

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS EM UMA
EMPRESA DE MANUFATURA DE ÓLEO DE ARROZ**

Verônica Tassinari Pires

Porto Alegre, 2000

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**IMPLANTÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS EM UMA
EMPRESA DE MANUFATURA DE ÓLEO DE ARROZ**

Verônica Tassinari Pires

Orientador: Professor Flávio Sanson Fogliatto, Ph.D

Orientadora: Professora Carla Schwengber ten Caten, Dra.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Luis Duarte Ribeiro

Prof. Dr. Marco Antônio Ayub

Profa. Dra. Dinara Westphalen Xavier Fernandez

**Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia
apresentado ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção como
requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia – modalidade
Profissionalizante**

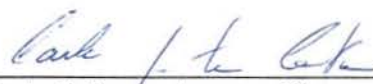
Porto Alegre, 2000

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. Carla Schwengber ten Caten

Orientadora
Escola de Engenharia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul



Profª. 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 Duarte Ribeiro

Prof. Dr. Marco Antônio Ayub

Profa. Dra. Dinara Westphalen Xavier Fernandez

“Quanto mais fazemos, mais somos capazes de fazer.”
William Hazut

Agradecimentos

Agradeço, em especial, à direção e funcionários da empresa Helmut Tessmann Ind. Com. de Óleos Vegetais Ltda, pelo apoio, dedicação e confiança, pois sem os quais este trabalho não se concretizaria.

Agradeço imensamente aos meus orientadores Carla ten Caten e Flávio Sanson Fogliatto pelo dom de transmitir os conhecimentos adquiridos e assim, contribuírem de forma significativa com a realização deste trabalho e de minha formação profissional. Ainda gostaria de agradecer aos meus queridos orientadores a amizade compartilhada durante esta caminhada.

Agradeço à Professora Dinara Westphalen Xavier Fernandez, ao professor José Luis Duarte Ribeiro e ao professor Marco Antônio Ayub que compuseram a banca examinadora, pela disponibilidade e contribuições para o crescimento deste trabalho.

E, por fim, agradeço à minha família e ao meu noivo, Eduardo, pela paciência, compreensão e incentivo, contribuindo assim, para que esta meta fosse atingida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 COMENTÁRIOS INICIAIS	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Tema e justificativa	2
1.3 Objetivos da pesquisa.....	4
1.4 Método de desenvolvimento da pesquisa.....	5
1.5 Estrutura da pesquisa.....	6
1.6 Limitações da pesquisa.....	7
2 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS DE MANUFATURA DE ÓLEO DE ARROZ.....	8
2.1 Fundamentos do controle estatístico de processos.....	9
2.1.1 Carta de controle para variáveis	11
2.1.2 Curva Normal de probabilidade	13
2.1.3 Cálculo dos limites de controle	15
2.1.4 Interpretação da estabilidade do processo	19
2.1.5 Interpretação da capacidade do processo.....	23
2.2 Etapas da implantação do controle estatístico de processos.....	26
2.2.1 Definição do projeto	27
2.2.2 Planejamento da implantação.....	28
2.2.3 Treinamento em controle estatístico de processos	43
2.2.4 Implantação efetiva.....	44
2.2.5 Acompanhamento e consolidação	45
3 PROCESSOS DE MANUFATURA DE ÓLEO DO FARELO DE ARROZ.....	46
3.1 Características físico-químicas do óleo do farelo de arroz.....	47
3.2 Processo produtivo do óleo do farelo de arroz	49
3.2.2 Preparação do farelo de arroz.....	50
3.2.3 Extração do óleo de farelo de arroz.....	52
3.2.4 Degomagem do óleo do farelo de arroz.....	53
3.2.5 Neutralização do óleo do farelo de arroz.....	54
4 ESTUDO DE CASO: IMPLANTAÇÃO DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS EM UMA EMPRESA DE ÓLEO DE ARROZ.....	56
4.1 Definição do projeto.....	57
4.1.1 Definição do escopo	57
4.1.2 Definição da equipe de trabalho	58
4.1.3 Palestra de lançamento do projeto.....	58
4.2 Planejamento da implantação	58
4.2.1 Desdobramento da qualidade	59
4.2.2 Desdobramento dos processos	62
4.2.3 Direcionamento das ações.....	64
4.2.4 Identificação dos postos de controle e parâmetros e características de qualidade do processo a serem monitoradas em cada posto	66

