contida dentro dos limites de controle. Porém, existe a possibilidade de se obter médias amostrais fora dos limites de controle que sejam influenciadas apenas por variabilidades inerentes ao processo (erro tipo I), assim como é possível se encontrar médias amostrais que estejam contidas dentro dos limites de controle, mas que estejam influenciadas por uma causa anômala ao processo (erro tipo II); ver Montgomery (1985).

Os limites de controle são calculados de tal forma que, na ausência de causas especiais atuando sobre o processo, a probabilidade de um ponto qualquer ultrapassar os limites de controle seja de aproximadamente 0,001 (Montgomery, 1985). Conseqüentemente, pontos fora dos limites de controle representam um forte indício da presença de causas especiais. É desta forma que as cartas de controle emitem um sinal de alteração da variabilidade histórica do processo separando as causas comuns (que resulta em pontos plotados dentro dos limites de controle) das causas especiais (que resulta em pontos plotados além dos limites de controle) (Hradesky, 1988).

Para o cálculo dos limites de controle se faz necessário definir um intervalo de confiança que, por exemplo, no caso do cálculo de uma média amostral com uma amostra de n valores e média igual a \bar{x} e variância σ , é a expressão do erro de estimação entre a média amostral e a populacional. O intervalo bilateral de confiança de $100(1-\alpha)\%$ para a média populacional μ será (Werner & Echeveste, 1999) dado por :

$$eq. 4 \quad \bar{x} - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Quando $z_{\alpha/2} = 3$, a probabilidade de obter-se uma média amostral fora dos limites de controle sem que haja causa especial, ou seja, $|z|$ superior a 3, é de 0,27% ($\alpha=0,27\%$). Esta é a probabilidade da presença de alarme falso (ocorrência de erro tipo I), caso o processo esteja efetivamente sob controle estatístico (Pitt, 1994).

Desta forma, normalmente, no controle estatístico de processo, utiliza-se um intervalo de confiança para as estimações de 99,73% (Caten, 1999).

Novamente no exemplo do cálculo do intervalo de confiança para a média, este será dado por:

$$eq. 5 \quad \bar{\bar{x}} - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{\bar{x}} + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Assim, os limites de controle para a média das médias amostrais, levando em consideração o erro de estimação com um intervalo de confiança de 99,73%, serão dados por:

$$eq. 6 \quad \bar{\bar{x}} - 3\sigma_{\bar{x}} \leq \mu \leq \bar{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}}$$

2.3.1.4 Estudo da capacidade do processo

O estudo da capacidade real e potencial dos processos é realizado somente após a eliminação das causas especiais. Uma vez estável, avalia-se a capacidade do processo em atender às especificações de uma determinada característica de qualidade (Oakland, 1999; Montgomery, 1985). Estas especificações estão diretamente relacionadas com a satisfação do cliente ou podem ser uma exigência deste (Feigenbaum, 1994).

Outras funções da avaliação da capacidade com vistas ao aprimoramento da qualidade do processo são (i) o auxílio no desenvolvimento de processo quanto a seleção ou modificação deste, (ii) a determinação os novos padrões de tolerância, (iii) a identificação se

um novo equipamento é capaz de atender às especificações dos clientes, e (iv) a comparação do desempenho de diferentes equipamentos (Montgomery, 1985).

A capacidade dos processos está diretamente ligada a variabilidade existente nos processos; ou seja, de materiais, equipamentos, pessoas e métodos (Pitt, 1994). Na análise de capacidade, é importante diferenciar um processo estável de um processo capaz. Processos sob controle estatístico podem não ser capazes de atender as especificações do cliente; esta situação está apresentada na Figura 11. Isso ocorre quando, apesar de estável, o processo apresenta uma variabilidade devido a causas comuns maior do que a amplitude das especificações determinadas pelos clientes.

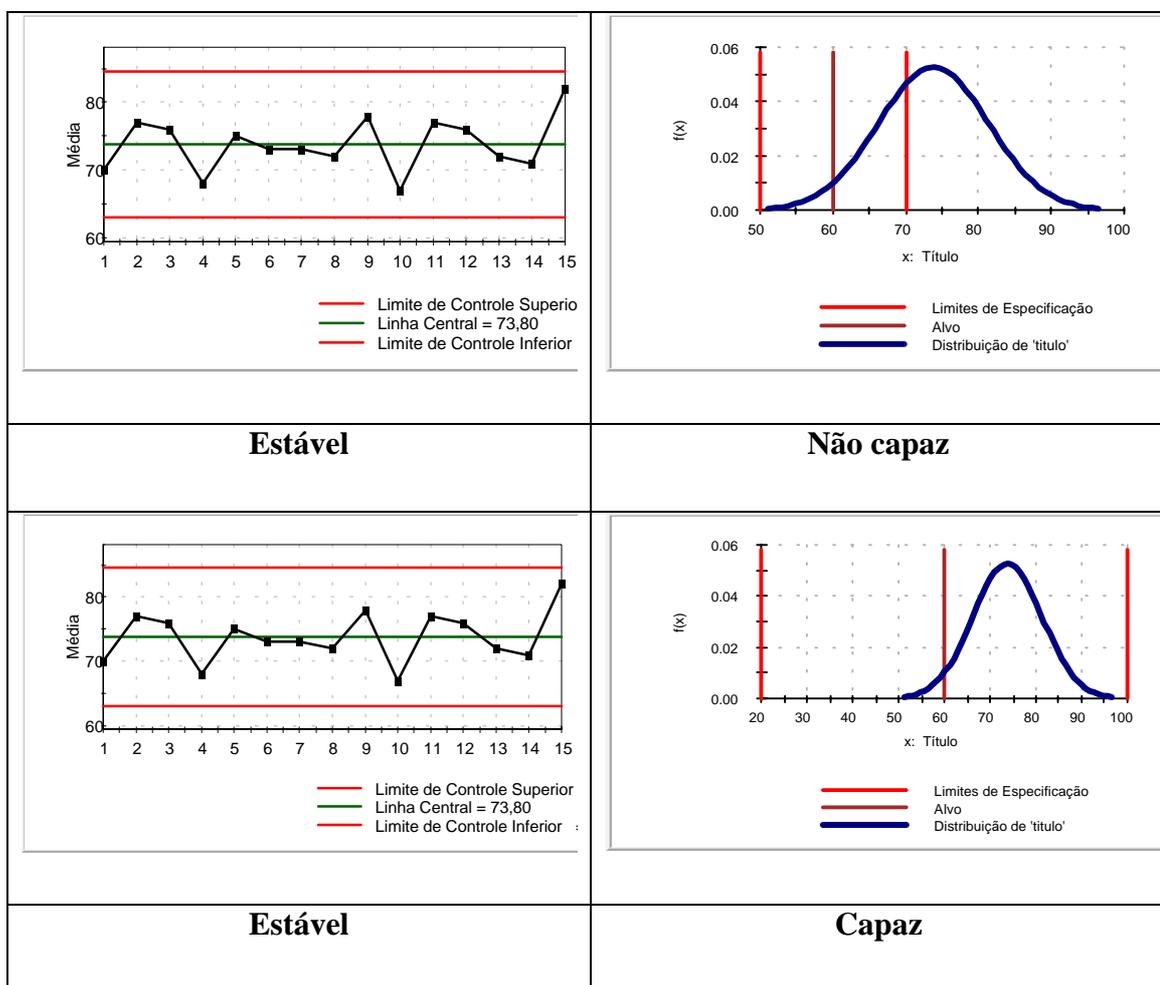


Figura.11: Processo Estável *versus* Processo Capaz

Fonte: Ribeiro & Caten, 1998.

Para analisar a capacidade do processo, é necessário conhecer a distribuição de probabilidade da variável de interesse e estimar a média e a variabilidade dos valores individuais, para então determinar os limites naturais do processo (Ribeiro e Caten, 1998).

A média dos valores individuais é igual à média das médias amostrais; porém, o desvio-padrão das médias amostrais é $1/\sqrt{n}$ menor que o desvio-padrão das observações dos valores individuais. Essa situação vem ilustrada na Figura 12.

Para uma variável de interesse normalmente distribuída, seus limites naturais são calculados como seis vezes o valor do desvio padrão (6σ). Estes limites representam uma probabilidade de 99,73% das observações do processo estarem dentro dos limites e 0,27% estarem fora dos limites naturais do processo (Ribeiro & Caten, 1998; Montgomery, 1985).

Ou seja:

$$\text{eq. 7} \quad LNI = \mu - 3\sigma$$

$$\text{eq. 8} \quad LNS = \mu + 3\sigma$$

onde LNI é o limite natural inferior do processo e LNS é o limite natural superior do processo.

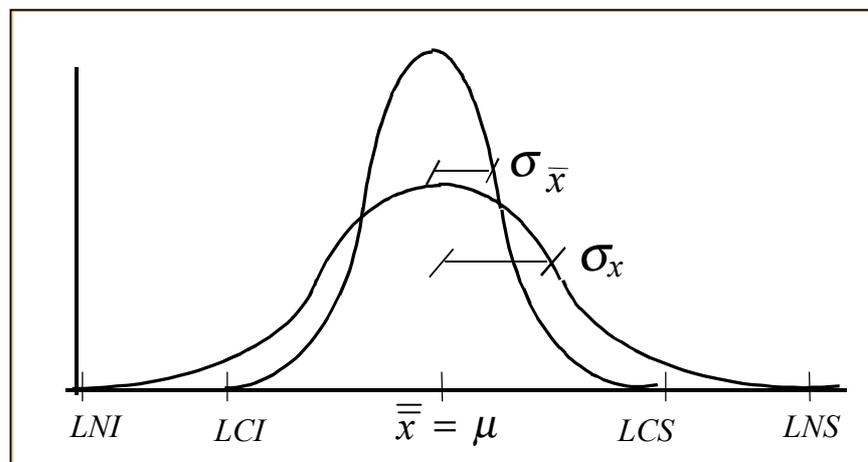


Figura 12: Distribuição dos valores individuais *versus* distribuição amostral das médias
Fonte: Ribeiro & Caten, 1998.

Se a variabilidade natural (6σ) for menor do que a amplitude entre as especificações LES (limite superior de especificação) e LEI (limite inferior de especificação) de uma dada característica de qualidade, então o processo é potencialmente capaz de atender às especificações do cliente. Inversamente, se a variabilidade natural (6σ) for maior do que a amplitude das especificações ($LES - LEI$), caracteriza um processo não-capaz de atender às especificações do cliente (Oakland, 1999).

Uma vez sob controle estatístico, pode-se calcular os índices de capacidade potencial (C_p) e real (C_{pk}) do processo; mais especificamente: (i) C_p é dado pela razão entre a amplitude

das especificações e a dispersão ou variabilidade natural do processo (6σ), e (ii) o índice C_{pk} é definido como a mínima distância entre o limite de especificação inferior e o superior e a média da característica de qualidade do processo em análise, normalizada pela semi-amplitude da característica. Estes índices são calculados supondo variáveis normalmente distribuídas (Oakland, 1999; Ribeiro & Caten, 1998). As expressões para os índices C_p e C_{pk} vêm dadas na seqüência:

$$\text{eq. 9} \quad C_p = \frac{LES - LEI}{6\sigma} = \frac{\text{Especificações}}{\text{dispersão}}$$

$$\text{eq. 10} \quad C_{pk} = \min \left\{ \frac{LES - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - LEI}{3\sigma} \right\}$$

O índice C_p , que avalia a capacidade potencial do processo, pode ser interpretado em termos da proporção ou percentual de produtos não-conformes que não atendem às especificações.

O índice C_{pk} , proposto por Kane apud Siqueira (1997), avalia a capacidade efetiva do processo, verificando se o processo está centrado ou não. Sempre que o índice C_{pk} resultar menor que o índice C_p correspondente, tem-se um processo descentrado (relativamente aos limites de especificação inferior e superior); quando o valor de C_{pk} resultar igual ao valor de C_p , tem-se um processo centrado (Ribeiro & Caten, 1998; Siqueira, 1997).

Algumas indústrias utilizam como parâmetro desejado de qualidade um $C_p > 1,33$, correspondente a uma proporção de defeituosos menor que 64 ppm. Quando o índice C_p for igual a 1,0 ($C_p > 1,0$), a fração de defeituosos pode ser considerada relativamente pequena para certos processos (ou seja, 2700 ppm). Se o valor do índice $C_p < 1,0$, o processo é incapaz de atender as especificações (Siqueira, 1997; Werkema, 1995).

Em casos onde haja apenas um limite especificado, o Índice de capacidade é calculado como mostra a seguir:

Apenas limite inferior de especificação (Ribeiro & Caten, 1998):

$$\text{eq. 11} \quad C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}$$

Apenas limite superior de especificação:

$$\text{eq. 12} \quad C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma}$$

2.3.1.5 Cartas de controle para a média

Em casos de características de qualidade mensuráveis por valores contínuos (variáveis contínuas), é necessário controlar tanto o valor central do processo quanto sua variabilidade. Para o controle do valor central, pode-se utilizar a carta de controle para a média (\bar{x}). Para o controle da variabilidade, pode-se utilizar tanto a carta de controle para a amplitude (R) como a carta de controle para o desvio-padrão (S). Porém, o mais usual, é a utilização conjunta da carta de controle para a média e a carta de controle para a amplitude (Montgomery, 1985).

A carta de controle para a média parte de estimativa da média populacional μ e sua variância σ , considerado como parâmetros desconhecidos.

O número inicial de amostras do processo no qual se deseja controlar, para o cálculo da estimativa dos parâmetros populacionais, é de no mínimo 20 a 25 (m) amostras. Cada uma destas amostras terá um tamanho de 4, 5 ou 6 observações (n); ver Werkema, 1995; Montgomery, 1985.

A média das m médias amostrais ($\bar{\bar{x}}$) será a linha central da carta das médias.

$$eq. 13 \quad \bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m}$$

A amplitude de cada uma das m amostras é calculada através da diferença entre a maior e a menor observação de cada amostra (Montgomery, 1985).

$$eq. 14 \quad R = x_{\max} - x_{\min}$$

Uma vez calculada as amplitudes de cada amostra, a média das amplitudes \bar{R} é calculada da seguinte forma (Pitt, 1994):

$$eq. 15 \quad \bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$$

Existe uma relação entre a amplitude R e o desvio-padrão σ de uma distribuição normal, dada por:

$$eq. 16 \quad W = R/\sigma$$

Os parâmetros da distribuição da variável aleatória W (amplitude relativa) são dados em função do tamanho da amostra n . A média de W é dada por d_2 , cujos valores encontram-se na Tabela 1.

Assim, a variabilidade dos valores individuais da população, σ , pode ser estimado a partir da média das amplitudes, para amostras de tamanho pequeno ($n = 4, 5$ ou 6), conforme a equação (Pitt, 1994; Montgomery, 1985):

$$eq. 17 \quad \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Uma vez estimado os parâmetros μ e σ da população, a carta de controle para as médias terá a linha central em $\bar{\bar{x}}$ e os limites de controle dados por (Siqueira, 1997; Werkema, 1995; Pitt, 1994; Montgomery, 1985):

$$eq. 18 \quad LCS = \bar{\bar{x}} + \frac{3}{d_2 \sqrt{n}} \bar{R}$$

$$eq. 19 \quad LC = \bar{\bar{x}}$$

$$eq. 20 \quad LCI = \bar{\bar{x}} - \frac{3}{d_2 \sqrt{n}} \bar{R}$$

Substituindo $A_2 = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$, tem-se:

$$eq. 21 \quad LCS = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$eq. 22 \quad LC = \bar{\bar{x}}$$

$$eq. 23 \quad LCI = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

Uma vez calculado os limites de controle com os valores amostrais, deve-se construir a carta de controle. Os valores amostrais serão plotados na carta. Se houver evidência da ocorrência de uma causa especial no gráfico (por exemplo, com um ponto acima do limite de controle superior ou um ponto abaixo do limite de controle inferior), a amostra que gerou o sinal deve ser revista para se certificar que não houve erro no cálculo ou plotagem do valor. Na ausência de erros desta natureza, deve-se pesquisar o motivo desta causa especial eliminando-a. Uma vez corrigido o processo, deve-se refazer o cálculo dos limites de controle e reconstruir o gráfico sem causas especiais (Montgomery, 1985).

2.3.1.6 Cartas de controle para a amplitude

Para acompanhar a evolução da variabilidade do processo, ao longo do tempo, pode-se utilizar a carta de controle para a amplitude. A determinação dos parâmetros da carta para a

amplitude segue o mesmo raciocínio apresentado para a carta para médias. Assume-se que sua distribuição seja normal, onde a média das amplitudes \bar{R} é a linha central da carta. A estimativa do desvio-padrão da amplitude σ_R pode ser calculada a partir da amplitude relativa $W = R/\sigma$ (Werkema, 1995; Montgomery, 1985).

O desvio-padrão de W , d_3 , é função de n e o desvio-padrão de R será:

$$\text{eq. 24} \quad \sigma_R = d_3 \sigma$$

Como não se sabe o valor real de σ , estima-se σ_R como:

$$\text{eq. 25} \quad \hat{\sigma}_R = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Assim, a carta de controle para a amplitude terá, para um intervalo de confiança de 99,73%, os seguintes limites de controle:

$$\text{eq. 26} \quad LCS = \bar{R} + 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\text{eq. 27} \quad LC = \bar{R}$$

$$\text{eq. 28} \quad LCI = \bar{R} - 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

ou, substituindo $D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2}$ e $D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$, temos:

$$\text{eq. 29} \quad LCS = \bar{R} D_4$$

$$\text{eq. 30} \quad LC = \bar{R}$$

$$\text{eq. 31} \quad LCI = \bar{R} D_3$$

Tabela 1: Valores constantes d_2 , A_2 , D_3 , D_4

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
d_2	1,13	1,69	2,06	2,33	2,53	2,70	2,85	2,97	3,08	3,47	3,74
A_2	1,88	1,02	0,73	0,58	0,48	0,42	0,37	0,34	0,31	0,22	0,18
D_3	0	0	0	0	0	0,08	0,14	0,18	0,22	0,35	0,42
D_4	3,27	2,57	2,28	2,11	2,00	1,92	1,86	1,82	1,78	1,65	1,59

Fonte: Montgomery, 1985.

Exemplo de carta de controle para a média e amplitude

Na planilha de coleta das informações para o controle da média e amplitude, manual ou eletrônica, deve-se registrar as seguintes informações (Siqueira, 1997):

- A completa identificação da característica de qualidade que está sendo medida;

- b) As anotações dos valores individuais medidos e o resultado do cálculo da média e amplitude.

Na Tabela 2 são apresentados exemplos de dados de fresa (Caten, 1999).

Cálculo dos limites de controle

Para os dados na Tabela 2, obtém-se as seguintes estimativas da média e do desvio-padrão da variável de interesse:

$$\bar{\bar{x}} = 73,8\mu m \quad e \quad \bar{R} = 18,7$$

O cálculo dos limites de controle para a carta de médias resulta em:

$$LCS = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} = 73,8 + 0,58 \times 18,7 = 84,6\mu m$$

$$LCI = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} = 73,8 - 0,58 \times 18,7 = 63,0\mu m$$

O cálculo dos limites de controle para a carta de amplitudes:

$$LCS = D_4\bar{R} = 2,11 \times 18,7 = 39,5$$

$$LCI = D_3\bar{R} = 0 \times 18,7 = 0$$

Tabela 2: Dados do exemplo da fresa: identificação mais tabela de dados

Nome da parte		Retentor					Especificação					30 a 90 microns				
Número da parte		9985-5					Instrumento					Micrômetro				
Operação		Dobra superior					Amost/Freq					5 / 2 horas				
Máquina		30					Unidade					microns				
Característica		Fresa					Carta No.					1				
Data	6/3					7/3					8/3					
Hora	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16	
Operador	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	
1	65	75	80	65	80	75	80	70	85	65	75	85	70	70	75	
2	70	70	70	65	60	70	75	65	85	65	60	65	75	65	80	
Medidas 3	75	80	70	65	80	60	65	75	75	65	75	75	75	85	85	
4	60	90	80	80	80	85	75	65	65	80	85	75	70	60	80	
5	80	70	80	65	75	75	70	85	80	60	90	80	70	75	90	
Soma	350	385	380	340	375	365	365	360	390	335	385	380	360	355	410	
Média	70	77	76	68	75	73	73	72	78	67	77	76	72	71	82	
Mediana	70	75	80	65	80	75	75	70	80	65	75	75	70	70	80	
Desvio pad	7,9	8,4	5,5	6,7	8,7	9,1	5,7	8,4	8,4	7,6	11,5	7,4	2,7	9,6	5,7	
Amplitude	20	20	10	15	20	25	15	20	20	20	30	20	5	25	15	

Estes limites de controle calculados serão utilizados para o monitoramento da produção plotando-se, primeiramente, nas cartas de controle os valores dos limites e, posteriormente, os valores obtidos ao longo do tempo para a média e amplitude das amostras coletadas. As cartas para média e amplitude resultantes a partir dos dados do exemplo são apresentados nas Figuras 13 e 14.