4.2.5	Definição de critérios de classificação dos produtos (filtros).....	67
4.2.6	Definição dos parâmetros e características de qualidade do processo	68
4.2.7	Definição do procedimento de coleta de dados.....	69
4.2.8	Avaliação do sistema de medição	70
4.2.9	Definição das responsabilidades	71
4.2.10	Definição da documentação necessária	72
4.3	Treinamento em controle estatístico de processos.....	73
4.4	Implantação efetiva	74
4.4.1	Início do monitoramento.....	74
4.4.2	Cálculo dos limites de controle	74
4.5	Acompanhamento e consolidação.....	75
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES: ANTES E APÓS A IMPLANTAÇÃO DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS.....	76
5.1	Análise de variância para as características de qualidade	77
5.2	Estudo da estabilidade e capacidade dos processos de manufatura do óleo de arroz	86
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
6.1	Conclusões.....	98
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estratégia para melhorias no controle estatístico de processos.	11
Figura 2. Distribuição dos valores individuais <i>versus</i> distribuição amostral das médias.....	13
Figura 3. Percentuais associados a faixa de $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$ da média de uma distribuição normal com média 28,4 e $\sigma = 0,20$	15
Figura 4. Exemplo de carta de controle com de padrão cíclico nos dados.....	21
Figura 5. Exemplo de carta de controle com mudança da média de um processo	22
Figura 6. Exemplo de carta de controle obtida de um processo com tendência.	22
Figura 7. Processo Estável <i>versus</i> Processo Capaz.....	24
Figura 8. Desdobramento da Qualidade	31
Figura 9. Exemplo de matriz da qualidade	31
Figura 10. Desdobramento dos processos	35
Figura 11. Identificação dos postos de controle e alocação das características de qualidade em cada posto	39
Figura 12. Desenho esquemático das primeiras quatro etapas do planejamento da implantação do controle estatístico de processos [Fonte: Ribeiro & Caten, 1998].	40
Figura 13. Fluxograma do processo de manufatura do óleo de arroz.	50
Figura 14. Exemplo de diário do PROCEP	73
Figura 15. Comparativo das médias entre antes e depois da implantação do CEP, para a característica umidade do farelo preparado (posto 1).	79
Figura 16. Comparativo das médias entre antes e depois da implantação do CEP, para a característica residual de gordura do farelo do DT (posto 2).	82
Figura 17. Comparativo das médias entre antes e depois da implantação do CEP na característica acidez do óleo semi-refinado (posto 3).	85
Figura 18. Carta de controle da umidade do farelo preparado (posto 1) no período de 01/08/99 às 00:14 hs até 17/08/99 às 19:03 hs.	86
Figura 19. Carta de controle da umidade do farelo preparado (posto 1) no período de 17/08/99 às 20:18 hs até 01/09/99 às 02:23 hs.	87
Figura 20. Carta de controle da umidade do farelo preparado (posto 1) no período de 01/09/99 às 03:19 hs. até 15/09/99 às 17:59 hs.	87
Figura 21. Carta de controle da umidade do farelo preparado (posto 1) no período de 15/09/99 às 19:20 hs. até 30/09/99 às 22:22 hs.	87
Figura 22. Carta de controle da amplitude móvel para umidade do farelo preparado (posto 1) no período de 01/08/99 às 00:14hs até 17/08/99 às 19:03hs.	88
Figura 23. Carta de controle da amplitude móvel para umidade do farelo preparado (posto 1) no período de 17/08/99 às 20:18hs até 01/09/99 às 02:23hs.	88
Figura 24. Carta de controle da amplitude móvel para umidade do farelo preparado (posto 1) no período de 01/09/99 às 03:19hs até 15/09/99 às 17:59hs	88
Figura 25. Carta de controle da amplitude móvel para umidade do farelo preparado (posto 1) no período de 15/09/99 às 19:20hs até 30/09/99 às 22:22hs	89
Figura 26. Análise da capacidade do processo para umidade do farelo preparado (posto 1).....	90
Figura 27. Carta de controle do residual de gordura do farelo do DT no período de 01/08/99 às 00:00 hs até 30/09/99 às 15:00 hs.	91

Figura 28. Carta de controle para amplitude móvel do residual de gordura do farelo do DT no período de 01/08/99 às 00:00 hs até 30/09/99 às 15:00 hs.....	91
Figura 29. Análise da capacidade do processo para Residual do gordura do farelo do DT (posto 2).....	92
Figura 30. Carta de controle da acidez do óleo semi-refinado (posto 3) no período de 01/08/99 às 00:51 hs. até 16/08/99 às 8:18 hs.	93
Figura 31. Carta de controle da acidez do óleo semi-refinado (posto 3) no período de 16/08/99 às 08:51 hs. até 30/08/99 às 1:45 hs.	93
Figura 32. Carta de controle da acidez do óleo semi-refinado (posto 3) no período de 30/08/99 às 02:47 hs. até 12/09/99 às 3:55 hs.	94
Figura 33. Carta de controle da acidez do óleo semi-refinado (posto 3) no período de 12/09/99 às 04:59 hs. até 30/09/99 às 20:48 hs.	94
Figura 34. Carta de controle para amplitude móvel da acidez do óleo semi-refinado (posto 3) no período de 01/08/99 às 00:51 hs. até 16/08/99 às 08:18 hs	94
Figura 35. Carta de controle para amplitude móvel da acidez do óleo semi-refinado (posto 3) no período de 16/08/99 às 08:51 hs. até 30/08/99 às 1:45 hs	95
Figura 36 .Carta de controle para amplitude móvel da acidez do óleo semi-refinado (posto 3) no período de 30/08/99 às 02:47 hs. até 12/09/99 às 3:55 hs	95
Figura 37. Carta de controle para amplitude móvel da acidez do óleo semi-refinado (posto 3) no período de 12/09/99 às 04:59 hs. até 30/09/99 às 20:48 hs	95
Figura 38. Análise da capacidade do processo para acidez do óleo semi-refinado (posto 3).....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de d_2 e A_2 , utilizados no cálculo dos limites de controle da carta \bar{X}	17
Tabela 2. Valores das constantes D_4 e D_3	17
Tabela 3. Valores da constante E_2	18
Tabela 4. Resumo das causas comuns e especiais de variação	20
Tabela 5. Escala da intensidade das relações	30
Tabela 6. Índice para avaliação estratégica dos itens da qualidade demandada	32
Tabela 7. Índice para avaliação competitiva das características de qualidade.....	33
Tabela 8. Índice para avaliação da dificuldade de atuação].....	33
Tabela 9. Índice para avaliação competitiva das características de qualidade].	34
Tabela 10. Intensidade das relações.....	35
Tabela 11. Escala de capacidade das etapas dos processos produtivos	37
Tabela 12. Escala de conhecimento das etapas dos processos produtivos.....	37
Tabela 13. Escala da intensidade da aplicação das ações corretivas	38
Tabela 14. Cronograma de implantação do controle estatístico de processos.	57
Tabela 15. Árvore da qualidade demandada	60
Tabela 16. Matriz da qualidade	61
Tabela 17. Matriz dos processos	63
Tabela 18. Ações de melhorias para os parâmetros dos processos	65
Tabela 19. Descrição dos postos de controle.	66
Tabela 20. Descrição das características de qualidade monitoradas.	66
Tabela 21. Descrição dos critérios de classificação.	68
Tabela 22. Critérios de classificação para as características de qualidade.	68
Tabela 23. Descrição das características de qualidade, tamanho da amostra e frequência de amostragem.	69
Tabela 24. Definição de responsabilidades.....	72
Tabela 25. ANOVA para as médias da umidade do farelo preparado (posto 1).....	78
Tabela 26. Comparação múltipla de médias para umidade do farelo preparado	80
Tabela 27. ANOVA para o desvio-padrão da umidade do farelo preparado (posto 1).....	81
Tabela 28. ANOVA para as médias do residual de gordura do farelo do DT (posto 2).....	82
Tabela 29. Comparação múltipla de médias para residual de gordura do farelo do DT 83	
Tabela 30. ANOVA para o desvio-padrão do residual de gordura do farelo do DT (posto 2).....	84
Tabela 31. ANOVA das médias para acidez do óleo semi-refinado (posto 3).	84
Tabela 32. ANOVA para o desvio-padrão da acidez do óleo semi-refinado (posto 3).....	85

RESUMO

Esta dissertação aborda tópicos relacionados ao controle e garantia da qualidade no processo de manufatura de óleo de arroz. Mais especificamente, este trabalho apresenta uma aplicação do Controle Estatístico de Processos (CEP) na análise e monitoramento de variáveis de produto e processo, relevantes na manufatura de óleo de arroz. As principais ferramentas estatísticas do CEP utilizadas neste trabalho são as cartas de controle e os estudos de capacidade.

O CEP fornece uma descrição detalhada do comportamento do processo, permitindo a identificação de fontes relevantes de variação e seu monitoramento ao longo do tempo. Para tanto, o CEP utiliza cartas de controle de processo. As cartas de controle possibilitam distinguir entre causas comuns e causas especiais de variação. Uma vez identificadas as causas especiais de variação, ações pertinentes de bloqueio podem ser adotadas para prevenir sua reincidência sobre o processo.

A dissertação apresenta uma revisão detalhada da literatura abordando dois temas principais: (i) controle dos processos de manufatura do óleo de arroz (ii) implantação do controle estatístico de processos. Uma metodologia para implantação do CEP em cinco etapas é apresentada. Essa metodologia permite a identificação de características de qualidade relevantes no desempenho de processos industriais. Uma vez priorizadas as características de qualidade, podem-se elencar práticas de controle adequadas para seu monitoramento. A metodologia de implantação do CEP é ilustrada através de um estudo de caso em uma indústria de beneficiamento de óleo de arroz.

Palavras Chaves: Óleo de Arroz, Qualidade, Controle Estatístico de Processos

ABSTRACT

This dissertation deals with topics related to quality control and assurance in the vegetable oil extraction industry. More specifically, this work presents an application of Statistical Process Control (SPC) in the investigation and monitoring of process and product variables that arise in the manufacturing of rice oil. The main SPC statistical tools applied here are control charts and capability analyses.

SPC methods gives a thorough description of industrial processes, allowing identification of relevant variation sources and their monitoring over time. To accomplish that, SPC relies on process control charts. Control charts make possible to distinguish between common and special sources of variation. Once special variation sources are identified, pertinent blocking actions may be implemented to prevent them from reoccurring .