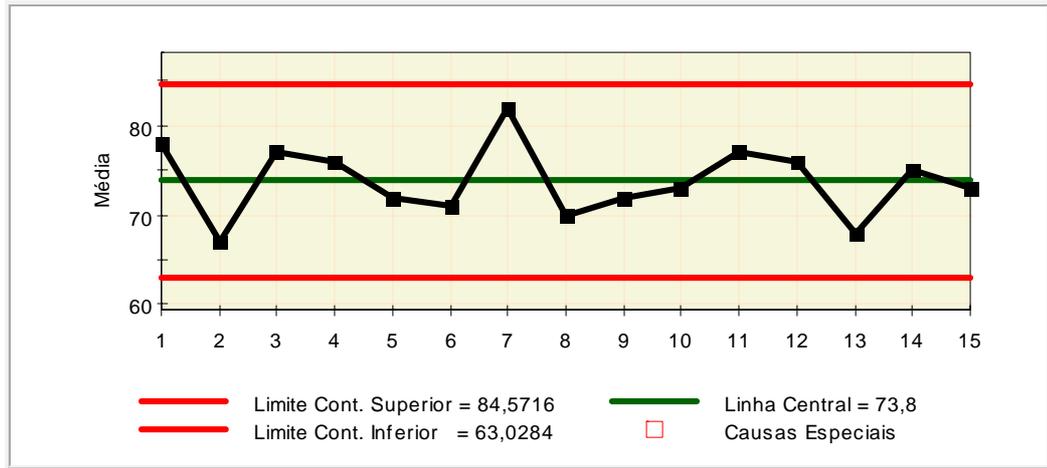


Figura 13: Carta de controle para a média

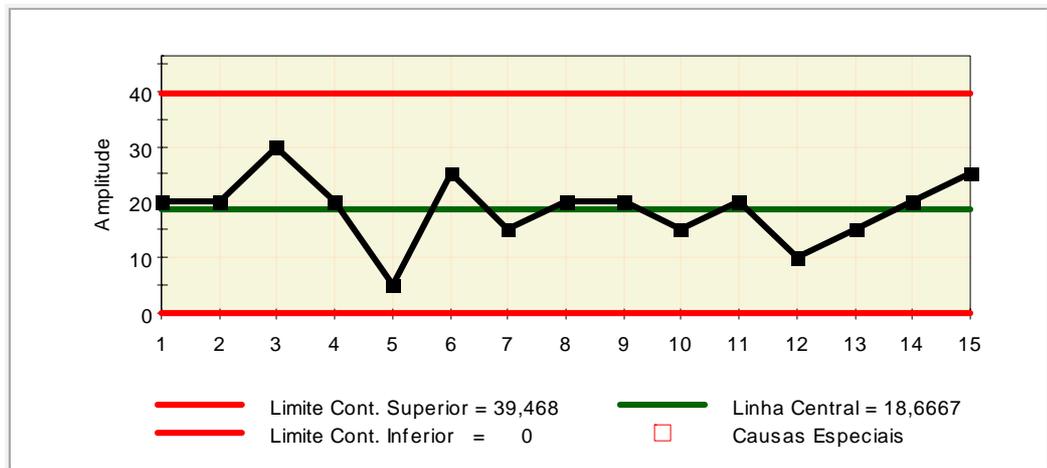


Figura 14: Carta de controle para a amplitude

Observa-se que nas Figuras 13 e 14 não há causa especial atuando no sistema e, portanto, o processo poderá ser monitorado a partir destas cartas de controle do valor médio e variabilidade, em um determinado tempo, da variável de interesse. A hipótese nula testada a cada amostra será a de que o processo mantém em seu valor médio e variabilidade, sem o aparecimento de causa especial.

2.3.1.7 Cartas de controle para o desvio-padrão

Para certos casos de controle de processo, quando o tamanho da amostra n é relativamente grande ($n > 10$ ou 12), a estimativa da variabilidade do processo pela amplitude R perde a eficiência estatística (Montgomery, 1985). Assim, é mais correto utilizar o desvio-padrão populacional, σ , estimado a partir do desvio-padrão médio amostral, \bar{s} (Siqueira, 1997):

$$\text{eq. 32} \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

e

$$\text{eq. 33} \quad \bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_m}{m}$$

Caten (1999) recomenda o uso da carta de desvio-padrão quando os dados forem coletados por computador, pela facilidade de se implementar a rotina de cálculo, ou em casos de processos sofisticados, controlados por especialistas, em que se colem amostras grandes.

Porém, esta estimativa da variabilidade do processo é tendenciosa. Se a distribuição for normal, então s é a estimativa de $c_4\sigma$, onde c_4 é uma constante dependente de n . O desvio-padrão de s é $\sigma\sqrt{1-c_4^2}$ (Montgomery, 1985).

Assim, os limites de controle da carta para o desvio-padrão a partir de um estimador não tendencioso de σ , são dados por:

$$\text{eq. 34} \quad LCS = \bar{s} + 3 \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1-c_4^2}$$

$$\text{eq. 35} \quad LC = \bar{s}$$

$$\text{eq. 36} \quad LCI = \bar{s} - 3 \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1-c_4^2}$$

Substituindo:

$$\text{eq. 37} \quad B_3 = 1 - \frac{3}{c_4} \sqrt{1-c_4^2}$$

$$\text{eq. 38} \quad B_4 = 1 + \frac{3}{c_4} \sqrt{1-c_4^2}$$

tem-se:

$$\text{eq. 39} \quad LCS = B_4 \bar{s}$$

$$\text{eq. 40} \quad LC = \bar{s}$$

$$\text{eq. 41} \quad LCI = B_3 \bar{s}$$

Quando se utiliza $\frac{s}{c_4}$ para estimar σ , os limites de controle da carta para média são calculados como segue:

$$\text{eq. 42} \quad LCS = \bar{\bar{x}} + \frac{3\bar{s}}{c_4\sqrt{n}}$$

$$\text{eq. 43} \quad LC = \bar{\bar{x}}$$

$$\text{eq. 44} \quad LCI = \bar{\bar{x}} - \frac{3\bar{s}}{c_4\sqrt{n}}$$

substituindo a constante $A_3 = \frac{3}{(c_4\sqrt{n})}$, temos:

$$\text{eq. 45} \quad LCS = \bar{\bar{x}} + A_3\bar{s}$$

$$\text{eq. 46} \quad LC = \bar{\bar{x}}$$

$$\text{eq. 47} \quad LCI = \bar{\bar{x}} - A_3\bar{s}$$

Os valores das constantes B_3 , B_4 e A_3 são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores das constantes B_3 , B_4 e A_3

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
B_3	0	0	0	0	0,03	0,12	0,19	0,24	0,28	0,43	0,51
B_4	3,27	2,57	2,27	2,09	1,97	1,88	1,82	1,76	1,72	1,57	1,49
A_3	2,66	1,95	1,63	1,43	1,29	1,18	1,10	1,03	0,98	0,79	0,68

Fonte: Montgomery, 1985.

Exemplo da carta de controle para a média e desvio-padrão

Usando o mesmo exemplo da fresa anteriormente apresentado, pode-se obter cartas de controle para a média e desvio-padrão.

Para o exemplo da Tabela 2, obtém-se as seguintes estimativas da média e desvio-padrão da variável de interesse:

$$\bar{\bar{x}} = 73,8 \quad e \quad \bar{s} = 7,55$$

Limite das médias:

$$LCS = \bar{\bar{x}} + A_3\bar{s} = 73,8 + 1,43 \times 7,55 = 84,6$$

$$LCI = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{s} = 73,8 - 1,43 \times 7,55 = 63,0$$

Limites do desvio-padrão:

$$LCS = B_4\bar{s} = 2,09 \times 7,55 = 15,77$$

$$LCI = B_3\bar{s} = 0,00 \times 7,55 = 0,00$$

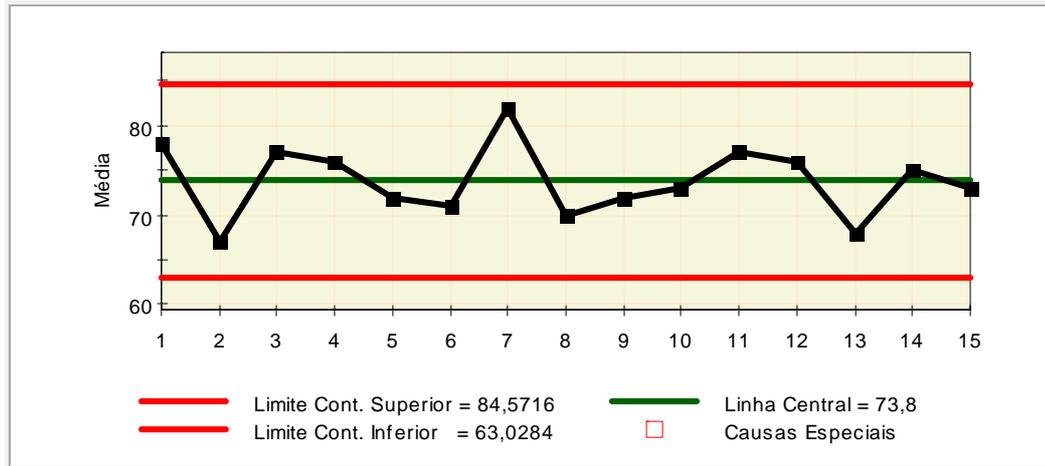


Figura 15: Carta de controle para a média

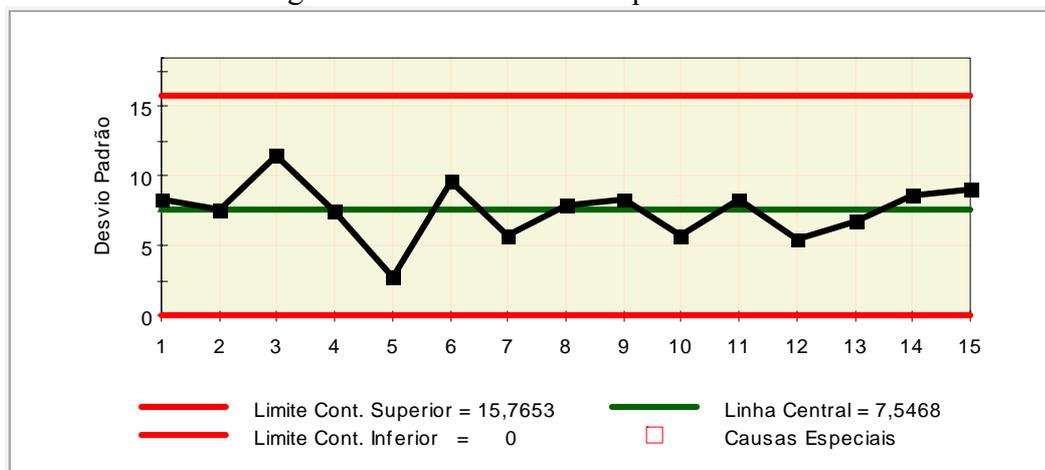


Figura 16: Carta de controle para o desvio padrão

Como apresentado nas figuras 15 e 16, as cartas para a média e desvio-padrão poderão ser utilizadas no controle do valor médio e variabilidade da variável do processo em questão, ao longo do tempo, por não apresentar nenhuma causa anômala a esse.

2.3.1.8 Cartas de controle para a variância

Montgomery (1985) cita, ainda, a possibilidade da utilização da carta de controle para a variância amostral, s^2 , que possui os parâmetros como descrito nas Equações 48, 49 e 50:

$$\text{eq. 48} \quad LCS = \frac{\bar{s}^2}{n-1} \chi_{\alpha/2, n-1}^2$$

$$\text{eq. 49} \quad LC = \bar{s}^2$$

$$\text{eq. 50} \quad LCI = \frac{\bar{s}^2}{n-1} \chi_{1-(\alpha/2), n-1}^2$$

Utiliza-se, nesse caso, a distribuição do Qui-Quadrado para se definir os limites de controle da carta, a uma probabilidade de $\alpha/2$ e com $n-1$ graus de liberdade.

Uma variação dessa carta utiliza a variância populacional, σ^2 , quando disponível, em substituição à variância amostral (Montgomery, 1985).

2.3.1.9 Cartas de controle para a mediana e amplitude

A carta para a mediana utiliza a mediana em substituição da média aritmética como medida da tendência central.

A mediana, \tilde{x} , é definida como o valor central de uma amostra. Para seu cálculo, se faz necessário ordenar de forma crescente os valores individuais da amostra. Em caso de tamanho de amostra, n , ímpar, a mediana será o valor central. Em caso de n par, a mediana será a média simples dos dois valores centrais (Werner & Echeveste, 1999).

A carta para a mediana possui duas grandes vantagens: (a) é de fácil cálculo; (b) seu valor é robusto à presença de dados atípicos (Caten, 1999). Por estar baseado no valor central de uma amostra, em caso de se ter um valor individual atípico na amostra, a mediana não será influenciada por este valor, diferentemente da média aritmética.

Nas cartas para a mediana, o que se procura é a simplicidade de cálculo para facilitar a utilização da carta; para tanto, a amostra deve ser pequena e, de preferência, de tamanho ímpar (3, 5 ou 7); ver Ribeiro & Caten (1998).

Também no caso de cartas para a mediana, utiliza-se uma carta para a amplitude, em paralelo, visando o monitoramento da variabilidade do processo. Os limites de controle das cartas são dados por:

Amplitude:

$$\text{eq. 51} \quad LCS = D_4 \bar{R}$$

$$\text{eq. 52} \quad LC = \bar{R}$$

$$\text{eq. 53} \quad LCI = D_3 \bar{R}$$

Mediana:

$$\text{eq. 54} \quad LCS = \bar{\tilde{x}} + \tilde{A}_2 \bar{R}$$

$$\text{eq. 55} \quad LC = \bar{\tilde{x}}$$

$$\text{eq. 56} \quad LCI = \bar{\tilde{x}} - \tilde{A}_2 \bar{R}$$

onde \tilde{A}_2 é uma constante dependente de n , apresentada na tabela 5.

Tabela 4: Valores da constante \tilde{A}_2

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
\tilde{A}_2	1,88	1,19	0,80	0,69	0,55	0,51	0,43	0,41	0,36

Fonte: Ribeiro & Caten, 1998.

Exemplo da carta de controle para a mediana e amplitude

Cálculo dos limites de controle

Para o exemplo da Tabela 2, obtém-se:

$$\bar{\tilde{x}} = 73,6 \quad e \quad \bar{R} = 18,7$$

Limite da mediana:

$$LCS = \bar{\tilde{x}} + \tilde{A}_2 \bar{R} = 73,6 + 0,69 \times 18,7 = 86,6$$

$$LCI = \bar{\tilde{x}} - \tilde{A}_2 \bar{R} = 73,6 - 0,69 \times 18,7 = 60,8$$

Limites da amplitude:

$$LCS = D_4 \bar{R} = 2,11 \times 18,7 = 39,5$$

$$LCI = D_3 \bar{R} = 0 \times 18,7 = 0$$

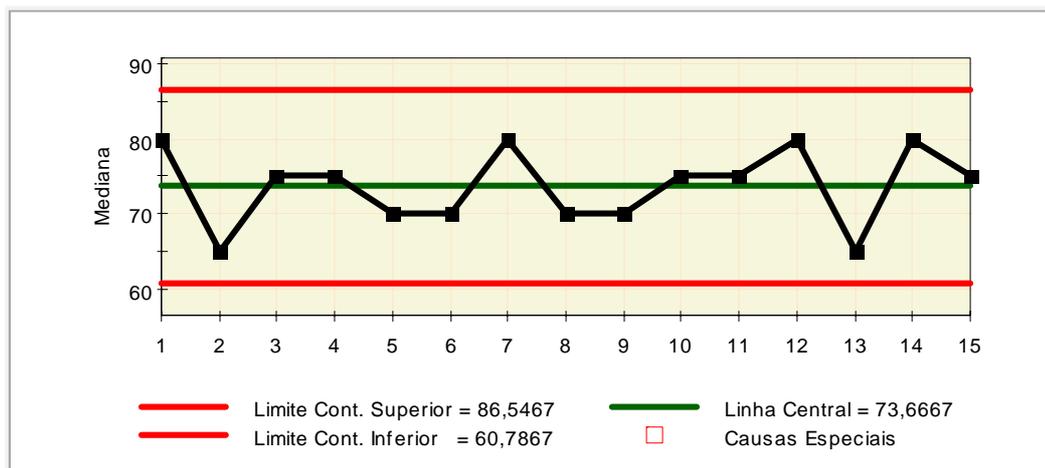


Figura 17: Carta de controle para a mediana

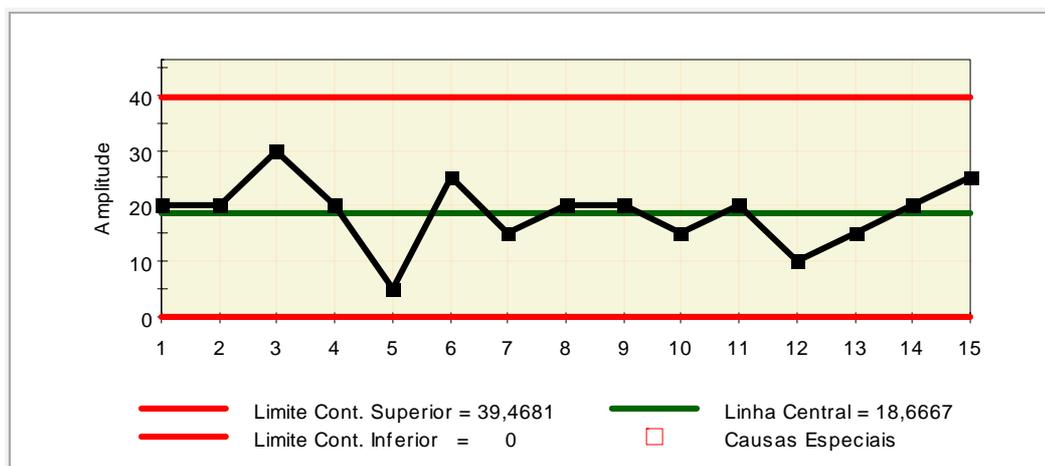


Figura 18: Carta de controle para a amplitude

Como apresentado nas figuras 17 e 18, as cartas para a mediana e amplitude também poderão ser utilizadas no controle do valor médio e variabilidade da variável do processo em questão, por não apresentarem causa especial.

2.3.1.10 Cartas de controle para valores individuais

Em determinados processos o monitoramento da característica de qualidade é feito sobre todas as unidades produzidas, ou por necessidade ou porque a taxa produzida é muito baixa (Werkema, 1995, Montgomery, 1985). Em outros processos, os testes são de custo alto (parada de produção, testes destrutivos) ou a variação da característica de qualidade é muito baixa para uma mesma batelada, como nos processos químicos (Ribeiro & Caten, 1998). Nesse último caso, não é viável ou não é possível coletar amostras de tamanho n maior que um ($n=1$). Assim, um controle a partir do valor da medida individual, usando-as em lugar da tendência central da amostra, deve ser utilizado.

Wheeler (1998) ressalta a relevância de se conhecer os fundamentos estatísticos das cartas de controle para não incorrer em erros de aplicação de cálculos sobre dados disponíveis de um processo, principalmente na utilização de dados históricos de valores individuais.

O teorema do limite central utilizado nas cartas já citadas, que garante a normalidade da distribuição das médias, não é aplicado nas cartas para valores individuais e, portanto, a distribuição real da amostragem deve ser utilizada para a interpretação das cartas. Além deste fato, as cartas de valores individuais não podem ser utilizadas para avaliar a dispersão do processo e estas não são tão sensíveis as mudanças no processo como as cartas para médias (Caten, 1999).

No entanto, na carta de controle para valores individuais, a amplitude móvel é calculada como a diferença entre duas amostras sucessivas, considerando uma só amostra de tamanho $n=2$ (Werkema, 1995).