This dissertation starts with a literature review covering two main topics: (i) quality control of rice oil extraction processes, and (ii) the basics of statistical process control. Next, a method for identification of relevant quality characteristics in industrial processes is presented. Quality control practices suitable for each quality characteristic type are also detailed. Finally, a case study describing the steps of an SPC implementation in an industrial company is presented.

Key-words: Rice Oil Manufacturing, Quality Control, Statistical Process Control

1 COMENTÁRIOS INICIAIS

1.1 Introdução

A sobrevivência das empresas no mercado competitivo atual está diretamente ligada à produção de itens de qualidade a um baixo custo. Nesse sentido, uma série de estratégias foram concebidas nas últimas décadas, com o objetivo de assegurar a qualidade de processos e produtos industriais, proporcionando seu controle efetivo. Uma dessas estratégias, o Controle Estatístico de Processo, é o objeto de estudo deste trabalho.

O Controle Estatístico do Processo (CEP) pode ser descrito como uma ferramenta de monitoramento *on-line* da qualidade. Através da inspeção por amostragem de características predeterminadas do produto em estudo e de seu processo de manufatura, o CEP possibilita a detecção de causas especiais, anômalas ao processo, que prejudiquem a qualidade final do produto manufaturado.

Neste trabalho, investiga-se a implantação do CEP no processo de manufatura de óleo de arroz. As etapas de implantação do CEP aqui apresentadas foram adaptadas de Caten *et al.* (2000). As adaptações visam adequar os passos metodológicos propostos por aqueles autores às particularidades da indústria de processamento de alimentos. A implantação do CEP é ilustrada através de um estudo de caso, conduzido

em uma empresa produtora de óleo de arroz, localizada no interior do Estado do Rio Grande do Sul. A implantação do CEP na empresa em estudo consistiu-se em um esforço inicial no processo de implantação de uma sistemática de controle da qualidade em todos os seus processos e produtos.

O controle de qualidade consiste no desenvolvimento, planejamento, produção e marketing de produtos e serviços a um menor custo, os quais sejam adquiridos pelos consumidores com satisfação. Para alcançar esses objetivos, todos os setores de uma organização devem trabalhar em conjunto (Ishikawa, 1990).

A qualidade do produto manufaturado depende, além das matérias-primas, da sistemática de monitoramento (i) de parâmetros relevantes em seu processamento e (ii) de características do produto acabado. A satisfação do cliente deve ser encarada, por parte das organizações, como uma meta de longo prazo, que possibilite garantir sua sobrevivência no mercado. Com vistas a garantir a satisfação de clientes, seus requisitos de qualidade devem, num primeiro momento, ser identificados, definidos e esclarecidos quanto a seu conteúdo. Na seqüência, devem-se estabelecer procedimentos e sistemas para monitoramento e controle das variáveis relacionadas aos requisitos de qualidade inicialmente identificados pelos clientes. É nesse contexto que o CEP destaca-se como agente habilitador da garantia da qualidade demandada pelos clientes.

1.2 Tema e justificativa

O tema desta dissertação é o controle e garantia da qualidade no processo de manufatura de óleo de arroz, através do monitoramento estatístico de variáveis de processo e produto, com vistas a atingir padrões de excelência no processo produtivo e na satisfação dos clientes.

O controle estatístico de processos (CEP) teve seus conceitos básicos desenvolvidos na década de 20, por Walter Shewhart (Shewhart, 1938). O CEP teve sua gênese na indústria de componentes elétricos, tendo sido intensamente utilizado em

períodos específicos como, por exemplo, durante a Segunda Guerra Mundial. No final deste século, a utilização do CEP vem sendo identificada como elemento habilitador de vantagens competitivas, motivada pela bem sucedida utilização da ferramenta pela indústria japonesa.

O CEP proporciona o controle da qualidade exercido durante a execução do processo, em tempo real. Desta forma, previne-se a formação de defeitos ou não-conformidades nos produtos acabados. O CEP privilegia uma estratégia *preventiva* de controle da qualidade, em detrimento de uma estratégia de inspeção e detecção de erros após a sua ocorrência.

Na estratégia do CEP, processos são controlados efetuando-se medições de variáveis de interesse em pontos espaçados no tempo e registrando os resultados em cartas de controle. As cartas de controle são gráficos temporais apresentando os valores de medição da variável de interesse no eixo vertical e os pontos no tempo nos quais as medições são efetuadas no eixo horizontal. O objetivo principal do CEP é monitorar o desempenho da variável de interesse, atuando corretivamente sobre o processo quando necessário, de forma a garantir a qualidade futura dos itens. Os dados de entrada das cartas de controle podem ser medições de um parâmetro de processo ou de uma característica de qualidade de interesse (ou seja, de uma variável ou atributo que influencie ou represente a qualidade dos itens manufaturados).

A coleta de dados no CEP é realizada com uma frequência pré-estabelecida, sendo os resultados registrados graficamente nas cartas de controle. Cada novo ponto inserido na carta é comparado contra limites de controle que representam o padrão de qualidade do processo. Se os resultados dos dados coletados estiverem fora do padrão histórico de qualidade (isto é, fora dos limites de controle), tem-se um indicativo da presença de causas especiais atuando sobre o processo. Causas especiais são eventos anômalos, prejudiciais à qualidade do produto manufaturado. Uma vez identificadas as causas especiais, deve-se promover ações corretivas e preventivas que busquem eliminá-las, bem como evitar sua reincidência sobre o processo. Quando corretamente implementado, o CEP promove melhorias na qualidade, produtividade e confiabilidade de produtos e processos, além da redução de custos decorrentes da má qualidade e, por conseguinte, do custo total do produto manufaturado. Os fundamentos do CEP são detalhados no Capítulo 2 desta dissertação.

A busca constante pela satisfação dos clientes, melhoria dos produtos e serviços, redução dos custos e ampliação de mercados, estão levando diversos setores industriais a buscar a automatização de seus processos. A adoção de processos automatizados permite a medição simultânea, em tempo real, de inúmeras variáveis de processo e produto. De maneira análoga, diversas empresas têm direcionado seus esforços buscando adequar-se às normas de garantia da qualidade da série ISO 9000, QS-9000 ou ISO 14000 (Caten *et al.*, 1999). Tais normas demandam a emissão de relatórios e certificados, além de incentivar o rastreamento das seqüências produtivas. Tais atividades são facilitadas pelos dispositivos de controle *on-line* da qualidade como, por exemplo, o CEP. Neste contexto, a presente investigação sobre a utilização do CEP na indústria de processamento de alimentos, em particular em um Estado de tradição agropecuária como o Rio Grande do Sul, encontra-se plenamente justificada.

1.3 Objetivos da pesquisa

O objetivo principal desta pesquisa é, a partir da revisão da literatura e investigação de estudos de casos já reportados, implantar o Controle Estatístico de Processos na empresa Helmut Tessmann Ind. e Com. de Óleos Vegetais Ltda, localizada no município de Camaquã, RS.

A implantação do CEP na empresa em estudo compreenderá duas grandes etapas: (i) identificação dos processos críticos na qualidade e produtividade dos produtos manufaturados pela empresa e (ii) aplicação do controle estatístico sobre estes processos.

A identificação dos processos críticos compreenderá o seguinte grupo de ações: (i) conhecer a qualidade demandada pelo cliente, (ii) conhecer as características que compõem a qualidade do óleo de arroz manufaturado pela empresa e associá-las à qualidade demandada pelo cliente e (iii) conhecer os processos de manufatura relacionados às características de qualidade do produto.

1.4 Método de desenvolvimento da pesquisa

O método de pesquisa científica proposto para esta dissertação de mestrado enquadra-se, de acordo com a classificação apresentada por Roesch (1994), na categoria de *Pesquisa Ação*.

A Pesquisa Ação consiste em resolver problemas específicos dentro de um grupo, organização e empresa. A Pesquisa Ação torna-se parte do processo de mudança, ao encorajar as pessoas envolvidas com o programa a estudar seus próprios problemas com vistas a resolvê-los. Nesse método de pesquisa, há pouca distinção entre pesquisa e ação, pois os métodos são informais e específicos ao problema, pessoa, empresa, etc. A Pesquisa Ação implica em um alto grau de envolvimento entre pesquisador e pesquisado, ao trabalhar uma questão de interesse compartilhado. Com isso, esse método sugere impressões de parâmetros para julgamento sobre o processo para os seus participantes, pois estes podem solucionar problemas através de seu estudo.

A presente pesquisa tem início com uma revisão detalhada da literatura abordando dois temas principais: (i) controle dos processos de manufatura do óleo de arroz, e (ii) a implantação do controle estatístico de processos.

Na seqüência, após identificação e priorização das características de qualidade a serem monitoradas no processo e treinamento do pessoal operacional da empresa em estudo, desenvolve-se a implantação efetiva do controle estatístico no processo de manufatura do óleo de arroz, através das seguintes grandes etapas: (i) Definição do projeto, (ii) Planejamento da implantação, (iii) Treinamento em controle estatístico de processos, (iv) Implantação efetiva e (v) Acompanhamento e consolidação.

Finalmente, baseado no referencial teórico e nos dados coletados ao longo da implantação, elaboram-se conclusões, comparando a estabilidade e capacidade dos processos das diversas características de qualidade monitoradas, antes e depois da implantação do CEP.

1.5 Estrutura da pesquisa

A presente dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos, com conteúdos brevemente descritos a seguir.

O Capítulo 1 traz uma introdução ao trabalho, apresentação do tema, justificativas, objetivos e o método de desenvolvimento da pesquisa, bem como sua estrutura e limitações.

No capítulo 2, apresenta-se uma revisão de literatura sobre o Controle Estatístico de Processo; são apresentadas a evolução histórica, conceitos, desenvolvimentos matemáticos, procedimentos e etapas da implementação do CEP. Também neste capítulo, apresenta-se uma introdução ao QFD – *Quality Function Deployment* (Desdobramento da Função Qualidade). Tópicos focalizados incluem o desdobramento da qualidade, dos processos e direcionamento das ações de melhorias.