Assim, obtêm-se os seguintes limites de controle da carta de valores individuais:

- Amplitude Móvel (\overline{AM}):

$$\text{eq. 57} \quad LCS = D_4 \overline{AM}$$

$$\text{eq. 58} \quad LC = \overline{AM}$$

$$\text{eq. 59} \quad LCI = D_3 \overline{AM}$$

- Valores individuais:

$$\text{eq. 60} \quad LCS = \bar{x} + E_2 \overline{AM}$$

$$\text{eq. 61} \quad LC = \bar{x}$$

$$\text{eq. 62} \quad LCI = \bar{x} - E_2 \overline{AM}$$

onde, E_2 é uma constante dependente de n , e somente utilizada se a distribuição for aproximadamente simétrica (como é o caso da distribuição Normal). Os valores de E_2 são apresentados na Tabela 5 para diferentes tamanhos de amostra.

Tabela.5: Valores da constante E_2

n	2	3	4	5	6
E_2	2,66	1,77	1,46	1,29	1,18

Fonte:Ribeiro & Caten, 1998.

Exemplo de carta de controle para valores individuais

Na Tabela 6 são apresentados os dados da medida do teor de pureza de uma substância química produzida por uma indústria química em bateladas. A reação química para produzir tal substância é lenta e o teor de pureza deve ser superior a 75% (Werkema, 1995).

Tabela 6: Valores do teor de pureza de uma substância química

Número da amostra	Teor de pureza (%)	Amplitude móvel
i	x	AM
1	92,9	
2	94,9	2,0
3	89,8	5,1
4	95,2	5,4
5	92,8	2,4
6	92,2	0,6
7	88,3	3,9
8	90,4	2,1
9	89,1	1,3
10	90,7	1,6
11	93,0	2,3
12	93,9	0,9
13	94,8	0,9
14	96,4	1,6
15	91,4	5,0
16	89,2	2,2
17	93,7	4,5
18	90,8	2,9
19	91,8	1,0
20	93,1	1,3
21	89,9	3,2
22	93,4	3,5
23	87,2	6,2
24	92,2	5,0
Média	91,96	2,82

Fonte: Werkema, 1995.

Cálculo dos limites de controle

Para o exemplo da Tabela 6, obtém-se as seguintes estimativas para a média e amplitude móvel da variável em questão:

$$\bar{x} = 91,96\% \quad e \quad \overline{AM} = 2,82$$

O cálculo dos limites de controle para a carta das médias dos valores individuais é apresentado abaixo:

$$LCS = \bar{x} + E_2 \overline{AM} = 91,96 + 2,66 \times 2,82 = 99,46\%$$

$$LCI = \bar{x} - E_2 \overline{AM} = 91,96 - 2,66 \times 2,82 = 84,46\%$$

O cálculo dos limites de controle para a carta da amplitude móvel resulta em:

$$LCS = D_4 \overline{AM} = 3,267 \times 2,82 = 9,21$$

$$LCI = D_3 \overline{AM} = 0 \times 2,82 = 0$$

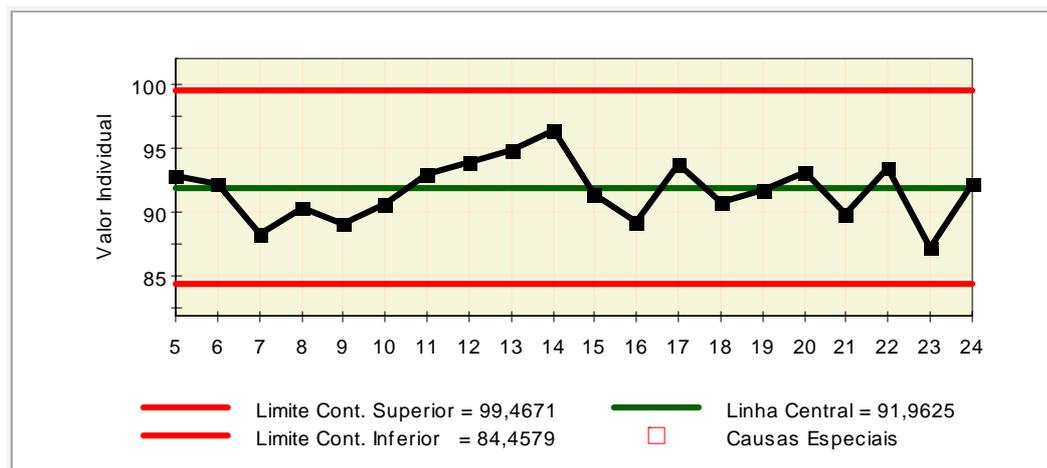


Figura 19: Carta de controle para médias de valores individuais

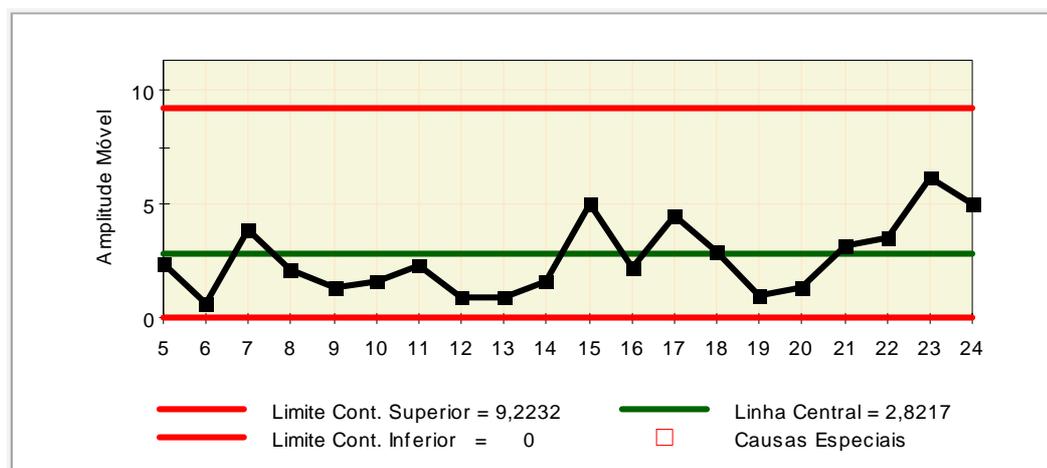


Figura 20: Carta de controle para a amplitude móvel

Como apresentado nas figuras 19 e 20, as cartas de controle para a média e amplitude móvel poderão ser utilizadas no controle do valor médio e variabilidade da variável do processo em batelada supracitado, ao longo do tempo, por não apresentar nenhuma causa anômala a esse.

2.3.1.11 Outras cartas de controle estatístico para variáveis

Além das cartas tradicionais para o controle estatístico de variáveis descritas acima, existem outras cartas desenvolvidas para se adequarem a determinadas situações de processo nas quais as cartas tradicionais não são eficazes.

Page apud Montgomery (1985) propôs uma carta para a soma acumulada (carta CUSUM) com o objetivo de se ter maior informação da localização do processo dada por toda a seqüência de pontos, e não apenas do último ponto plotado, como nas cartas de Shewhart. Assim, na carta CUSUM, é calculada a soma acumulada S_m pela diferença do valor da média da última amostra m de tamanho n e a média das médias, levando em consideração todas as médias das amostras anteriores, isto é:

$$\text{eq. 63} \quad S_m = \sum_{i=1}^m (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})$$

O valor da média das médias pode ser substituído por um valor alvo, por exemplo, o valor central dos limites de especificação (Oakland, 1999).

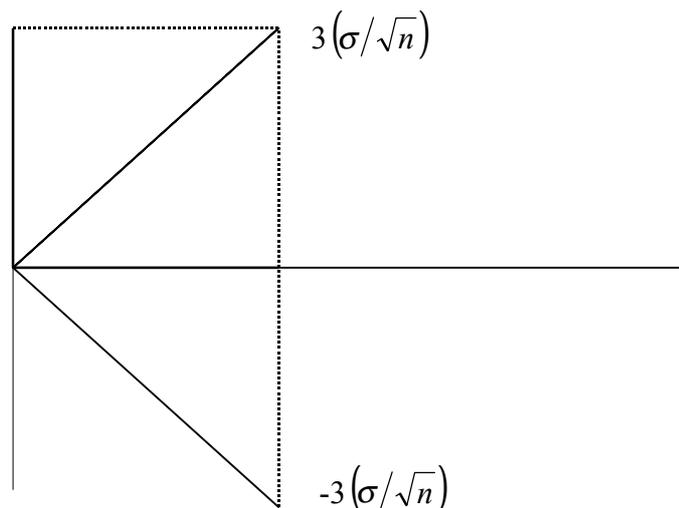


Figura 21: Máscara em forma de V para delimitar variabilidade na carta CUSUM

Na interpretação da carta CUSUM, se:

- $S_m > S_{m-1}$, indica uma observação acima do valor alvo;
- $S_m < S_{m-1}$, indica uma observação abaixo do valor alvo;

- $S_m = S_{m-1}$, indica uma observação no valor alvo;
- Houver de mudança de direção dos valores subseqüentes, indica uma mudança de nível das observações (Oakland, 1999).

Para os limites do controle se utiliza uma máscara em forma de V, limitando em seu espaço interior as causas comuns de variabilidade como mostra a Figura 21. Este espaço corresponde a múltiplos da variabilidade da média das médias, (σ/\sqrt{n}) .

A carta CUSUM é uma carta para o monitoramento da localização do processo.

2.3.2 Cartas de controle estatístico por atributos

2.3.2.1 Ensaio de Bernoulli

Em certos ensaios pode-se ter resultados discretos que apresentam ou não uma determinada característica. Quando em uma amostra (ensaio) um resultado é o sucesso (1) ou falha (0) tem-se uma variável aleatória de Bernoulli. Por exemplo, uma moeda é lançada e o resultado pode ser “cara” (1) ou “coroa” (0). Chama-se este ensaio de ensaio de Bernoulli. (Bussab, 1987).

2.3.2.2 Distribuição binomial

A distribuição de probabilidade que descreve uma população de variáveis aleatórias discretas de Bernoulli, onde sua ocorrência poderá ser uma seqüência de sucessos ou falhas (defeituosos ou não defeituosos), é a distribuição binomial; ver Snedecor, (1980).

Esta distribuição supõe que cada observação de cada elemento da amostra ou ensaio de Bernoulli seja independente e a probabilidade de sucesso p seja sempre constante (Werner, Echevest, 1999).

Assim, em uma amostra de tamanho n de uma dada população (n ensaios de Bernoulli), com x elementos possuindo o atributo de interesse (sucesso), a probabilidade de x assumir o valor k é igual a:

$$eq. 64 \quad P[x = k] = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}, \quad k=0, 1, \dots, n$$

onde $\binom{n}{k}$ = número de combinações de n elementos assumindo o valor $k =$

$\frac{n!}{k!(n-k)!}$ é denominado coeficiente binomial.

Os parâmetros da distribuição Binomial são n e p (Snedecor, 1980). A média e a variância são dados a seguir:

$$\text{eq. 65} \quad \mu = np$$

$$\text{eq. 66} \quad \sigma^2 = np(1-p)$$

2.3.2.3 Cartas de controle para a proporção de itens defeituosos – p

Em uma amostragem aleatória de tamanho n , a proporção de itens defeituosos, ou porcentagem de itens defeituosos é facilmente calculada através da expressão [Montgomery (1985)]:

$$\text{eq. 67} \quad \hat{p} = \frac{x}{n}$$

onde, x é igual ao número de defeituosos da amostra de tamanho n .

A média e a variância de \hat{p} são expressas por:

$$\text{eq. 68} \quad \mu_{\hat{p}} = p$$

$$\text{eq. 69} \quad \sigma^2_{\hat{p}} = \frac{p(1-p)}{n}$$

Desta forma o gráfico de controle para a fração defeituosa terá por linha média a média de \hat{p} e os limites de controle serão definidos por $\mu_{\hat{p}} \pm 3 \sigma_{\hat{p}}$ (Pitt, 1994; Montgomery, 1985), isto é:

$$\text{eq. 70} \quad \text{LCS} = p + 3\sqrt{p(1-p)/n}$$

$$\text{eq. 71} \quad \text{LC} = p$$

$$\text{eq. 72} \quad \text{LCI} = p - 3\sqrt{p(1-p)/n}$$

Se o valor do limite de controle inferior for um número negativo, deve-se considerá-lo igual a zero. Isto pode ocorrer quando p é um valor pequeno (Werkema, 1995).

Exemplo de carta de controle para não conformes p

Para um processo de rotulagem de bebidas alcoólicas, uma das características de qualidade é a fixação do rótulo. Esta fixação pode ser de completa aderência do rótulo a garrafa, ou formação de bolhas ou extremidades não aderidas. O mais prático durante o processo produtivo é verificar se a fixação é conforme (completamente aderida) ou não-conforme (demais casos). Na Tabela 7 é apresentado um exemplo de dados de fixação de

rótulos em um processo de rotulagem de bebidas alcoólicas, onde a amostra tem tamanho 100 e a frequência de amostragem é de 2 em 2 horas.

Tabela 7: Dados do exemplo de fixação de rótulos: identificação mais tabela de dados

	Rótulo					Especificação					Conforme/não conforme											
Número da parte	23					Instrumento					Análise Visual											
Operação	Rotulagem					Amost/Freq					100 / 2 horas											
Máquina	1					Unidade																
Característica	Fixação					Carta No.					1											
Data	6/3					7/3					8/3					9/3					10/3	
Hora	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16	8	10
Operador	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	A	A
Não conformes	19	11	12	3	11	8	19	15	11	0	11	15	10	6	7	17	10	3	19	10	5	20
\hat{p}	0,2	0,1	0,1	0	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0	0,2	0,1	0,1	0,2

Cálculo dos limites de controle

Para os cálculos do exemplo na Tabela 7, obtém-se as seguintes estimativas da média:

$$A \text{ média de } \hat{p} = p = 0,106$$

O cálculo dos limites de controle para a carta de não-conforme p resulta em:

$$LCS = p + 3\sqrt{p(1-p)/n} = 0,106 + 3\sqrt{0,106(1-0,106)/100} = 0,204$$

$$LC = p = 0,106$$

$$LCI = p - 3\sqrt{p(1-p)/n} = 0,106 - 3\sqrt{0,106(1-0,106)/100} = 0,016$$

Os limites de controle calculados serão utilizados para o monitoramento da rotulagem, plotando-se, primeiramente, nas cartas de controle para fração defeituosa os valores dos limites e, posteriormente, os valores obtidos ao longo do tempo para a proporção de não-conformes das amostras coletadas (Figura 22).

Quando uma característica de qualidade de um processo ou produto é avaliada como não-conforme ou conforme, esta característica será sempre do tipo menor-é-melhor. Em outras palavras, quanto menor a fração de itens defeituosos em um processo, melhor é este processo. Desta forma, em processos monitorados por cartas de controle para fração defeituosa, se houver uma causa especial de um ponto abaixo do limite de controle inferior, isto significa que o processo melhorou, como mostra a Figura 22. Neste caso, a causa da melhoria deve ser pesquisada, com o objetivo de melhorar o processo.

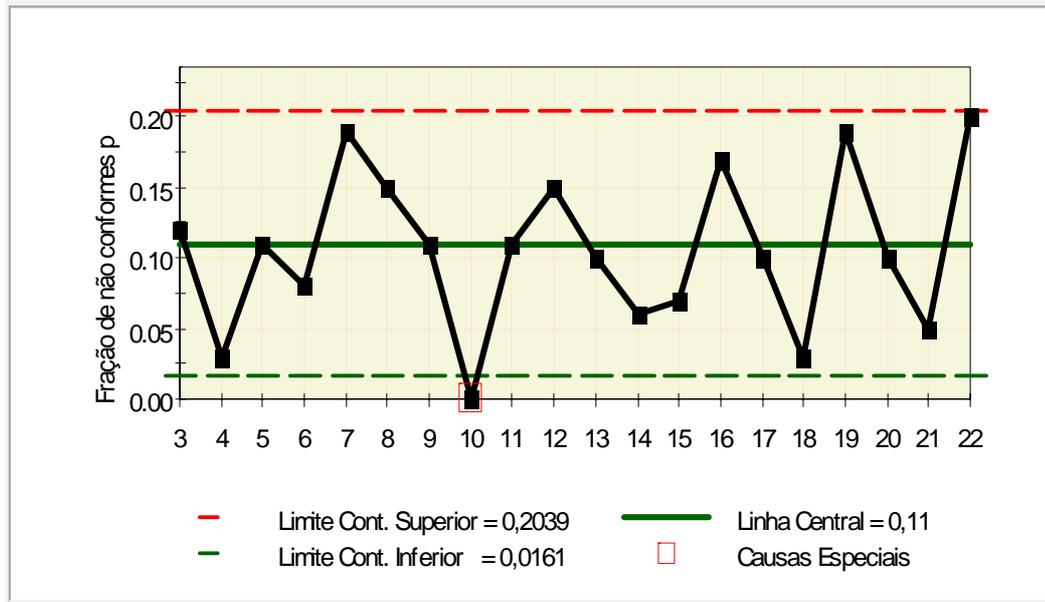


Figura 22: Carta de controle da fração de itens não conformes

2.3.2.4 Cartas de controle para o número de itens defeituosos – np

A carta de controle para o número de itens defeituosos (np) diferencia-se da carta de proporções de itens defeituosos (p) somente pela obrigatoriedade de se trabalhar com amostras de tamanho n constante. Porém, para certos processos e principalmente, para o pessoal com pouco treino em Estatística, o número de itens não-conforme tem maior significado que sua proporção (MacNeese & Klein, 1991).

Os limites de controle para a carta np são dados por (Pitt, 1994; Montgomery, 1985):

$$\text{eq. 73} \quad LCS = np + 3\sqrt{np\left(1 - \frac{np}{n}\right)}$$

$$\text{eq. 74} \quad LC = np$$

$$\text{eq. 75} \quad LCI = np - 3\sqrt{np\left(1 - \frac{np}{n}\right)}$$

onde np é igual à média do número de não-conformes das amostras de tamanho constante n .

Exemplo de carta de controle para o número de não-conformes np

Para o exemplo de fixação de rótulos em um processo de rotulagem apresentado anteriormente, a partir dos dados da Tabela 7, calcula-se os limites de controle da carta np como a seguir:

Para os cálculos do exemplo na Tabela 7, obtém-se as seguintes estimativas da média do número de não conformes:

$$np = 10,6$$

O cálculo dos limites de controle é apresentado a seguir:

$$LCS = np + 3\sqrt{np(1 - \frac{np}{n})} = 10,6 + 3\sqrt{10,6(1 - \frac{10,6}{100})} = 20,4$$

$$LC = np = 10,6$$

$$LCI = np - 3\sqrt{np(1 - \frac{np}{n})} = 10,6 - 3\sqrt{10,6(1 - \frac{10,6}{100})} = 1,61$$

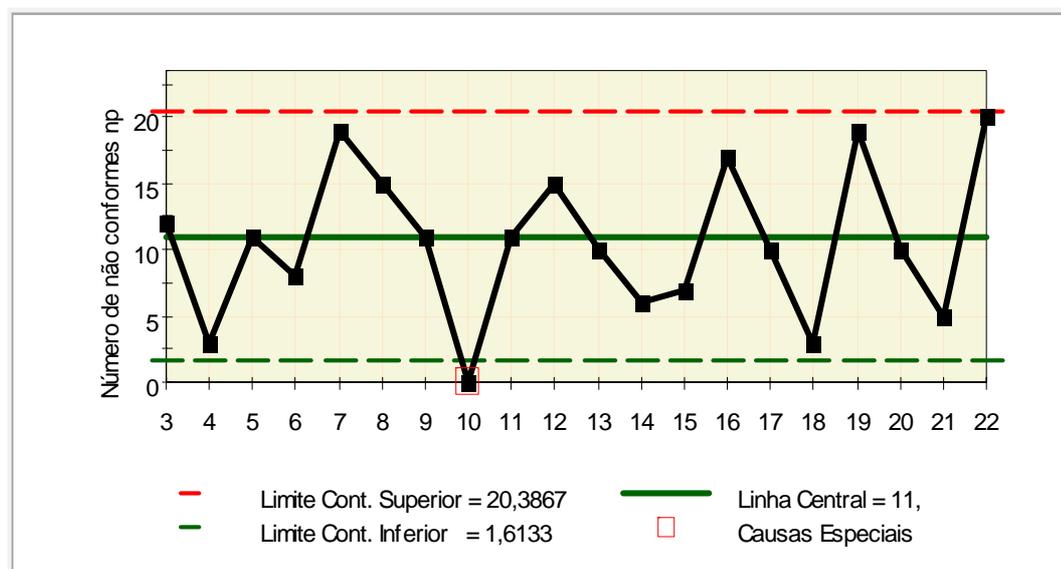


Figura 23: Carta de controle para o número de itens não conformes

A carta de controle para o número de itens defeituosos pode ser utilizada ao longo do tempo para o monitoramento do processo. A presença de uma causa especial abaixo do limite inferior de controle deve ser analisada a fim de verificar a causa da melhoria do processo.