No capítulo 3, apresenta-se uma revisão sobre processos de manufatura de óleo de arroz e as principais características a serem monitoradas, com vistas a evitar perdas na qualidade do produto final.

No capítulo 4, apresenta-se a implantação do controle estatístico de processos em uma indústria de óleo de arroz, seguindo a metodologia proposta por Caten *et al.* (1999), adaptada ao estudo de caso. O objetivo nesta etapa do trabalho é verificar a eficiência da aplicação do CEP no controle da manufatura de óleo de arroz.

No capítulo 5, apresentam-se os resultados alcançados com a utilização do CEP no estudo de caso, bem como comparações entre o desempenho dos processos antes e depois da implantação do CEP. A dissertação é encerrada com conclusões e delineamento de pesquisas futuras.

1.6 Limitações da pesquisa

A pesquisa apresenta recursos suficientes para que empresas com características similares a do estudo de caso, possam implantar o controle estatístico de processos e, assim, monitorar as variáveis responsáveis pela qualidade do produto final.

A implantação do CEP na indústria de manufatura de óleo de arroz se restringe aos setores de preparação do farelo de arroz, extração e neutralização do óleo de arroz. Os custos de implantação 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.

2 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS DE MANUFATURA DE ÓLEO DE ARROZ

Neste capítulo, são apresentados os fundamentos do controle estatístico de processo (CEP). O CEP é uma ferramenta estatística que caracteriza-se pela inspeção por amostragem de processos, com o objetivo de verificar a presença de causas especiais (isto é, causas que possam prejudicar a qualidade do produto manufaturado). O CEP tem como finalidade promover a prevenção de defeitos, melhoramento da qualidade dos produtos e serviços, e redução de seus custos de fabricação através da aplicação de métodos estatísticos de controle da qualidade, conforme Montgomery (1996), Pitt (1994) e Hradesky (1988), entre outros.

O restante do capítulo está dividido nas seguintes seções e conteúdos. O item 2.1 apresenta os fundamentos do CEP; o sub-item 2.1.1 apresenta a carta de controle para valores individuais; o sub-item 2.1.2 traz uma descrição da curva Normal de probabilidade; o sub-item 2.1.3 apresenta o cálculo dos limites de controle para os diferentes tipos de cartas de controle abordadas; o sub-item 2.1.4 contém uma introdução ao conceito de estabilidade de processo; o sub-item 2.1.5 apresenta uma introdução ao conceito de capacidade do processo. No item 2.2 é apresentada uma abordagem sistemática, em cinco etapas, para implantação do CEP; sub-itens são devotados a cada uma destas etapas.

2.1 Fundamentos do controle estatístico de processos

O principal elemento do CEP é a carta de controle de processo, que permite identificar o comportamento do processo ao longo do tempo e detectar a incidência de causas especiais, permitindo delinear ações que previnam e bloqueiem sua reincidência. O CEP possibilita um controle eficaz da qualidade, feito pelo próprio operador e em tempo real. Desta forma, promove-se um aumento do comprometimento do operador com a qualidade do que está sendo produzido pelo processo por ele controlado. Atividades de supervisão são, assim, reduzidas, permitindo à gerência centralizar seus esforços em ações que visem a melhoria dos processos.

O CEP encontra-se fundamentado na utilização de métodos e técnicas de natureza estatística. Alguns métodos estatísticos surgiram em busca de soluções para problemas relacionados à qualidade, entendimento e previsibilidade dos processos e melhorias dos mesmos (Pitt, 1994); parece evidente que o CEP compartilha destes mesmos objetivos, o que justifica sua base estatística.

O CEP é parte integrante dos programas de qualidade total, adotados por inúmeras empresas como estratégia habilitadora de sua permanência e expansão nos mercados globalizados, conforme Campos (1992). Analogamente, a utilização de técnicas de controle estatístico de processo encontram-se previstas em normas internacionais como as da série ISO 9000 (Viterbo, 1996) e QS 9000 (AIAG, 1997).

O CEP fornece uma descrição detalhada do comportamento do processo, identificando sua variabilidade e possibilitando seu controle ao longo do tempo, através da coleta continuada de dados e da análise e bloqueio de possíveis causas especiais, responsáveis pela instabilidade do processo em estudo. No CEP, o monitoramento do processo pode ser executado pelos próprios operadores, possibilitando uma rápida identificação de anomalias, além de proporcionar maior consistência e previsibilidade no processo, com vistas à atuação e tomada de decisões na busca de melhorias.

O controle da qualidade no CEP utiliza cartas de controle de processo. As cartas de controle permitem o monitoramento de variáveis (características de qualidade expressa em valores contínuos) ou atributos (características de qualidade expressas como presença ou ausência do atributo) que determinam o desempenho do

processo. O objetivo das cartas de controle é possibilitar uma avaliação da estabilidade do processo e identificação de causas especiais de variação; em outras palavras, o CEP provê subsídios à tomada de decisões gerenciais relacionadas à eliminação de causas especiais. Além disso, a utilização de cartas de controle de processo apresenta vantagens como (i) prevenir a incidência de defeitos, (ii) evitar ajustes desnecessários no processo, (iii) proporcionar aumentos de produtividade e (iv) fornecer um diagnóstico da situação atual dos processos.

Cartas de controle utilizam como dados de entrada medições realizadas de uma característica de qualidade ou parâmetro de processo que influencie na qualidade dos produtos manufaturados. As medições são realizadas em pontos espaçados de tempo e registradas graficamente nas cartas, sendo então comparadas contra limites de controle. Através das cartas de controle, o CEP auxilia na identificação de causas especiais e comuns de variação.

Causas especiais de variação, são aquelas que não fazem parte do processo ou sistema; exemplos incluem desregulagem de uma máquina ou irregularidades em uma matéria-prima. Causas especiais são anômalas ao processo, podendo ser prejudiciais à qualidade do produto manufaturado. O monitoramento e ação corretiva sobre as causas especiais é de responsabilidade da área operacional da empresa. Uma vez identificadas as causas especiais, pode-se atuar sobre elas, buscando a estabilização do processo.

As causas comuns atuam continuamente sobre o processo, sendo de natureza essencialmente aleatória e de difícil controle. Atuar sobre causas comuns normalmente requer investimentos na melhoria de equipamentos, troca de matérias-primas ou treinamento de operadores. Uma vez mantidas em níveis razoáveis, as causas comuns não afetam de maneira nociva a qualidade dos itens manufaturados (Grant & Leavenworth, 1996).

O sucesso na implantação do CEP depende do grau de entendimento e compreensão da empresa acerca das cartas de controle por ela utilizadas (Hradesky, 1988). Essas cartas de controle fornecem informações que podem ser utilizadas para reduzir defeitos em curto período de tempo, auxiliando na identificação de ações a serem tomadas nos processos sendo monitorados.

A Figura 1 permite identificar as etapas envolvidas na operacionalização do controle estatístico de processos. A utilização de informações oriundas das cartas de controle na tomada de decisão sobre ações de melhoria é evidenciada na figura.

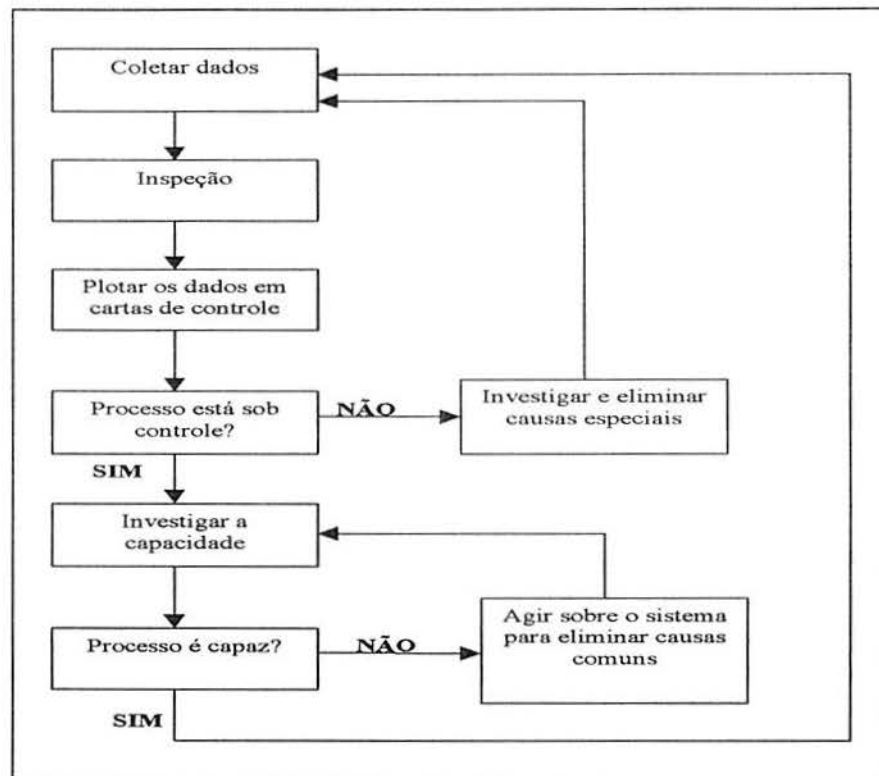


Figura 1. Estratégia para melhorias no controle estatístico de processos [Fonte: Ribeiro & Caten, 1998].

2.1.1 Carta de controle para variáveis

As variáveis são avaliadas de um sistema de medição, podendo assumir quaisquer valores no domínio dos números reais. Características de qualidade expressas através de valores contínuos são denominadas *variáveis*. O controle do comportamento temporal deste tipo de característica é realizado através das cartas de controle para variáveis. As cartas de controle mais utilizadas no monitoramento de variáveis são as cartas \bar{x} e R , respectivamente, para média e amplitude; as cartas para valores individuais e as cartas para médias móveis. Os dois primeiros tipos de cartas são detalhados na seqüência.