2.3.2.5 Cartas de controle para o número de defeitos – c

A carta de controle para o número de defeitos é utilizada em casos onde se observa o número de não-conformidades (defeitos) de uma ou mais característica de qualidade por unidade de área ou por produto (Kume, 1993). Em determinados processos ou produtos, é possível se ter um ou mais defeitos que não caracterizem o produto como não-conforme. Nestes processos, a ocorrência das não-conformidades, em amostras de tamanho constante, segue a distribuição de Poisson e possui função de probabilidade dada por (Werkema, 1995, Montgomery, 1985):

$$\text{eq. 76} \quad p(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

onde x é igual ao número de defeitos e possui valor inteiro ($x = 0, 1, 2, \dots$)

O parâmetro da distribuição de Poisson é λ .

O controle do número de defeitos pode ser efetuado a partir de uma carta c (Montgomery, 1985) com limites de controle dados por:

$$\text{eq. 77} \quad LCS = c + 3\sqrt{c}$$

$$\text{eq. 78} \quad LC = c$$

$$\text{eq. 79} \quad LCI = c - 3\sqrt{c}$$

onde c é igual a média do número de não conformidades em n unidades de inspeção.

Os limites de controle da carta c são simples de calcular. Além disto, a utilização da carta no chão de fábrica é bastante facilitada, bem como a interpretação de seu comportamento (Pitt, 1994).

Exemplo de carta de controle para não conformidades c

No processo de pintura de chapas de aço, pode-se encontrar defeitos na pintura como bolhas ou manchas. Neste processo pode-se utilizar a carta de controle para defeitos por unidade de chapa pintada. Na Tabela 8 são apresentados dados de não conformidades em um processo de pintura de chapas de aço.

Tabela 8: Dados do exemplo de pintura de chapas de aço

Operação	Pintura																					
Máquina	1																					
Especificação	Conformidade/										Não conformidade											
	Instrumento										Análise Visual											
	Amost/Freq										1 / 2 horas											
	Carta No.										1											
Data	6/3					7/3					8/3					9/3					10/3	
Hora	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16	8	10
Operador	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	A	A
Não conformidades	21	24	16	15	15	28	20	25	24	19	16	15	19	17	22	17	18	24	19	17	15	20

Cálculo dos limites de controle

Para os cálculos do exemplo na Tabela 8, obtém-se as seguintes estimativas da média de defeitos:

$$c = 19,36$$

O cálculo dos limites de controle resulta em:

$$LCS = c + 3\sqrt{c} = 19,36 + 3\sqrt{19,36} = 32,56$$

$$LC = c = 19,36$$

$$LCI = c - 3\sqrt{c} = 19,36 - 3\sqrt{19,36} = 6,16$$

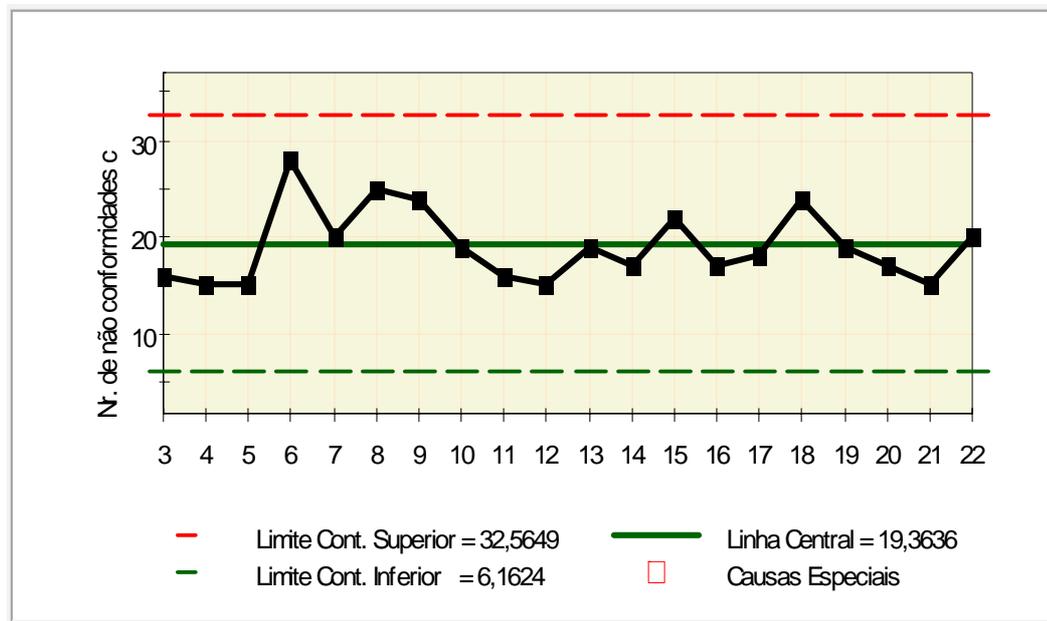


Figura 24: Carta de controle para o número de não conformidades

A partir da carta de controle para o número de defeitos do exemplo, o referido processo pode ser monitorado ao longo do tempo.

2.3.2.6 Cartas de controle para o número de defeitos por unidade – u

Semelhantemente à carta de número de não-conformidades c , a carta u também controla o número de não conformidades de um produto, porém neste caso, o faz por unidade de produto. Portanto, as amostras poderão conter diferentes números de unidades (Kume, 1993).

A estatística de interesse u a ser monitorada na carta de controle é definida como:

$$\text{eq. 80} \quad \hat{u} = \frac{\hat{c}}{\hat{n}}$$

onde \hat{n} é igual ao número de unidades da amostra.

Os parâmetros da carta de controle são (Werkema, 1995, Montgomery, 1985):

$$\text{eq. 81} \quad LCS = u + 3\sqrt{u}$$

$$\text{eq. 82} \quad LC = u$$

$$\text{eq. 83} \quad LCI = u - 3\sqrt{u}$$

onde u é igual a média de \hat{u} .

Exemplo de carta de controle para não-conformidade por unidade u

Retomando o exemplo do processo de pintura em chapas de aço, se houvesse a necessidade de monitorar o processo por unidade de superfície, a carta a ser utilizada seria a carta u . Na Tabela 9 são apresentados dados de não conformidades do processo de pintura por unidade de superfície:

Tabela 9: Dados do exemplo de processo de pintura de chapas de aço

Operação	Pintura					Instrumento					Análise Visual											
Máquina	1					Amost/Freq					1m ² / 2 horas											
Especificação	Conformidade/					Carta No.					1											
	Não conformidade																					
Data	6/3				7/3				8/3				9/3				10/3					
Hora	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16	8	10
Operador	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	A	A
Não conformidades	21	24	16	15	15	28	20	25	24	19	16	15	19	17	22	17	18	24	19	17	15	20
\hat{u}	0,21	0,24	0,16	0,15	0,15	0,28	0,20	0,25	0,24	0,19	0,16	0,15	0,19	0,17	0,22	0,17	0,18	0,24	0,19	0,17	0,15	0,20

Cálculo dos limites de controle

Para os cálculos do exemplo na Tabela 9, obtém-se as seguintes estimativas da média de defeitos por unidade se superfície:

$$u = 0,19$$

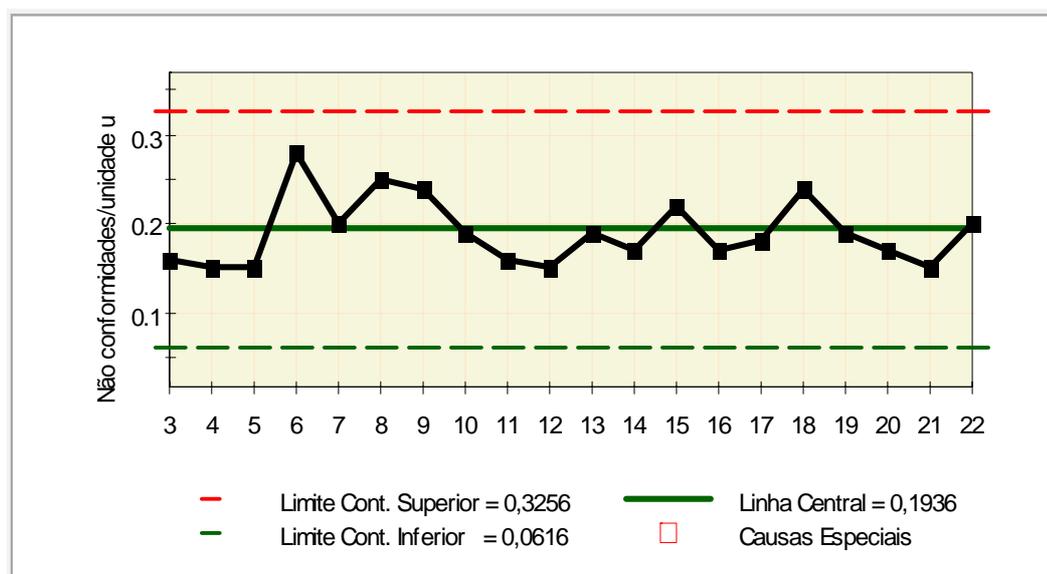


Figura 25: Carta de controle para não conformidades por unidade

O cálculo dos limites de controle é dado por:

$$LCS = u + 3\sqrt{u} = 0,19 + 3\sqrt{0,19} = 0,33$$

$$LC = u = 0,19$$

$$LCI = u - 3\sqrt{u} = 0,19 - 3\sqrt{0,19} = 0,06$$

A partir da carta de controle para o número de defeitos por unidade do exemplo, o referido processo pode ser monitorado ao longo do tempo.

2.3.2.6 Outras cartas de controle de controle por atributos

Levinson (1994) afirma que a utilização de cartas tradicionais de controle por atributo (cartas p , np , u e c) é limitada para o controle de processos. O autor sugere que a utilização de cartas de controle para atributos múltiplos, onde a contagem de cada defeito em amostras constantes é comparada com os limites de controle, é mais vantajosa do que as cartas tradicionais por fornecer a freqüência de ocorrência dos dados, detectar mudanças na proporção dos eventos e assinalar causas de processos fora de controle.

A carta de controle estatístico integrado por posto apresentado por Caten (1999) se revela como uma ferramenta eficaz no controle de processos onde há muitos atributos a serem controlados. A autora propõe a utilização da carta integrada para o controle de atributos e variáveis.

2.3.3 Interpretação das cartas de controle

Os critérios indicativos da falta de controle em um processo sob monitoramento através de cartas de controle são enumerados e descritos na seqüência (Siqueira, 1997; Werkema, 1995; Kume, 1993).

1. Ponto Fora dos Limites de Controle

Um ponto fora dos limites de controle evidencia uma causa especial e, portanto, um processo fora de controle. Na Figura 26 é apresentado um exemplo de ponto fora dos limites de controle.

A causa de sua existência deve ser investigada. Este pode ser ocasionado por erro no registro do dado, erro de cálculo, erro de medição, ação incorreta realizada pelo operador ou defeito no equipamento. Pode ser, ainda, ocasionado por um instrumento descalibrado, quando utilizado para obter o dado.

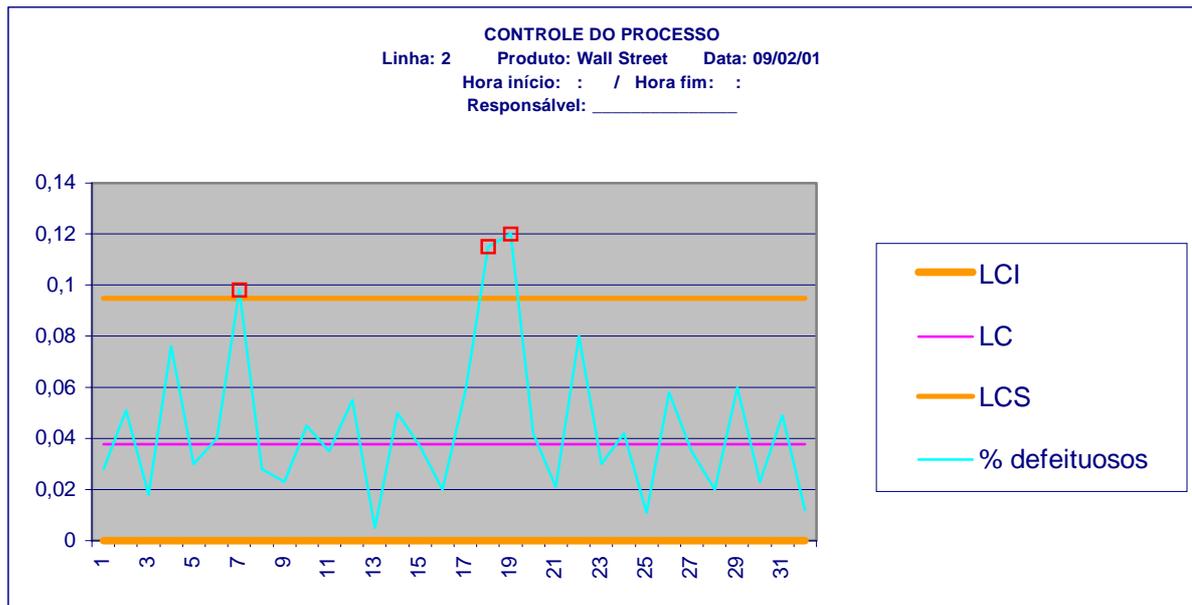


Figura 26: Exemplo de ponto fora dos limites de controle

2. Periodicidade

Este critério indicativo é evidenciado quando, em intervalos de tempo de amplitude semelhante ocorrem pontos acima e abaixo da linha central. Na Figura 27 é apresentado um exemplo de periodicidade.

A periodicidade é ocasionada por mudanças sistemáticas nas condições ambientais, cansaço do operador, rotatividade regular de operadores ou máquinas, flutuação na voltagem, na pressão ou em alguma outra variável dos equipamentos utilizados na produção ou alterações sazonais na qualidade da matéria-prima.

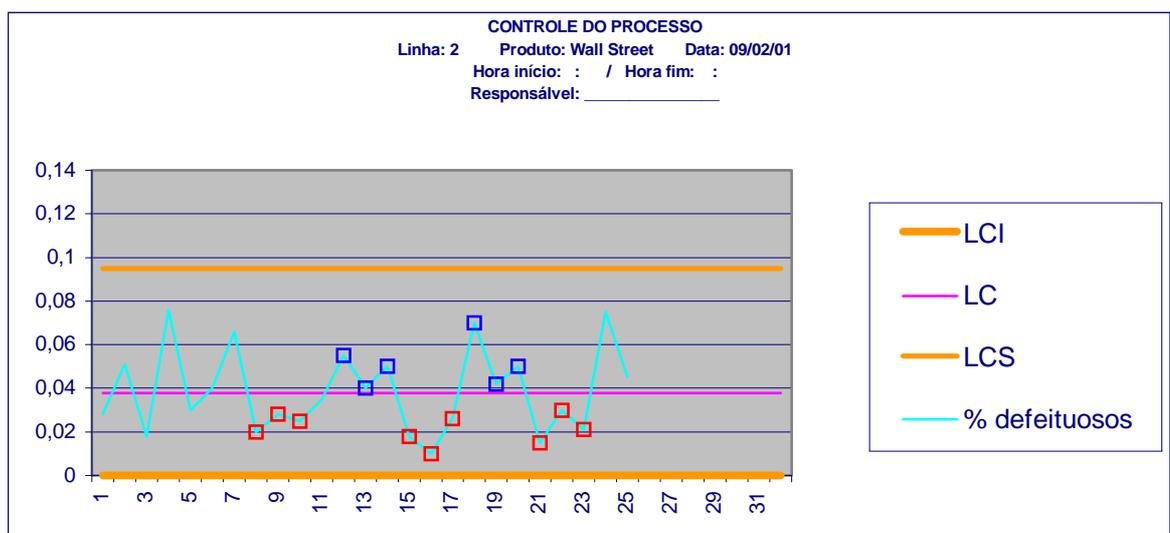


Figura 27: Exemplo de periodicidade

3. Seqüência

Uma seqüência de pontos acima ou abaixo da linha central é caracterizada como anormal se houver, pelo menos, 7 pontos seqüenciais em um dos lados da linha central, ou se pelo menos 10 de 11 pontos, ou 12 de 14 pontos, ou 16 de 20 pontos estão de um mesmo lado (acima ou abaixo) da linha central. Na Figura 28 é apresentado um exemplo de seqüência.

Uma seqüência alerta para uma mudança no nível do processo. Esta mudança pode ser ocasionada por operadores, matéria-prima ou equipamentos novos, alteração no método de inspeção ou nos parâmetros operacionais, mudanças na habilidade, atenção ou motivação dos operadores.

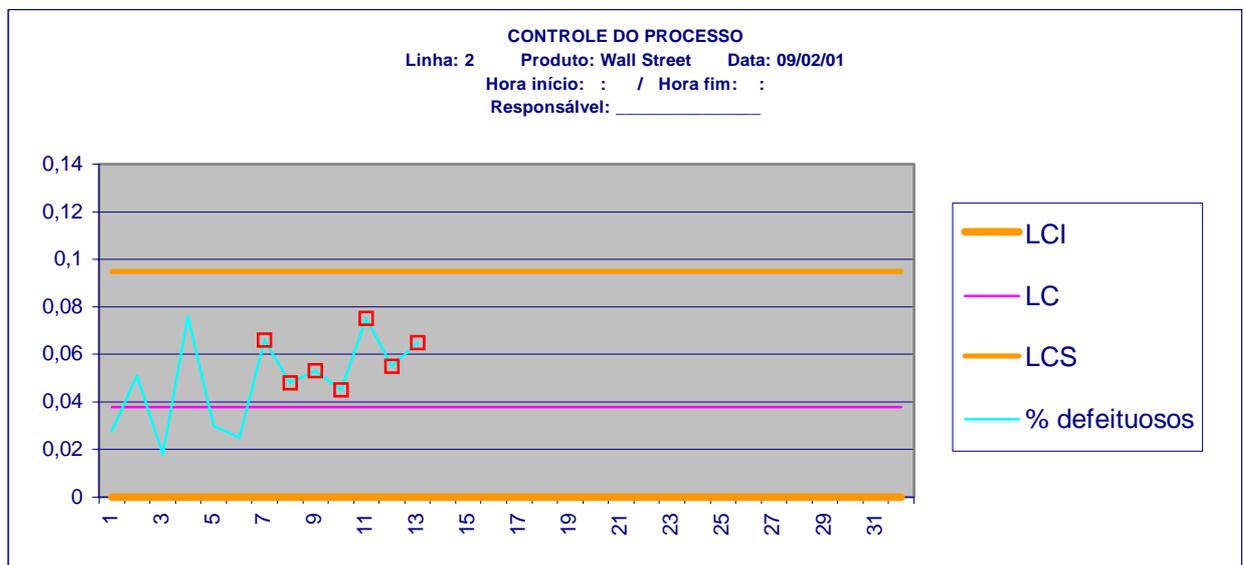


Figura 28: Exemplo de seqüência com 7 pontos acima da linha central

4. Tendência

Uma ascendência ou descendência de 7 ou mais pontos indica uma tendência e, portanto, um processo fora de controle. Na Figura 29 é apresentado um exemplo de tendência.

Tendências são causadas por desgaste de equipamentos e ferramentas, cansaço do operador ou presença de supervisores, ou por mudanças graduais nas condições ambientais (temperatura, umidade, pressão).

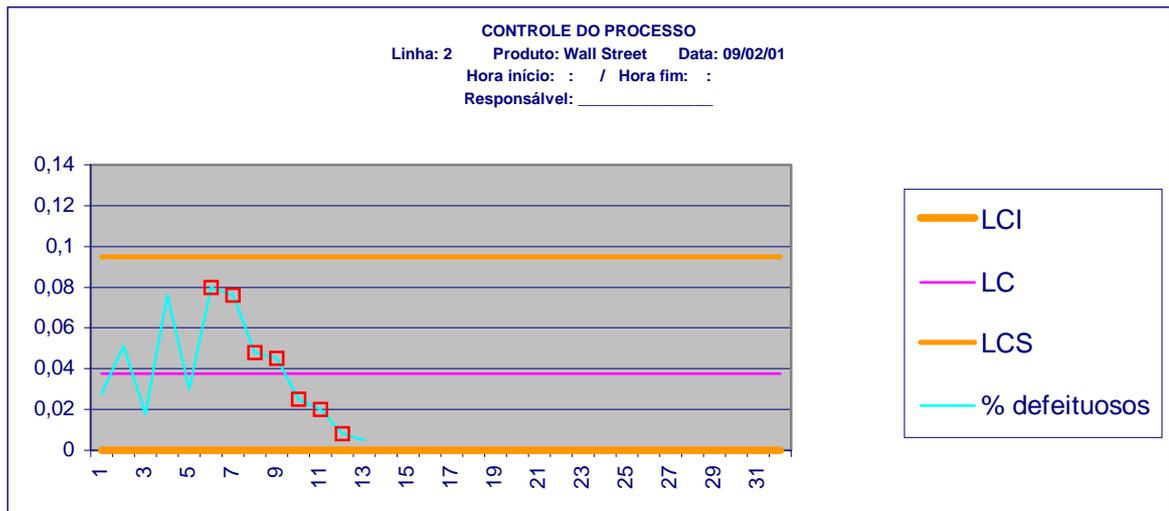


Figura 29: Exemplo de tendência com descendência de pontos

5. Aproximação dos limites de controle

Quando observada a aproximação das linhas de controle de 2 de 3 pontos consecutivos fora do limite de 2σ , mesmo que dentro do limite de 3σ , o processo está fora de controle. Na Figura 30 é apresentado um exemplo de aproximação dos limites de controle.

Este tipo de caso pode apresentar-se quando um operador faz excesso de ajustes no equipamento, gerando variação no processo por causa aleatória e não causa especial.

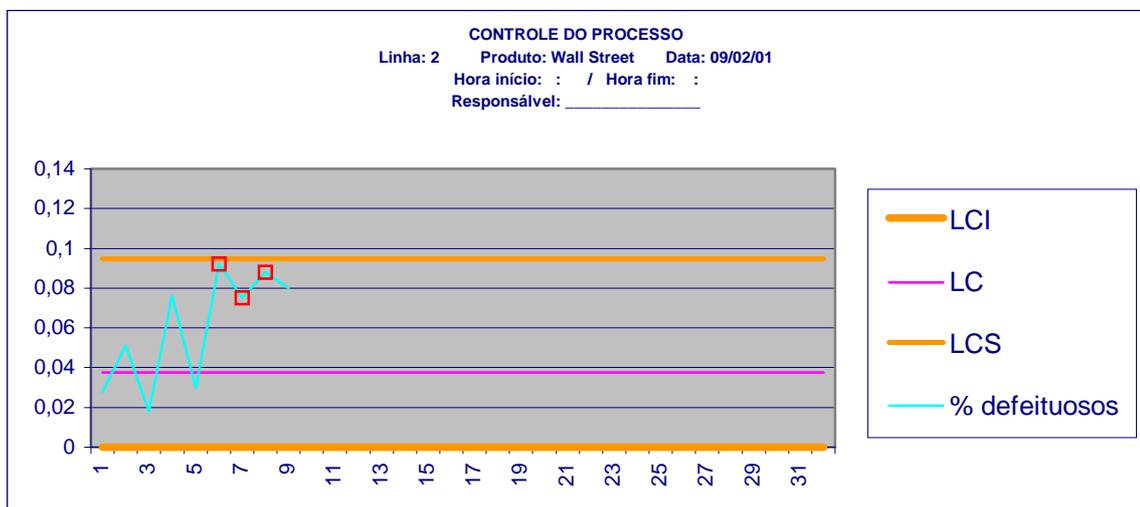


Figura 30: Exemplo de aproximação dos limites de controle

6. Aproximação da linha média

Quando os pontos estão próximos à linha central indica que os cálculos das linhas de controle estão errados ou as amostras iniciais foram formadas de forma errada. Na Figura 31 é apresentado um exemplo de aproximação da linha média.

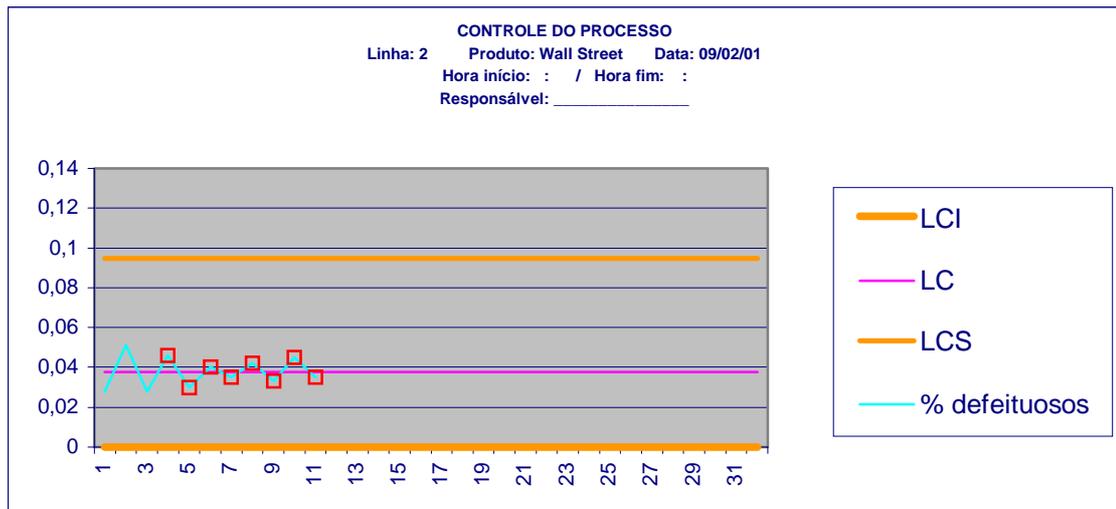


Figura 31: Exemplo de aproximação da linha média

2.3.4 Controle integrado de atributos

Caten (1999) propõe um novo procedimento, denominado de controle integrado da qualidade para processos onde há vários atributos e variáveis a serem monitorados. Embora o método proposto contemple também o controle de variáveis, será abordado nesta revisão apenas a carta integrada para atributos. Assim primeiramente, deve-se identificar o posto de trabalho a ser monitorado e as características de qualidade (atributos) de interesse no posto. Essas características de cada posto de trabalho serão agrupadas em uma única carta de controle. Tal procedimento é complementado utilizando um gráfico de Pareto, que hierarquiza as características de qualidade que mais contribuem para o percentual de defeituosos.

O cálculo do percentual de defeituosos e dos limites de controle integrado da qualidade será descrito a seguir.

2.3.4.1 Percentual de defeituosos médio de uma amostra

O percentual de defeituosos médio no posto de controle para a amostra j ($Pdef_j$), é dado pela equação (Caten, 1999):

$$eq. 84 \quad Pdef_j = 1 - \prod_{k=1}^k (1 - Pdef_{k,j})$$

onde:

k = atributo (defeito) do posto em estudo variando de 1 a K ;

j = subgrupo (amostra) variando de 1 a J ;

$Pdef_{k,j}$ = porcentagem de defeituosos no subgrupo (amostra) j para o atributo (defeito) k .

2.3.4.2 Percentual de defeituosos médio das amostras

O percentual de defeituosos médio das J amostras ($\bar{P}def$) vem representado a seguir como (Caten, 1999):

$$eq. 85 \quad \bar{P}def = \frac{\sum_{j=1}^J Pdef_j}{J}$$

O desvio-padrão do percentual de defeituosos, conforme a distribuição Binomial (σ_p), é dado por:

$$eq. 86 \quad \sigma_p = \sqrt{\bar{P}def \times (1 - \bar{P}def) / N}$$

onde:

N denota o tamanho da amostra.

Os limites de controle integrado serão calculados utilizando a expressão abaixo (Caten, 1999).

Limite de Controle Superior (LCS):

$$eq. 87 \quad LCS = \bar{P}def + 3\sigma_p$$

Limite Central (LC):

$$eq. 88 \quad LC = \bar{P}def$$

Limite de Controle Inferior (LCI):

$$eq. 89 \quad LCI = \bar{P}def - 3\sigma_p$$

Quando o limite de controle inferior (LCI) calculado resultar em um número negativo, deve-se utilizar LCI igual a zero (Hradesky, 1988).

2.3.4.3 Tamanho da amostra

Na escolha do tamanho da amostra, Montgomery (1985) sugere que esta deve ser suficiente para que se tenha uma grande probabilidade de encontrar pelo menos uma não-conformidade (defeito) na amostra, e que esta única inconformidade não represente um processo fora de controle.

Duncan apud Montgomery (1985) propõe uma probabilidade de 50% em se detectar um desvio do controle processo. Desta forma, o cálculo para o tamanho da amostra é descrito abaixo:

$$\text{eq. 90} \quad N = \left(\frac{k}{\delta} \right)^2 p(1-p)$$

onde:

N = tamanho da amostra;

k = número de sigmas do limite de controle;

p = linha central do controle;

δ = magnitude de controle do processo.

Werkema (1995) propõe que o tamanho da amostra N deve ser suficiente para que se tenha, em média, entre 1 e 5 itens defeituosos.

2.3.5 Capacidade do processo

O estudo da capacidade do processo, como já comentado, somente poderá ser realizado em processos estáveis (sob controle estatístico).

No caso do controle integrado do processo μ é substituído pela estimativa do percentual médio de defeituosos, \bar{P}_{def} (Caten, 1999).

2.3.6 Críticas ao controle integrado do processo

A utilização desta metodologia para o monitoramento do processo e garantia da qualidade possui algumas vantagens e algumas desvantagens que necessitam ser avaliadas para que o controle seja efetivo.

As principais vantagens do controle integrado são: (a) a simplicidade do controle integrado por utilizar poucas cartas no controle do processo; (b) a abordagem estatística que dá base sólida às tomadas de decisão; (c) a disponibilidade de uma visão geral da condição da qualidade nos postos de trabalho (Caten, 1999).

Por outro lado, este controle apresenta uma desvantagem: em determinadas situações de descontrole do processo onde uma característica de qualidade desvia-se do alvo enquanto as demais melhoram, não é possível ser detectado este desvio na carta integrada, pois todas as características serão avaliadas conjuntamente (Caten, 1999).

Este controle deve ser utilizado em situações onde há independência das características de qualidade monitoradas em uma mesma carta. Se as correlações forem significativas, o uso desta carta é desaconselhável.

2.4 IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE DO PROCESSO

A implantação do CEP nos processos de manufatura dá, aos operadores das máquinas monitoradas, mais poder e segurança nas tomadas de decisão relativas a uma ação corretiva em tempo real (Pitt,1994).

Para tanto, o entendimento das vantagens e o envolvimento de toda a equipe na implantação do CEP é fundamental (Hradesky, 1988).

Pitt (1994) aconselha a iniciar o CEP como um programa piloto, em um processo selecionado para este fim. Havendo bons resultados no controle e previsão do andamento do processo-piloto, como a redução da variabilidade e das perdas por retrabalho e um aumento da qualidade e satisfação dos clientes internos e externos, a noção de aplicabilidade desta ferramenta será difundida por toda a organização.

As etapas para a implantação do controle integrado do processo, ou qualquer outro controle estatístico do processo, uma vez identificado o problema, ou seja, o processo a ser controlado, são as seguintes (Ribeiro & Caten, 1998):

- a. Definição do projeto;
- b. Planejamento da implantação do controle integrado;
- c. Treinamento do pessoal envolvido com a gerência, processo e controle de qualidade;
- d. Implantação efetiva;
- e. Acompanhamento e consolidação.

As etapas são brevemente descritas nas seções que se seguem.

2.4.1 Definição do projeto

Serão definidos o escopo e objetivos do projeto, os objetivos gerais e específicos de melhoria, os resultados esperados, o cronograma de implantação, a equipe de trabalho (desde os operadores envolvidos com o processo até o representante da gerência). Pode-se, ainda, fazer um cálculo do custo aproximado de implantação (Ribeiro & Caten, 1998).

O problema, assim como, os objetivos da melhoria devem ser bem definidos para que os resultados obtidos sejam efetivos. Hradesky (1988) atenta para o fato de que projetos

mal definidos levam a frustrações, ansiedades, perda de recursos (tempo e dinheiro) e resultados positivos não alcançados.

2.4.2 Planejamento da implantação do controle do processo

A norma ISO 9001:2000 está focada no *input* dos clientes, na melhoria contínua, na gestão de recursos e responsabilidades. Na melhoria contínua do processo, não basta apenas medir a satisfação dos clientes; é preciso aumentar o seu nível de satisfação, o que requer medidas para se avaliar e melhorar os processos internos. (Pearch e Kitka, 2000)

Na busca incessante da melhoria da qualidade de produtos e processos, o controle estatístico de processo visa identificar as variabilidades dos processos, verificar a evolução destas variabilidades ao longo do tempo, monitorando-as para que permaneçam dentro de limites pré-estabelecidos.

Hradesky (1988) propõe um *checklist* de quatro itens a serem analisados pela equipe, com a intenção contribuir na solução de problemas. Os itens a serem vistos são (a) produtividade: deve-se identificar as possibilidades de aumento da produtividade como diminuição de retrabalhos; (b) qualidade: deve-se identificar quais as características de qualidade são requeridas pelo consumidor interno e final do produto; (c) impacto na cadeia logística do processo: deve-se analisar a organização da cadeia de suprimentos do processo, otimizando-o, diminuindo o tempo perdido entre os sub-processos, por exemplo, devido à setups adicionais de equipamento; (d) satisfação dos clientes (internos e externos): a satisfação ou insatisfação dos clientes determinados por pesquisas internas ou de mercado, ou mesmo em sistemas de reclamações como SAC (serviço de atendimento de consumidores), ajudam a identificar oportunidades de melhorias.

Ribeiro & Caten (1998) recomendam a identificação dos postos de controle e priorização das características de qualidade pela utilização do QFD – Desdobramento da Função Qualidade.

Para tanto, deve-se buscar a voz do cliente, identificando a demanda de qualidade percebida pelo cliente através de uma pesquisa de mercado (Ribeiro, Danilevicz e Echeveste, 1998).

O QFD é implantado através de um conjunto de matrizes nas quais são estabelecidas as relações entre características de qualidade demandadas pelo usuário e características de qualidade do produto/processo, procedimentos de manufatura, especificações, recursos humanos, infra-estrutura disponível e custos globais (Ribeiro, Danilevicz e Echeveste, 1998; Oakland, 1994). Essas relações permitem determinar os elementos principais do produto e de

seu processo de manufatura, responsáveis pela construção da qualidade demandada pelo usuário, levando em consideração a facilidade em se melhorar esta característica, o custo desta melhora, a concorrência, a avaliação estratégica da demanda de qualidade, etc. O Desdobramento da Função Qualidade é feito por uma equipe multifuncional, envolvendo diversos departamentos da empresa, tais como *marketing*, engenharia de produto, engenharia de processo, custos, suprimentos, manufatura e gerência de qualidade.

Para a construção da matriz da qualidade do QFD, a qualidade demandada pelo consumidor em relação a um produto ou serviço é relacionada as suas características de qualidade, ou seja, aos requisitos técnicos do produto/serviço que atendem as demandas do consumidor. Este relacionamento é anotado na matriz segundo o grau de intensidade das relações, podendo-se utilizar os valores 0, 1, 3 e 9, como mostra a Tabela 10 (Ribeiro, Danilevicz e Echeveste, 1998).

Tabela 10: Escala da intensidade das relações

Peso	Relação
9	Muito importante
3	Moderada
1	Pouco importante
0	Nenhum relacionamento

Fonte: Ribeiro, 1998.

A matriz é, então, montada com a intenção de priorizar as características de qualidade do produto ou serviço.

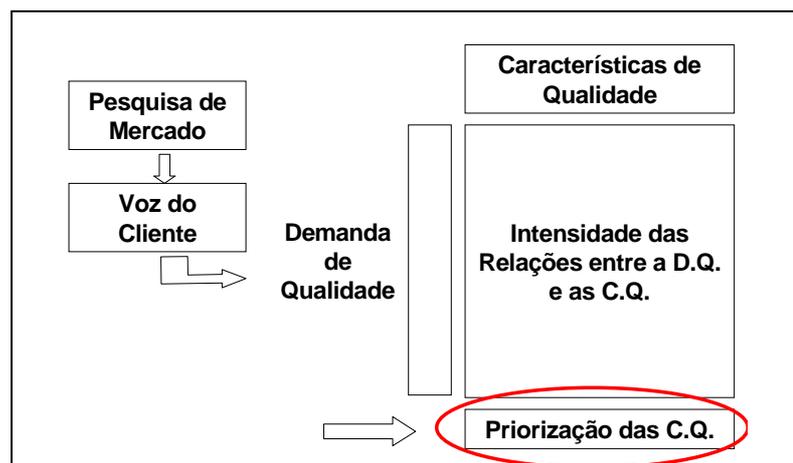


Figura 32: Desdobramento da Qualidade

Fonte: Ribeiro & Caten, 1998.

O índice de importância de cada característica de qualidade é obtido através da soma dos valores de relacionamento das diferentes linhas para cada coluna, ou seja, para cada característica de qualidade.

Uma vez priorizadas as características de qualidade, o processo será desdobrado a fim de se construir a matriz dos processos. Nesta matriz será obtida a priorização dos processos, inter-relacionando as características de qualidade e as etapas do processo, levando em consideração a capacidade do processo e o nível de conhecimento do processo (Ribeiro & Caten, 1998).

Neste caso a priorização é feita somando os valores de relacionamento das diferentes colunas para cada linha, ou seja, para cada processo desdobrado.

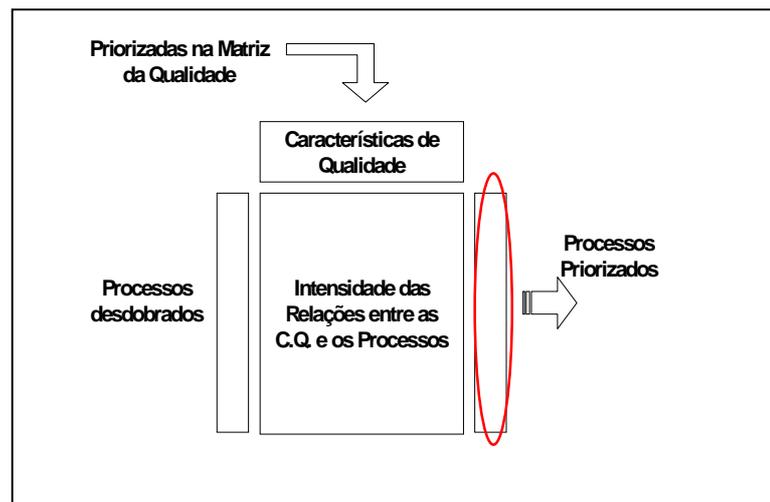


Figura 33: Desdobramento dos processos
Fonte: Caten, 1999.

Desta forma, identificam-se os processos críticos, possibilitando uma análise mais focada, em sintonia com o cliente, das ações possíveis, visando a melhoria de cada etapa do processo.

Dentre as ações possíveis para a melhoria dos processos críticos avaliados pela equipe técnica, podemos citar: (a) desenvolvimento de fornecedores; (b) estudo ergonômico; (c) controle estatístico do processo; (d) automação; (e) aquisição de equipamentos; (f) projeto de experimentos; (g) treinamento; e (h) definição de procedimentos (Ribeiro & Caten, 1998).

No caso da ação pertinente à etapa crítica do processo ser o seu controle estatístico, é necessário identificar os postos de controle, que são locais físicos onde serão monitoradas as características de qualidade (atributos e/ou variáveis) associadas a etapas críticas. De forma mais específica, conhecendo-se as características críticas para a qualidade e onde elas são construídas no processo produtivo, é possível definir a localização dos postos de controle, bem como listar a(s) característica(s) de qualidade do processo a ser(em) monitorada(s), em cada posto (Caten, 1999).

Para cada parâmetro do processo ou característica de qualidade, ou grupo destes, será analisada a ferramenta estatística mais adequada para seu controle. Nesta escolha, deve-se levar em consideração o tipo de parâmetro ou característica de qualidade do processo (variável ou atributo), se existe independência dos parâmetros ou características de qualidade, se é uma característica do tipo nominal-é-melhor, maior-é-melhor, ou menor-é-melhor, etc.

Definido o tipo de controle estatístico, deve-se, então, fixar a frequência de amostragem e o tamanho da amostra, de acordo com o tipo de controle e o tipo de processo (Oakland, 1999).

Para dar seqüência ao controle do processo, deve-se definir os responsáveis pela coleta de amostras e registro das informações do processo. Definem-se, também, os responsáveis pelas ações corretivas do processo, assim como, os responsáveis pelo cálculo dos limites de controle das cartas e pela avaliação de todo o sistema de monitoramento (Hradesky, 1988).

As formas de registro das informações a respeito da característica de qualidade ou parâmetro do processo deverão ser igualmente fixadas (registro eletrônico em computador ou em planilha de papel), assim como o sistema de medição e sua calibragem, de acordo com a precisão necessária aos instrumentos de medição (Ribeiro & Caten, 1998).

Definido o sistema de medição, verifica-se a capacidade deste sistema pela variância do mesmo, ou seja, pelo estudo da Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R). A avaliação do sistema de medição define a confiabilidade dos dados a serem utilizados no controle do processo (Ribeiro & Caten, 1998).

2.4.3 Treinamento em CEP

O novo paradigma organizacional da era do conhecimento exige uma crescente necessidade de se criar conscientização e comprometimento de todos os colaboradores. Este comprometimento é gerado pela informação e identificação com os objetivos da empresa, e deriva em parcerias, não somente entre cliente e fornecedor externo, mas entre cliente e fornecedor interno (Gomes, 1994).

O correto treinamento é fundamental para a criação de ambientes de comprometimento e, portanto, importante para a implantação e efetivação do CEP ou de qualquer outra ferramenta estatística. No CEP, em particular, todos na empresa envolvidos com o processo devem ser capazes de interpretar as informações contidas nos dados coletados do processo. O treinamento deve ser aplicado imediatamente antes da implantação efetiva do

CEP, devendo ser ministrado de forma diferenciada para vários níveis e funções das pessoas envolvidas no processo (Pitt, 1994).

O treinamento deve ser iniciado pela alta gerência e os gerentes de planta na filosofia do CEP, pois estes são a chave para o seu sucesso. Tanto para gerentes quanto para operadores, o treinamento, no ritmo adequado, abordando a teoria e técnicas que compõem o CEP são fundamentais para que o aprendizado seja efetivo (Pitt, 1994).

Após o adequado treinamento, deve-se dar real autonomia aos responsáveis por tomadas de decisão, baseados nas informações fornecidas pelo CEP.

Caten (1999) diferencia o treinamento às várias funções das organizações:

- a) Treinamento para diretores e gerentes: análise dos dados para certas tomadas de decisão, estudo de estabilidade e estudo de capacidade;
- b) Treinamento para engenheiros e supervisores: treinamento completo, pois estes definirão o tamanho da amostra, frequência de amostragem, cartas de controle para variáveis e atributos e seus limites de controle, estudo de estabilidade, estudo da capacidade, estudos do sistema de medição (R&R), etc;
- c) Treinamento para operadores: preenchimento da planilha, digitação de dados em *software* (caso seja utilizado), preenchimento das cartas de controle (caso seja operacionalizada em papel), análise das cartas de controle.

2.4.4 Implantação efetiva do controle do processo

Nesta etapa, inicia-se o monitoramento do processo pela coleta de dados a serem utilizados no controle do processo (Ribeiro & Caten, 1998).

Uma vez coletado o número das amostras necessárias, são efetuados os cálculos dos limites de controle do controle integrado. Caso haja uma causa especial, os limites devem ser recalculados, identificando-se e eliminando-se a causa de anomalia do processo.

Esses limites de controle serão utilizados para o monitoramento do processo, portanto devem ser representativos e associados apenas a causas comuns de variabilidade do processo.

2.4.5 Acompanhamento e consolidação

O acompanhamento e consolidação do controle estatístico de processos englobam as etapas a seguir (Ribeiro & Caten, 1998):

- a) Análise da estabilidade dos processos – avalia-se a estabilidade dos processos e, se necessário, adotam-se procedimentos de identificação e eliminação de causas especiais.
- b) Análise da capacidade do processo – avalia-se a capacidade dos processos e, se necessário, adotam-se estudos de otimização dos processos através de grupo de ação de melhorias da qualidade.
- c) Avaliação da sistemática de ação – analisa-se e aprimora-se o sistema de controle do processo implantado através da verificação dos procedimentos de coleta de dados, registro, resultados da implantação do CEP e ações de melhorias. Esta análise deve ser realizada, periodicamente, em conjunto com toda a equipe envolvida na implantação.

2.5 PASSOS PARA A CONSTRUÇÃO DA CARTA DE CONTROLE INTEGRADO DO PROCESSO

- a) Selecionar o tamanho da amostra (n) a ser coletada do processo. Atributos normalmente requerem tamanho de amostra grande variando entre 50 e 200 unidades (McNeese, 1991);
- b) Selecionar a freqüência de amostragem do processo;;
- c) Selecionar o número de amostras (N) a serem coletadas. Em geral, o número de amostras varia entre 20 e 25 (Werkema, 1995);
- d) Inspeccionar cada tipo de defeito (atributo) em cada unidade diferenciando entre defeito crítico, grave e leve;
- e) Anotar o número de defeituosos (não-conformes) para cada tipo de defeito (atributo) de uma dada amostra;
- f) Após coletar e anotar o número de defeituosos para cada atributo das amostras selecionadas, calcular o percentual de defeituoso médio e o desvio-padrão do percentual de defeituosos;
- g) Traçar os limites de controle e a linha central marcando no eixo vertical esquerdo os valores calculados;
- h) Marcar os pontos na carta de controle;
- i) Circular os pontos que estiverem fora dos limites de controle;
- j) Registrar as informações importantes de devam constar na carta; por exemplo: Título, Tamanho da amostra, Período de coleta dos dados, Nome do processo e do

Produto, Método de inspeção, Identificação do responsável pela construção da carta (Werkema, 1995);

- k) Interpretar o gráfico construído;
- l) Verificar se o estado de controle do processo foi alcançado;
- m) Se o processo estiver sob controle, calcular a capacidade do processo. Se não, verificar qual (ais) o(s) atributo(s) que mais contribui(em) para o não controle do processo através de um gráfico de Pareto. Agir sobre este(s) atributo(s) a fim de que o processo venha a estar sob controle. Calcular, então, a capacidade do processo;
- n) Se o processo estiver sob controle e for capaz, adotar a carta para controle atual e futuro do processo. Se o processo não for capaz, somente a gerência poderá agir para tornar o processo capaz (causas comuns);
- o) Recalcular os limites de controle de tempos em tempos (Werkema, 1995).

3. ESTUDO DE CASO: IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE INTEGRADO DE PROCESSO EM UMA EMPRESA DE BEBIDAS ALCOÓLICAS

3.1 ALLIED DOMEQC BRASIL LTDA.

A casa Pedro Domecq iniciou suas atividades em 1730 como uma pequena cantina de vinhos instalada em Jerez de La Frontera (Espanha) por Patrick Murphy, um viticultor irlandês. A casa foi adquirida pela família Domecq em 1816. Sob direção da família, após alguns anos, Pedro Domecq lançou sua marca de destilado no mundo.

Em 1968, uma *joint-venture* entre Pedro Domecq S.A. e Allied-Lyons foi formada com a finalidade de desenvolver uma marca nacional de *whisky* na Espanha. Em 1994, a Allied-Lyons adquiriu o controle da Pedro Domecq S.A. e da Hiram Walker Europa S.A., criando o grupo Allied Domecq, tornando-se então a terceira maior empresa de bebidas destiladas no mundo.

Hoje, a Allied Domecq ocupa a segunda posição no mercado mundial de bebidas finas e sua comercialização gira em torno de 50 milhões de caixas/ano (Allied Domecq Brasil, 2000).

No Brasil, a Pedro Domecq foi fundada em 1970/1971, porém a comercialização efetiva do Brandy Domecq data de 1973. Após a fusão com Allied-Lyons, a Allied Domecq Brasil Ltda. ampliou a capacidade de produção do Brandy Domecq com um investimento de US\$ 8 milhões em uma nova instalação em Garibaldi (RS). As principais marcas comercializadas no Brasil são:

- Teacher's (Scotch Whisky)
- Domecq (Brandy)
- Ballantines Finest (Scotch Whisky)
- Ballantines Gold Seal (Scotch Whisky)
- Frangélico (Licor)
- Sauza (Tequila)
- Courvoisier (Cognac)
- Carlos I (Brandy de Jerez)
- Fundador (Brandy de Jerez)

Certificada ISO 9002:1994 em 1999 e 14001:1996 em 2001, a Allied Domecq Brasil tem a preocupação com a melhoria contínua de seus processos e produtos.

3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

Os produtos elaborados e engarrafados na Allied Domecq Brasil são os Scotch Whiskies Teacher's, Long John e Wall Street, os Brandies Domecq e Solera Domecq e a vodka Ikowa.

Para os whiskies, tanto o malte (destilado de cevada fermentada) quanto o grain (destilado de cereais fermentados) são importados da Escócia. No Brasil é feita a mistura destes componentes com água, caramelo e álcool neutro segundo a formulação de cada produto.

No caso dos brandies, o vinho é destilado na empresa por dois diferentes processos: destilação contínua e destilação em batelada (processo Charentais). Após a destilação, o álcool vínico é envelhecido em barris de carvalho pelo processo solera. Uma vez concluído o envelhecimento, é feita a correção de cor e álcool. O destilado é filtrado em filtro de placas e enviado ao engarrafamento.

A vodka é obtida pela mistura de álcool neutro, essência, açúcar e água. Este produto não é filtrado antes do engarrafamento.

O engarrafamento possui duas linhas em paralelo: (a) linha 1, destinada ao engarrafamento dos Brandies e da vodka, e (b) linha 2, destinada aos demais produtos. A alimentação das garrafas nas duas linhas é manual. Como se trata de bebidas destiladas, o enchimento das garrafas deve ser feito à temperatura controlada, a fim de manter o volume dos diferentes produtos dentro das especificações legais ($\pm 1\%$ do volume indicado no rótulo). Após o engarrafamento é colocado o conjunto conta-gota – tampa, e é feita uma verificação visual do conjunto.

A rotulagem é feita logo após o engarrafamento por um equipamento que centraliza, dispõe e fixa o rótulo, o contra-rótulo e o selo. Uma impressora de data, hora e lote está acoplada na saída do equipamento de rotulagem. Existe um posto de conferência visual das garrafas cheias e rotuladas. As garrafas seguem na esteira até o encaixotamento.

Em seguida, as caixas são paletizadas manualmente e levadas para o setor de produtos a serem conferidos quanto à qualidade. A inspeção é feita por amostragem. Dos lotes produzidos no dia anterior é retirada uma amostra e as garrafas da amostra são expostas em um local adequado para sua inspeção visual. O critério utilizado para a inspeção está no anexo A. Uma vez aprovado pelo controle de qualidade as caixas seguem para a expedição. No caso do produto não ser aprovado, é feita uma segunda inspeção com um tamanho de amostra

maior. Se a reprovação for confirmada, o lote é disposto em local adequado para retrabalho. A Allied Domecq procura trabalhar com o mínimo de estoque possível de produtos acabados.

3.3 DEFINIÇÃO DO PROJETO

Devido a grande perda de recursos no retrabalho da rotulagem dos produtos da Allied Domecq, optou-se iniciar a implantação do CEP nesta etapa do processo de manufatura. Portanto, não foram realizados testes junto ao consumidor para a identificação e priorização das características de qualidade; a decisão foi tomada diante de uma necessidade existente em desenvolver o processo, diminuindo seu custo de produção.

3.4 IDENTIFICAÇÃO DOS POSTOS DE CONTROLE E CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE A SEREM MONITORADAS

Partindo das características de qualidade já identificadas e controladas (certificação ISO 9002) pela Allied Domecq, foram destacados os postos de controle na Figura 34 e as características de qualidade (atributos) na Figura 35.

	Localização	Descrição do posto	Produtos rotulados
Posto 1	Linha 1	Colocação de rótulo, contra-rótulo, selo, marcação de lote com jato de tinta.	Brandy Domecq Ikowa
Posto 2	Linha 2	Colocação de rótulo (superior ou/e inferior), contra-rótulo, selo e marcação de lote com jato de tinta.	Teacher's Wall Street

Figura 34: Identificação e descrição dos postos de controle

As características de qualidade da rotulagem foram transformadas em tipos de defeitos para melhor especificar os atributos a serem controlados. Assim, para cada característica de qualidade da Figura 34 pode haver mais de um atributo (ou tipo de defeito) a ser monitorado.

Linha 1	Linha 2
Posicionamento do rótulo	Posicionamento do rótulo (superior e inferior)
Quantidade de cola no rótulo	Quantidade de cola utilizada no rótulo (superior e inferior)
Aparência do rótulo	Aparência do rótulo (superior e inferior)
Posicionamento do contra-rótulo	Posicionamento do contra-rótulo
Quantidade de cola no contra-rótulo	Quantidade de cola utilizada no contra-rótulo
Aparência do contra-rótulo	Aparência do contra-rótulo
Posicionamento do selo	Posicionamento do selo
Quantidade de cola no selo	Quantidade de cola utilizada no selo
Aparência do selo	Aparência do selo
Legibilidade da impressão do lote	Legibilidade da impressão do lote

Figura 35: Características de qualidade monitoradas por posto de controle

Por exemplo, para a característica de qualidade aparência do rótulo são monitorados os defeitos (i) rótulo sujo, (ii) rótulo manchado, (iii) rótulo rasgado e (iv) rótulo amassado. Na Figura 36 é apresentado o relacionamento entre as características de qualidade e os tipos de defeitos.

Todas características de qualidade da Figura 36 são atributos do tipo menor-é-melhor, com valores alvo iguais a zero.

Os defeitos na Figura 36, por sua vez, podem ser classificados em críticos, graves ou leves dependendo de sua intensidade e da forma como afetam a aparência do produto. Esta classificação dos defeitos, assim como o peso a eles aplicados, já são utilizados no plano de aceitação do lote definidos no Manual da Qualidade da Allied Domecq (ver Anexo A). Os defeitos pertencentes à classe de críticos devem, quando presentes mesmo em uma unidade da amostra, gerar causa especial por inviabilizarem a comercialização do produto.

Características de Qualidade	Tipos de Defeitos
Posicionamento do rótulo	Rótulo descentrado
	Rótulo torto
	Sem rótulo
Quantidade de cola utilizada no rótulo	Rótulo descolando
	Rótulo com bolha
Aparência do rótulo	Rótulo sujo
	Rótulo manchado
	Rótulo rasgado
	Rótulo amassado
Posicionamento do contra-rótulo	Contra-rótulo descentrado
	Contra-rótulo torto
	Sem contra-rótulo
Quantidade de cola utilizada no contra-rótulo	Contra-rótulo descolando
	Contra-rótulo com bolha
Aparência do contra-rótulo	Contra-rótulo sujo
	Contra-rótulo manchado
	Contra-rótulo rasgado
	Contra-rótulo amassado
Posicionamento do selo	Selo torto
	Sem selo
Quantidade de cola utilizada no selo	Selo descolando
	Selo com pouca cola
Aparência do selo	Selo sujo
	Selo manchado
	Selo rasgado
	Selo amassado
Legibilidade da impressão do lote	Falta de impressão legível na garrafa

Figura 36: Característica de qualidade e tipos de defeitos correspondentes

Assim, no controle integrado da qualidade, dependendo da classificação dos diferentes defeitos, serão atribuídos os diferentes pesos para o cálculo final do ponto a ser plotado no gráfico, conforme apresentado na Figura 37.

Classificação	Peso
Crítico	1,00
Grave	0,25
Leve	0,05

Figura 37: Peso das diferentes classificações dos defeitos

3.5 DEFINIÇÃO DO PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

Nesta etapa foi definido o tipo de carta de controle, o tamanho da amostra, a frequência de amostragem, forma de registro de dados e a forma de análise dos defeitos.

A carta de controle que melhor se adequa ao controle pretendido é a carta de controle integrado por posto para a porcentagem de defeituosos. Esta carta é de simples operacionalização por demandar uma só amostragem e registro, oferecendo uma visão geral do processo de rotulagem quanto sua qualidade, atendendo as exigências da empresa.

PROJETO DE ANÁLISE E CONTROLE DE QUALIDADE DA ROTULAGEM							
Dianóstico dos fatores de variabilidade							
Data :	<input type="text"/>			Hora :	<input type="text"/>		
Linha :	<input type="text"/>			Amostra :	<input type="text"/>		
Tipo de Defeito		Defeito Crítico		Defeito Grave		Defeito Leve	
rótulo descentralizado							
rótulo descolando							
rótulo com pouca cola (com bolha)							
rótulo torto							
sem rótulo							
rótulo sujo							
rótulo manchado							
rótulo rasgado							
rótulo amassado							
contra rótulo torto							
contra rótulo descolando							
contra rótulo com pouca cola (com bolha)							
contra rótulo sujo							
contra rótulo manchado							
contra rótulo rasgado							
contra rótulo amassado							
sem contra rótulo							
contra rótulo descentralizado							
selo rasgado							
selo torto							
selo com pouca cola							
selo descolando							
selo sujo							
selo manchado							
sem selo							
falta ou impressão ilegível do lote na garrafa							

Figura 38: Planilha de coleta de dados

O tamanho inicial da amostra foi de 100 unidades para se fazer uma análise do estado do processo, atendendo a critérios de relevância estatística. A amostragem teve seu tamanho

reduzido durante a implantação do CEP (6 unidades), uma vez que neste tamanho de amostra tem-se pelo menos um defeito leve.

A amostragem inicial para o cálculo dos limites de controle foi de 4 amostras por dia; duas pela manhã e duas à tarde. A frequência de amostragem será de 30 em 30 minutos durante o início do monitoramento, até que uma nova avaliação do controle seja feita e justifique uma nova frequência. Esta frequência se mostra eficaz para o controle dos defeitos e permite ao operador agir em caso de causa especial, sem prejudicar suas demais tarefas de alimentação do equipamento com insumos. As anotações dos defeitos observados durante a amostragem inicial foram realizadas na planilha de coleta de dados (Figura 38).

Após a amostragem, avaliação e anotação dos defeitos, a primeira das 6 garrafas da amostra foi separada em local apropriado e as demais devolvidas ao lote. As garrafas foram separadas a cada amostragem de forma que se tenha sempre um total de 4 garrafas de 4 amostras subsequentes para a verificação do andamento da qualidade por parte do operador, chefe de setor, supervisor e analista de qualidade. Este controle das 4 últimas amostragens permite a verificação visual rápida do histórico recente do funcionamento do processo, para todos os tipos de defeitos pertinentes. Este controle não seria necessário no caso de utilização de *software* adequado ao controle interativo da qualidade, pois poderia se ter as informações do comportamento ao longo do tempo de cada tipo de defeito.

3.6 DEFINIÇÃO DE RESPONSABILIDADES

Nesta etapa, foram definidos os responsáveis pela coleta, análise e compilação dos dados, monitoramento, ações em causas especiais e cálculo dos limites de controle e estudos de capacidade. Na Figura 39, são listados os responsáveis para cada ação no monitoramento da rotulagem.

Como é o objetivo das cartas de controle, o operador de máquina é responsável pela coleta, análise e preenchimento da planilha de defeitos e pelo monitoramento do processo. A compilação dos dados e elaboração da carta de controle e gráficos fica a cargo do analista de qualidade por não ter disponibilidade de computador próximo a linha de produção e por serem estas alimentações de dados e confecção de gráficos em planilha Excel, tornando inviável ao operador realizar estas tarefas além do controle da rotuladora e alimentação de insumos. O recálculo dos limites de controle e estudo de capacidade e estudos de R&R são responsabilidades do analista de qualidade por ter sido capacitado para este fim. O gestor de

qualidade tem responsabilidade gerencial provendo infraestrutura e acompanhando o controle de linha do processo, bem como a eficácia das ações tomadas.

Responsabilidades	Linha 1	Linha 2
Coleta, análise e preenchimento da planilha de defeitos	Operador de máquinas	Operador de máquinas
Copilação dos dados, elaboração da carta de controle e gráficos	Analista de qualidade	Analista de qualidade
Monitoramento	Operador de máquinas	Operador de máquinas
Ações em causas especiais e preenchimento do relatório de ações	Operador de máquinas	Operador de máquinas
Recálculo dos limites de controle	Analista de qualidade	Analista de qualidade
Estudo de capacidade e estudo R&R	Analista de qualidade	Analista de qualidade
Infraestrutura, acompanhamento e estudos do processo	Gestor de qualidade	Gestor de qualidade

Figura39: Definição de responsabilidades nas linhas de produção monitoradas através do controle integrado de processo.

3.7 DEFINIÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO NECESSÁRIA E INFRAESTRUTURA

O registro dos dados foi feito manualmente em planilhas formatadas para este fim. Posteriormente, os dados foram calculados e anotados em cartas manuais de controle e planilhas de registro de ocorrência de causas especiais e ações tomadas.

Foram definidos os locais adequados próximos ao equipamento monitorado para a retirada a amostra, análise da amostra e anotações, bem como o local de fixação dos gráficos e planilha de registro de ações no equipamento.

3.8 TREINAMENTO EM CONTROLE INTEGRADO DA QUALIDADE

O treinamento em controle integrado foi feito antes e em paralelo à implantação efetiva do controle, com diferentes níveis de detalhamento para os diferentes responsáveis.

Para a apresentação do projeto, foi feita uma reunião com o gestor da qualidade a fim de adequar as necessidades de informações e políticas de qualidade da empresa.

Definidos os passos e datas de implantação junto a administração, foi feito um primeiro treinamento com todo o pessoal envolvido na qualidade da rotulagem (gestor da qualidade, analistas de qualidade, supervisores de produção, operadores de máquinas e demais colaboradores da planta). Neste treinamento foram apresentados alguns fundamentos da

qualidade, bem como o princípio de funcionamento das cartas de controle (material no apêndice A).

Um novo treinamento, mais específico para os operadores de máquinas e analistas da qualidade, foi feito visando uma maior compreensão sobre a mecânica das cartas de controle, seguido de sua interpretação. Foi feito, ainda, um treinamento no chão de fábrica para cada operador de máquina.

Por fim, realizou-se um treinamento somente com os analistas de qualidade; o treinamento abordou os princípios e cálculos do controle integrado de processo.

3.9 IMPLANTAÇÃO EFETIVA

3.9.1 Início do monitoramento

Nesta etapa foram coletados dados, conforme o planejado, os quais foram anotados em planilhas de dados preliminares.

Nesta dissertação são apresentados os resultados e discussões para apenas dos produtos: Teacher's (Tabela 11) e Wall Street (Tabela 12). Ambos os produtos são rotulados na linha 2.

Os resultados foram coletados com auxílio da planilha de coleta de dados; os defeitos classificados como críticos, graves e leves, conforme descrito anteriormente.

Na Tabela 11 é apresentado um resumo dos resultados, utilizando os valores da Figura 37 para o cálculo do defeito total para o Whisky Teacher's. Este cálculo é realizado através da Equação 91 apresentada na seqüência:

$$eq. 91 \text{ DefeitoTotal}_{k,j} = (DC_{k,j} \times 1) + (DG_{k,j} \times 0,25) + (DL_{k,j} \times 0,05)$$

onde: $DC_{k,j}$ é a quantidade de defeituosos crítico, $DG_{k,j}$ é a quantidade de defeituosos grave e $DL_{k,j}$ a quantidade de defeituosos leve na amostra j para o dado defeito k

Tabela 11: Defeitos total por amostra para o produto Teacher's

Tipo de Defeito	Defeito Total por Amostra																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	média
rótulo descentralizado	0,300	0,050	0,000	0,000	0,050	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	0,000	0,000	0,250	0,050	0,000	0,300	0,000	0,050	0,000	0,000	0,496
rótulo descolando	0,100	0,000	0,000	0,000	0,150	0,000	0,000	0,000	0,450	1,000	0,550	0,000	0,000	0,100	0,200	0,150	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,510
rótulo com pouca cola (com bolha)	2,250	2,000	1,550	11,80	25,25	2,750	8,100	2,700	1,750	0,000	0,650	2,250	1,550	0,400	0,300	0,050	0,150	0,100	0,250	3,050	0,250	1,100	0,522
rótulo torto	0,150	0,100	0,150	0,000	0,000	0,100	0,200	0,800	0,000	0,100	1,000	0,000	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,435
sem rótulo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,446
rótulo sujo	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	0,462
rótulo manchado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,479
rótulo rasgado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,498
rótulo amassado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,518
contra rótulo torto	0,000	0,250	0,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,100	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,539
contra rótulo descolando	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	0,000	0,100	0,000	2,250	0,900	0,300	0,600	0,000	0,250	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,100	0,561
contra rótulo com pouca cola (com bolha)	0,500	1,500	2,250	57,50	3,500	0,800	4,650	2,450	0,500	0,500	0,950	2,700	2,250	0,700	1,400	0,400	0,500	0,200	0,500	2,150	0,150	0,050	0,577
contra rótulo sujo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,415
contra rótulo manchado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,436
contra rótulo rasgado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,460
contra rótulo amassado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,483
sem contra rótulo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,512
contra rótulo descentralizado	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,450	0,000	0,250	0,000	0,000	0,100	0,050	0,000	0,100	0,100	0,200	0,000	0,000	0,000	0,545
selo rasgado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,579
selo amassado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,100	0,250	0,000	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,620
selo torto	0,550	0,150	0,250	0,000	0,100	0,400	0,250	0,200	0,200	0,500	0,450	0,500	0,550	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,000	0,050	0,000	0,668
selo com pouca cola	0,000	0,350	0,100	0,250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,709
selo descolando	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,773
selo sujo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,854
selo manchado	0,000	0,000	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,954
sem selo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,080
falta ou impressão ilegível do lote na garrafa	0,000	0,000	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,244
Somatório dos defeitos ponderados p/am	3,850	4,450	5,000	69,55	29,05	4,750	13,25	6,250	3,350	4,600	5,000	6,000	5,250	1,500	3,550	0,750	0,800	0,750	1,150	5,250	0,750	1,250	

Tabela 12: Defeitos total por amostra para o produto Wall Street

Tipo de Defeito	Defeito Total por Amostra																						média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
rótulo descentralizado	0,300	0,050	0,000	0,000	0,050	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	0,000	0,000	0,250	0,050	0,000	0,300	0,000	0,050	0,000	0,000	0,496
rótulo descolando	0,100	0,000	0,000	0,000	0,150	0,000	0,000	0,000	0,450	1,000	0,550	0,000	0,000	0,100	0,200	0,150	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,510
rótulo com pouca cola (com bolha)	2,250	2,000	1,550	11,80	25,25	2,750	8,100	2,700	1,750	0,000	0,650	2,250	1,550	0,400	0,300	0,050	0,150	0,100	0,250	3,050	0,250	1,100	0,522
rótulo torto	0,150	0,100	0,150	0,000	0,000	0,100	0,200	0,800	0,000	0,100	1,000	0,000	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,435
sem rótulo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,446
rótulo sujo	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	0,462
rótulo manchado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,479
rótulo rasgado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,498
rótulo amassado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,518
contra rótulo torto	0,000	0,250	0,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,100	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,539
contra rótulo descolando	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	0,000	0,100	0,000	2,250	0,900	0,300	0,600	0,000	0,250	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,100	0,561
contra rótulo com pouca cola (com bolha)	0,500	1,500	2,250	57,50	3,500	0,800	4,650	2,450	0,500	0,500	0,950	2,700	2,250	0,700	1,400	0,400	0,500	0,200	0,500	2,150	0,150	0,050	0,577
contra rótulo sujo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,415
contra rótulo manchado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,436
contra rótulo rasgado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,460
contra rótulo amassado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,483
sem contra rótulo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,512
contra rótulo descentralizado	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,450	0,000	0,250	0,000	0,000	0,100	0,050	0,000	0,100	0,100	0,200	0,000	0,000	0,000	0,545
selo rasgado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,579
selo amassado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,100	0,250	0,000	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,620
selo torto	0,550	0,150	0,250	0,000	0,100	0,400	0,250	0,200	0,200	0,500	0,450	0,500	0,550	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,000	0,050	0,000	0,668
selo com pouca cola	0,000	0,350	0,100	0,250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,709
selo descolando	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,773
selo sujo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,854
selo manchado	0,000	0,000	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,954
sem selo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,080
falta ou impressão ilegível do lote na garrafa	0,000	0,000	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,244
Somatório dos defeitos ponderados p/am	3,850	4,450	5,000	69,55	29,05	4,750	13,25	6,250	3,350	4,600	5,000	6,000	5,250	1,500	3,550	0,750	0,800	0,750	1,150	5,250	0,750	1,250	

3.9.2 Cálculo dos limites de controle

O cálculo dos limites de controle da carta integrada do posto só foi efetuado após a coleta de um número representativo de amostras por produto. Tanto para o caso do Teacher's como para o Wall Street, foram coletadas 22 amostras.

O cálculo do percentual de defeituosos por posto de controle foi feito utilizando a equação 84. Os cálculos para a amostra número 1 de tamanho 100 do Teacher's são apresentados a seguir:

$$eq. 92 \quad Pdef_{k,j} = DefeitoTotal_{k,j} / 100$$

$$eq. 93 \quad Pdef_1 = 1 - \prod_{k=1}^k (1 - Pdef_{k,1}) = 1 - 0,947 = 0,053$$

O percentual de defeituosos médio das 22 amostras do Teacher's (equação 94) foi obtido através da equação 85, tendo como resultado:

$$eq. 94 \quad \bar{P}def = \frac{0,388}{22} = 0,018$$

O desvio-padrão do percentual de defeituosos do mesmo produto calculado através da equação 86 teve o resultado apresentado na equação 95.

$$eq. 95 \quad \sigma_p = \sqrt{0,018 \times (1 - 0,018) / 100} = 0,013$$

Os limites de controle da carta de controle integrado para o Teacher's foram calculados através das equações 87, 88 e 89.

Limite de Controle Superior (LCS):

$$eq. 96 \quad LCS = 0,018 + (3 \times 0,013) = 0,057$$

Linha Central (LC):

$$eq. 97 \quad LC = 0,018$$

Limite de Controle Inferior (LCI):

$$eq. 98 \quad LCI = 0,018 - (3 \times 0,013) = -0,022$$

Como não é possível um percentual de defeituosos negativos, o limite de controle inferior foi fixado em zero.

A Figura 40 mostra a carta do controle integrado da rotulagem do produto Teacher's plotando-se os resultados do percentual de defeituosos de cada amostra.

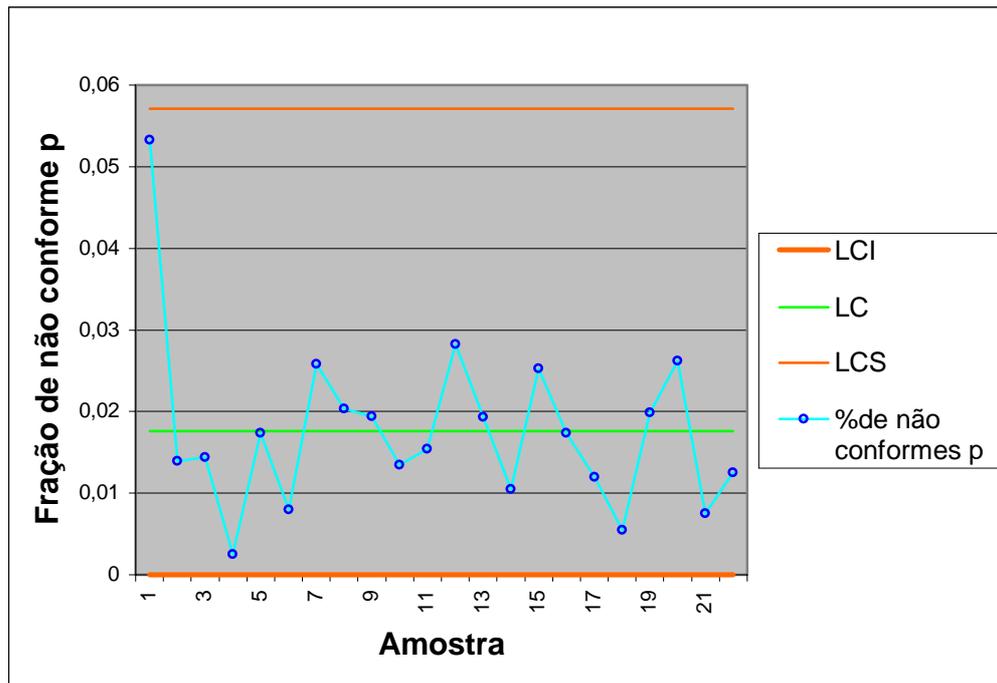


Figura 40: Carta de controle integrado da rotulagem do Teacher's

Pela carta de controle integrado (Figura 40), verifica-se que todos os pontos plotados na mesma estão dentro dos limites de controle, o que caracteriza um processo estável. A utilização desta carta de controle integrado para o monitoramento do processo, com os limites de controle calculados com as amostras iniciais, será aplicável até nova revisão dos limites de controle.

O cálculo para os limites de controle integrado do Wall Street utilizaram as mesmas equações acima mencionadas; os resultados obtidos são:

Limite de Controle Superior (LCS):

$$eq. 99 \quad LCS = 0,041 + (3 \times 0,020) = 0,101$$

Linha Central (LC):

$$eq. 100 \quad LC = 0,041$$

Limite de Controle Inferior (LCI):

$$eq. 101 \quad LCI = 0,041 - (3 \times 0,020) = -0,018$$

Novamente, o percentual de defeituosos do limite de controle inferior foi estabelecido como sendo zero.

A Figura 41 apresenta a carta de controle integrado da rotulagem do produto Wall Street, onde são plotados os percentuais de defeituosos de cada amostra.

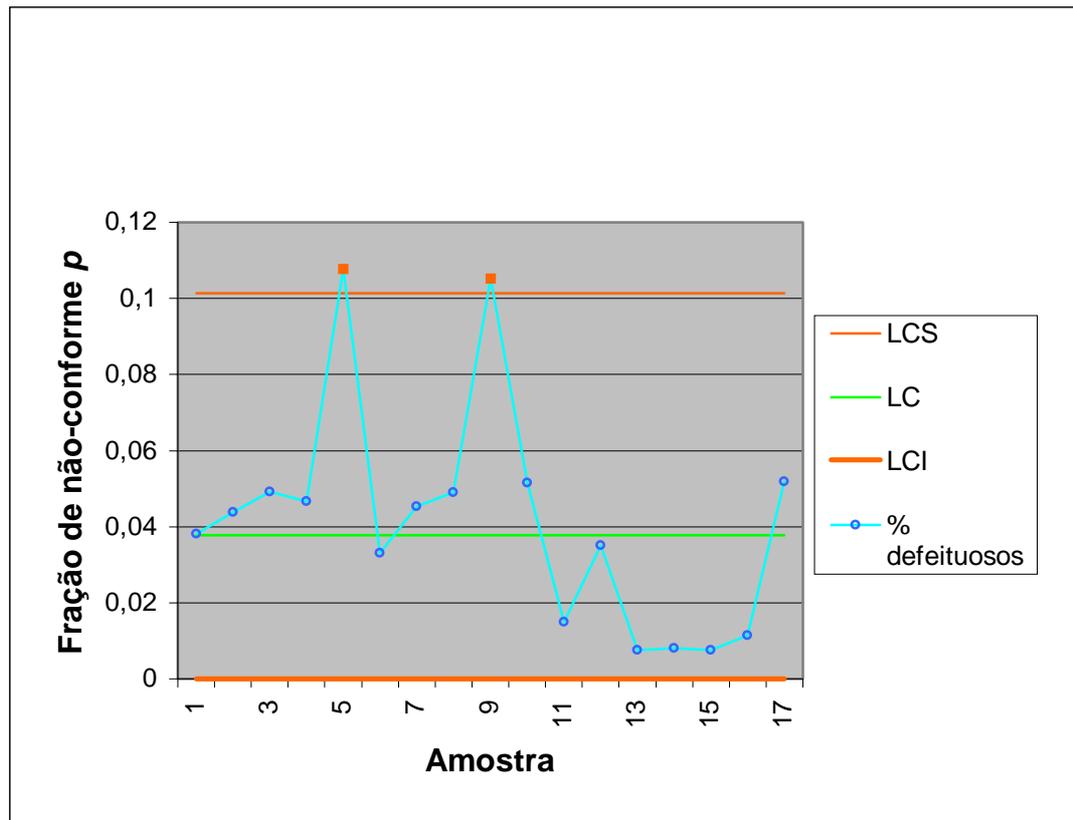


Figura 41: Carta de controle integrado da rotulagem do Wall Street

Uma vez calculados os limites de controle e plotados os pontos, houve o aparecimento de duas causas especiais na rotulagem do Wall Street. Estas causas especiais devem ser pesquisadas e deve-se recalculer os limites de controle após a identificação e eliminação das causas de anomalia no processo. Este estudo é abordado na seção 3.11.

3.10 ACOMPANHAMENTO E CONSOLIDAÇÃO

Nesta etapa foram efetuados os estudos de estabilidade e capacidade do posto.

Observando a Figura 40, relativa a rotulagem do produto Teacher's, percebe-se que o processo é estável para as amostras coletadas. Isto pode ter ocorrido por maior cuidado nas regulagens do equipamento, por parte dos operadores, durante a coleta dos dados. Porém, através deste estudo, verificou-se que o processo é capaz de atender as especificações da empresa. A carta é útil para avaliar o processo sob controle estatístico, evitando retrabalho por má rotulagem.

Quanto à análise da capacidade do processo de rotulagem do Teacher's, onde se avaliam as causas comuns do processo, considerando apenas o limite superior de especificação para o cálculo do índice de capacidade, temos:

$$eq. 102 \quad Cps = \frac{LSE - \bar{P}def}{3\sigma} = \frac{0,066 - 0,01764}{3 \times 0,013164} = 1,22$$

Ou seja, o processo é capaz de atender as especificações de rotulagem do produto.

Já na figura 41, carta de controle integrado do processo de rotulagem do produto Wall Street, a presença de duas causas especiais leva a necessidade de identificação das mesmas, o que será estudado na próxima seção.

3.11 IDENTIFICAÇÃO DO ITEM DE CONTROLE MAIS CRÍTICO POR POSTO (POR PRODUTO)

Foi feito um gráfico de Pareto dos defeitos para se verificar quais itens de controle do processo do produto Wall Street apresentam mais defeitos, levando em consideração sua classificação em crítico, grave e leve. Obteve-se, desta forma, uma priorização das ações de melhoria. Como normalmente não existem recursos para agir em todas as características de qualidade controladas, deve-se atuar sobre aquelas características que mais apresentam defeito, a fim de diminuir o percentual total de defeituosos (Caten, 1999).

Pelo gráfico de Pareto, obtido pela somatória quantidade ponderada dos defeitos para cada item de controle do processo de rotulagem do Wall Street dividida pela soma total de todos os defeitos vezes 100 (Figura 42), pode-se observar que poucos defeitos contribuem para a não-conformidade do produto. Pelos cálculos, os 2 primeiros defeitos apontados na figura representam 80% dos defeitos que incidem sobre o processo de rotulagem, devendo ser alvo em ações de melhoria. Os defeitos críticos neste posto de controle (linha 2 – produto Wall Street) são o rótulo e contra-rótulo com pouca cola. Este defeito deve ser analisado em vista a solução deste problema, ou seja, a identificação de possíveis ações preventivas e sua aplicabilidade na melhoria do processo.

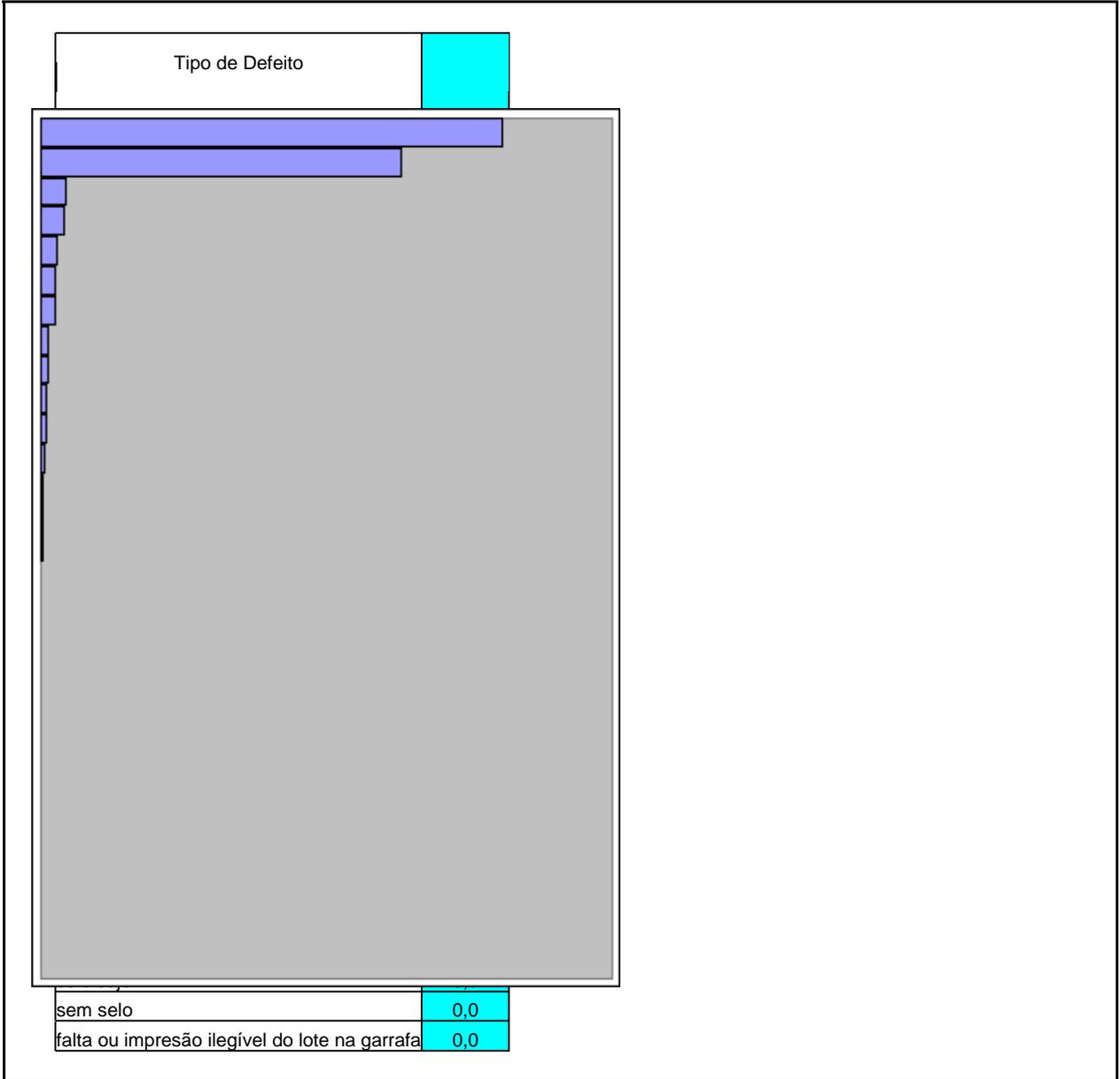


Figura 42: Pareto dos defeitos para o Wall Street (Linha 2)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação apresentou os passos para a implantação do controle integrado de processos em uma empresa de elaboração de bebidas. A implantação do CEP na empresa visa a satisfação do cliente e a diminuição do retrabalho (custo), através do monitoramento e garantia da qualidade dos atributos envolvidas na rotulagem do produto final.

A efetivação do controle estatístico de processos depende de vários fatores. Dentre eles, destacam-se o apoio total da gerência, escolha da correta ferramenta, treinamento, comprometimento das pessoas envolvidas nos processos, e principalmente, tomada de ações corretivas na ocorrência de causas especiais.

A participação da gerência deve estar presente não somente na etapa de lançamento do projeto, como também nas diversas reuniões e treinamentos, durante a implantação do controle estatístico de processos.

No estudo de caso apresentado nesta dissertação, utilizou-se uma abordagem sistemática para a implantação do CEP; as seguintes etapas foram sugeridas: definição do projeto, planejamento da implantação, treinamento, implantação efetiva e, por último, o acompanhamento e consolidação.

A definição do posto veio de uma necessidade de melhoria detectada pela empresa, devido ao alto índice de retrabalho por defeitos na rotulagem. A escolha do estudo na linha 2 teve como princípio a definição de uma unidade (um posto de trabalho) piloto para a implantação do controle, de forma que este traga resultados positivos para a empresa, motivando projetos futuros.

A carta integrada da qualidade, adequada a condições onde existe mais de um atributo a ser monitorado, tem como elemento fundamental um banco integrado de dados e as cartas integradas por posto. Esta carta mostra-se eficaz, nas condições do estudo de caso, para detectar causas especiais, ou seja, anomalias do processo. Desta forma, a carta pode ser utilizada para monitorar a qualidade do processo de rotulagem como um todo. Os dados das características de qualidade podem ser, a todo momento, recuperados para seu estudo em separado, caso haja a necessidade desta informação.

O uso de *softwares* adequados para este controle facilitaria o controle *on line* e agilizaria a tomada de decisão, no caso de presença de causas especiais. Além disto, poderia-se recuperar rapidamente a informação do comportamento de cada característica de qualidade, em cartas individualizadas.

Na etapa de acompanhamento e consolidação, a identificação de uma maior porcentagem de defeitos devido à dificuldade de colar o rótulo e contra-rótulo levaram a melhorias no processo produtivo. Houve mudança nos rótulos dos produtos o que leva a necessidade de novos estudos no referido processo.

Cabe salientar, como sugestão para trabalhos futuros:

a) Organizar procedimentos para atuar no tratamento de anomalias (causas especiais) e gerenciamento de planos de ação (causas comuns);

b) Estimar a função perda para as características de qualidade analisadas no estudo de caso, a fim de calcular a perda para a sociedade devido a defeitos, ou ainda, o aumento de custo do processo devido a porcentagem de defeituosos. esta informação pode servir para a análise de melhorias do processo, ou seja, a diminuição de defeitos e a diminuição de custo do processo inerente;

c) Comparar a variabilidade das características de qualidade, antes e após a implantação do controle estatístico e em turnos de trabalho ou operadores distintos; a técnica de análise a ser utilizada para este fim é a análise de variância (ANOVA).

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AVISON, D. et al. *Action research*. **Association for Computing Machinery**, New York, v. 42, n. 1, p. 94-97, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 9000: sistemas de gestão da qualidade – fundamentos e vocabulário*. Rio de Janeiro, 2000.

BENNETT, R.; OLIVER, J. How to get the best from action research – a guidebook. **Leadership & Organization Development Journal**, Bradford, v. 9, n. 3, p. 2-49, 1988.

BUSSAB, W.O., MORETTIN, P.A. *Estatística básica*. São Paulo: Atual, 1987.

CAMPOS, J.A. *Cenário Balanceado: painel de indicadores para a gestão da qualidade estratégica dos negócios*. São Paulo: Aquariana, 1998.

CAMPOS, V.F. *TQC – Controle da qualidade total (No estilo japonês)*, 2a ed. Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CATEN, C.T. *Controle integrado da Qualidade de Processos de manufatura de Revestimentos Cerâmicos – Tese de doutorado*. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

CATEN, C.T., RIBEIRO, J.L. e FOGLIATTO, F.S. *Implantação do Controle Integrado de processos*. **Revista Produto e Produção**, no prelo, 1999.

CHAN, L.K., CHENG, S.W. & SPIRING, F.A. *A New measure of process capability: Cpm*. **Journal of Quality Technology**, 20, 162-175, 1988.

CHENG, L.C. *QFD: planejamento da qualidade*. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

COHEN, L. *Quality Function Deployment: How to make QFD work for you*. Reading (MA): Addison-Wesley, 1995.

CUNHA, G.D.C. *Desenvolvimento de produtos - Apostila de Curso*. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia –Porto Alegre: UFRGS, 1999.

- DIETRICH, E. *SPC or statistics?*. **Quality**, Wheaton, v. 39, n. 8, p. 40-45, 2000.
- DRUCKER, P.F. (AA.). *Medindo o desempenho empresarial*. Rio de Janeiro: Campos, 2000. p. 9-30.
- EDOSOMWAN, J.A. *Winning the quality race with prevention, deployment and evaluation*. **Industrial Engineering**, Norcross, v. 25, n. 1, p. 16-18, 1993.
- EQUIPE GRIFFO. *Iniciando os conceitos da qualidade total*. São Paulo: Pioneira, 1994.
- EUREKA, W.E. & RYAN, N.E. *QFD – Perspectivas gerenciais do Desdobramento da Função Qualidade*. Rio de Janeiro: QualityMark Editora, 1993.
- FEIGENBAUM, A.V. *Controle de qualidade total*. São Paulo: Makron Books, 1994. v.1.
- FEIGENBAUM, A.V. *Controle de qualidade total*. São Paulo: Makron Books, 1994. v.4.
- FINE, E.S. *Solve problems with the appropriate SPC tool*. **Quality**, Wheaton, v. 36, n. 8, p. 24-25, 1997.
- FULLER, N. *The house of quality*. **Supply Management**, London, v. 3, n. 3, p. 44-45, 1998.
- HRADESKY, J.L. *Productivity & Quality Improvement – A Practical Guide to Implementing Statistical Process Control*. New York: McGraw-Hill, 1998.
- HUMPHREYS, G; SHAW-TAYLOR, B. *Statistical process control*. **Management Accounting**, London, v. 74, n. 1, p. 34-40, 1996.
- JURAN, J.M. *Controle de qualidade: componentes básicos da função qualidade*. São Paulo: Mcgraw-Hill/Makron, 1991.
- KAPLAN, R. S.; NORTON, D.P. (AA.). *Medindo o desempenho empresarial*. Rio de Janeiro: Campos, 2000. p. 117-136.
- KANE, V.E. *Process capability indices*. *Journal of Quality Technology*, 18, 41-52, 1986.
- KENDRICK, J.J. *Whithout a trace?*. **Quality**, Wheaton, v. 33, n. 10, p. 25-30, 1994.

- KOTLER, P. *Marketing*. São Paulo: Atlas, 1980.
- KUME, H. *Métodos Estatísticos para melhoria da Qualidade*. São Paulo: Editora Gente, 1993.
- LEVINSON, W.A. *Multiple attribute control charts*. **Quality**, Wheaton, v. 33, n. 12, p. 10-13, 1994.
- MARTINS, P.G. *Administração da produção*. São Paulo: Saraiva, 1998.
- MCMANUS, K. *Is quality dead?* **IIE Solution**, Norcross, v. 31, n. 7, p. 32-35, 2000.
- MCNEESE, W.H. *SPC for rest of us: a personal path to Statistical Process Control*. Massachusetts: Addison-Wesley, 1994.
- MEYER, C. *Medindo o desempenho empresarial*. Rio de Janeiro: Campos, 2000. p. 95-116.
- MONTGOMERY, D.C. *Statistical methods for the process industries*. New York: Marcel Dekker, 1991.
- OAKLAND, J. *Gerenciamento da qualidade total*. São Paulo: Nobel, 1994.
- OAKLAND, J.S. *Statistical process control*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999.
- OLIVEIRA, S. T. *Ferramentas para o aprimoramento da qualidade*. São Paulo: Pioneira, 1995.
- PITT, H. *SPC for rest of us: a personal path to Statistical Process Control*. Massachusetts: Addison-Wesley, 1994.
- RIBEIRO, J.L. e CATEN, C.T. *Controle Estatístico de Processos - Apostila de Curso*. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia –Porto Alegre: UFRGS, 1999.
- RIBEIRO, J.L., DANILEVICZ, A.M.F., ECHEVESTE, M., MOTTA, E. *Desdobramento da Função Qualidade - Apostila de Curso*. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia – Porto Alegre: UFRGS, 1999.

ROSS, P.J. *Aplicações das técnicas de Taguchi na engenharia da qualidade*. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991.

SHEWHART, W.A. *Application of Statistical Method in Mass Production*. **Proceedings of the Industrial Statistics Conference Held at Massachusetts Institute of Technology**. Sept 8-9, New York: Pitmar Publishing. 1938.

SIQUEIRA, L.G.P. *Controle estatístico do processo*. São Paulo: Pioneira, 1997.

SUDHAKAR, P.R. *An introduction to quality improvement through Taguchi method*. **Industrial Engineering**, Norcross, v. 27, n. 1, p. 53-58, 1995.

TOTTIE, M ; LAGER, T. *QFD – Linking the customer to the product development process as a part of the TQM concept*. **R & D Management**, Oxford, v. 25, n. 3, p. 257-268, 1995.

TRAINING. *The quality toolbox*. Minneapolis, 1992. Suplemento.

WERKEMA, M.C.C. *Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos*. Belo Horizonte – MG: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

WERNER, L., ECHEVESTE, M. *Probabilidade e estatística - Apostila de Curso*. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia – Porto Alegre: UFRGS, 1999.

WHEELER, D.J. *Use individual value to compute control limits*. **Quality**, Wheaton, v. 37, n. 1, p. 26-28, 1998.

APÊNDICE A – Material utilizado no treinamento dos funcionários da Allied Domecq

Slide 1

Melhoria da Qualidade

CEP
Controle Estatístico do Processo

Giselle Ribeiro de Souza

Slide 2

Melhoria da Qualidade

• A sobrevivência e crescimento da empresa depende de um cliente totalmente satisfeito.

Slide 3

CEP – Controle Estatístico do Processo

CEP = ferramenta utilizada para acompanhar a qualidade de processos, no caso, da rotulagem, na linha.

Slide 4

O que o CEP faz ?

- Controla como a rotuladora coloca o rótulo, o contra-rótulo e selo na garrafa.
- Evita que problemas de rotulagem cheguem ao cliente, sem precisar verificar garrafa por garrafa.

Slide 5

CEP – Controle Estatístico do Processo



- O CEP vai fazer tudo sozinho ?

NÃO !

Ele só indica se a máquina continua colocando o rótulo no lugar correto ou não.

Slide 6

Como é esta indicação ?

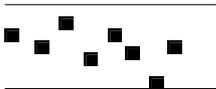
- Retira-se uma amostra de algumas garrafas e a pessoa responsável verifica como está a rotulagem e este resultado é anotado em um gráfico.



Slide 7

CEP – Controle Estatístico do Processo

- Se o valor da amostra cair dentro dos limites do gráfico :



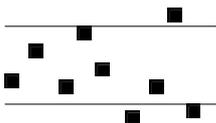
- O equipamento está funcionando normalmente:

Diz-se que o processo está sob controle.

Slide 8

CEP – Controle Estatístico do Processo

- Se o valor da amostra cair FORA dos limites do gráfico :



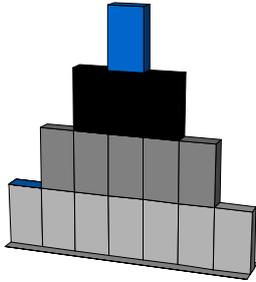
- O equipamento NÃO está funcionando corretamente:

Diz-se que o processo está FORA de controle.

Slide 9

O QUE SÃO LIMITES DE CONTROLE ?

- Limites de controle são os limites do gráfico.
- Eles são calculados a partir de amostras grandes e representam a variação da máquina.



Slide 10

Pra que isto serve ?



- Os limites de controle são calculados para sabermos quais os resultados normais esperados da amostra.
- São variações do equipamento.

Slide 11

Porque os limites existem ?

- Nenhuma máquina produz determinado produto ou operação exatamente como queremos.
- Existe sempre variações. Estas variações são os limites de controle (do gráfico).

Slide 12

Por exemplo:

- A enchedora não coloca exatamente 1000 ml de Domecq em cada garrafa. Se tirarmos uma amostra e medirmos, veremos que ela coloca :

1001,5 / 1000,8 / 1001,2 / 1000,3 / ...

Slide 13

Limites de controle

Esta variação pode ter vários motivos:

- Ser própria da máquina
- Ser causada pela diferença entre as garrafas
- .
- .
- .

Slide 14

Outro exemplo:

- A rotuladora deveria colocar o rótulo do Domecq centrado no brasão.
- Mas a máquina coloca as vezes um pouquinho para um lado, um pouquinho para o outro, mas ainda é considerado normal : defeito leve.

Slide 15

- Esta variação pode ter vários motivos:
- Ser própria da máquina
- .
- .
- .
- .

Slide 16

Limites de controle e média

- Os limites de controle são o máximo e o mínimo valor esperado na amostra, própria do processo.
- A média também é calculada a partir da amostra. É, normalmente, o valor central.
- No exemplo:
média = $\frac{1001,5+1000,8+1001,2+1000,3}{4}$
média = 1000,95

Slide 17

Gráfico

- Uma vez que calculamos os limites de controle e a média, o gráfico estará assim:

LCS _____

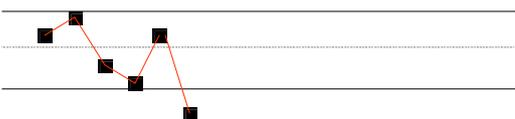
Média _____

LCI _____

Slide 18

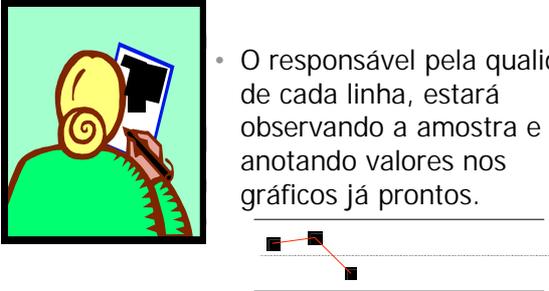
Controle

- Se os valores estão dentro dos limites, o processo está sob controle.
- Se um ponto sair do limite para cima ou para baixo, o processo está fora de controle, a máquina está desregulada.



Slide 19

O que terei a fazer nas linhas ?



- O responsável pela qualidade de cada linha, estará observando a amostra e anotando valores nos gráficos já prontos.

Slide 20

O que terei a fazer nas linhas ?



- O operador de cada máquina terá que observar o resultado da amostra no gráfico,
- e ajustar a máquina, se necessário, se ela estiver fora de controle.

Slide 21

Controle Estatístico do Processo - CEP

- Desta forma, os processos estão sendo controlados sempre, e não os produtos já prontos.

Slide 22

Controle Estatístico do Processo - CEP

Qual a vantagem ?

- Diminuir os produtos com defeitos
- Diminuir o retrabalho dos produtos
- Não atrasar a entrega de mercadoria porque o lote tem muitos defeitos
- .
- .

Slide 23

Qualidade



- Para que a Allied-Domecq continue sendo líder na produção de Brandy,
- todos nós temos que contribuir para este objetivo ser alcançado, com qualidade.

ANEXO A - Avaliação final da linha de engarrafamento e produto acabado

1 - Avaliação final da linha de engarrafamento

(IT 09.03/004)

Imediatamente após o início da produção devemos coletar uma amostra para verificação do volume e grau alcoólico, com o objetivo de reconfirmar os resultados obtidos na aprovação do produto para engarrafamento.

Quando iniciar o encaixotamento, uma caixa será retirada aleatoriamente para uma inspeção visual: enchimento, selagem colocação do conta-gotas, posicionamento do litro ou garrafa no estojo, marcação de lote e encaixotamento. Caso haja alguma não conformidade com o especificado, a linha de produção deve ser parada para que sejam corrigidas as não-conformidades.

Todas as informações do ocorrido durante a produção, como problemas de rotulagem, adesivo, caixas ou qualquer informação importante são registradas em formulário específico.

2 - Avaliação do produto acabado

(IT 15.003)

Defeito Crítico: O defeito que compromete a comercialização do produto, podendo proporcionar em alguns casos. Condições perigosas ao consumidor final.

Defeito Grave: O defeito que pode comprometer a estética do produto, interferindo na decisão de compra, bem como denegrir a imagem da Allied Domecq.

Defeito Leve: O defeito que não impede a compra, porém não está conforme a especificação do produto, podendo ser notado ou não pelo consumidor.

- **Critério de Coleta de Amostras:** Caixas coletadas aleatoriamente, durante a produção.
- **Número de pessoas Avaliadoras:** O comitê é composto de 8 pessoas, de diferentes departamentos.
- **Horário da Avaliação:** A avaliação deve ser feita na manhã seguinte da produção das 8:00 às 10:00 horas.
- **Formulário de Avaliação:** O formulário será preenchido após avaliação individual de cada garrafa, sendo assinalada a quantidade de garrafas com defeito no campo "contagem".

- Lista de Defeitos de Produto Acabado: Os defeitos estão descritos na lista de defeitos
- Índices de Tolerância de Defeitos: Serão considerados diferentes índices de tolerância (% de defeitos) para cada tipo de produto:
 - Brandy Domecq, Brandy Solera Special, Vodka Ikowa, Teacher's Mini, Brandy Domecq Mini e produtos importados selados: máximo 1% de defeitos.
 - Long John, Wall Street, Wall Street Copo e Teacher's Copo: máximo de 2% de defeitos.
 - Teacher's: máximo de 3% de defeitos.
- O Comitê pode reunir-se em caráter emergencial, se o produto precisar ser despachado no mesmo dia da produção.
- Caso houver dúvidas sobre a avaliação dos defeitos consultar a Coordenação da Gestão da Qualidade.

RESULTADOS FINAIS

- Os resultados serão divulgados semanalmente em quadro de aviso na área de produção.
- Se o lote avaliado for considerado fora do padrão especificado é feita nova amostragem aleatória para uma segunda avaliação. Esta amostragem deve ser de duas vezes a quantidade de caixas analisadas na primeira vez.
- Se, após a segunda avaliação, o produto ainda for considerado fora dos padrões, o lote é interdito para ser revisado e retrabalhado. Isolar e identificar conforme IT 08. 006.