Observações coletadas de variáveis de processo podem seguir diferentes distribuições de probabilidade. A determinação dos limites de controle utilizados nas

cartas demanda o cálculo de probabilidades. Esse cálculo torna-se complexo a medida em que as variáveis de interesse assumem distribuições de probabilidade assimétricas (por exemplo, distribuições de Weibull ou Exponencial), ou com alguns momentos indefinidos (por exemplo, distribuição de Cauchy), conforme Ross (1994). Na maioria dos casos, todavia, a distribuição pressuposta para as variáveis monitoradas através das cartas de controle é a distribuição Normal. Tal suposição nem sempre é verdadeira. No entanto trabalhando-se com médias ao invés de observações individuais da variável de interesse, o Teorema do Limite Central garante a Normalidade da distribuição da média das médias. A popularidade das cartas de controle para variáveis pode ser justificada, em grande parte, por essa propriedade.

O teorema do limite central estabelece que a soma (e por conseguinte a média) de um grande número (n) de variáveis aleatórias independentes apresenta uma distribuição aproximadamente Normal, independentemente da distribuição de probabilidade dos valores individuais (Mood *et al.*, 1974). O teorema do limite Central apresenta dois condicionantes: (a) todas as variáveis aleatórias consideradas devem seguir uma mesma distribuição (qualquer) de probabilidade; e (b) a medida em que a distribuição das variáveis aleatórias consideradas torna-se mais assimétrica, o valor de n aumenta. Em aplicações práticas das cartas de controle, tais suposições são, em regra, satisfeitas.

A distribuição Normal é descrita por dois parâmetros: um parâmetro μ que corresponde à média ou centro da distribuição, e um parâmetro σ , que corresponde à dispersão ou desvio-padrão da distribuição. Os parâmetros da Normal podem ser estimados a partir de amostragem aleatória da variável de interesse. Ao trabalhar-se com k amostras de tamanho n , como normalmente é o caso em aplicações das cartas de controle para variáveis, os parâmetros da normal podem ser estimados através das equações:

$$\text{eq. 1 Média: } \bar{x} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k}{k}$$

$$\text{eq. 2 Desvio-padrão: } \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

onde \bar{x}_k denota a média aritmética da $k^{\text{ésima}}$ amostra. Na equação 2 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 .

Conforme apresentado na Figura 2, a média das médias amostrais, $\bar{\bar{x}}$, corresponde à média dos valores individuais. Por outro lado, o desvio-padrão das médias, $\sigma_{\bar{x}}$, é menor do que o desvio-padrão dos valores individuais, σ_x , na razão $1/\sqrt{n}$. Os limites da distribuição dos valores individuais são chamados de limites naturais (este ponto será esclarecido no item 2.1.5) e os limites da distribuição das médias amostrais são chamados de limites de controle.

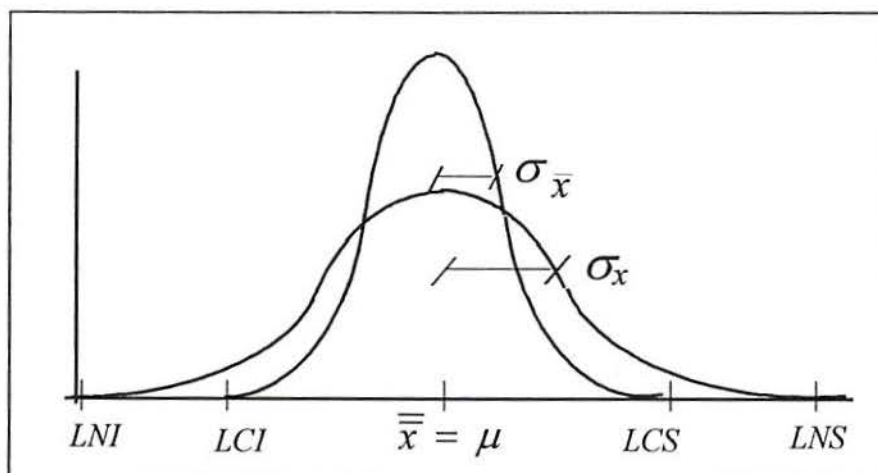


Figura 2. Distribuição dos valores individuais *versus* distribuição amostral das médias. [Fonte: Ribeiro & Caten, 1998].

2.1.2 Curva Normal de probabilidade

Em processos sob controle estatístico, a característica de qualidade de interesse (variável) apresenta uma distribuição de valores conhecida, considerada como distribuição de referência para aquela variável. A distribuição de referência é representada por uma curva, com um valor central de média e uma dispersão natural que corresponde ao desvio-padrão da variável de interesse.

Existem vários tipos de distribuição de probabilidade, com diferentes parâmetros e características. A distribuição mais freqüentemente encontrada em

aplicações do CEP é a distribuição Normal. Observações de uma característica de qualidade podem seguir uma distribuição Normal de pelo menos duas maneiras: (a) os valores individuais se ajustam à distribuição, ou (b) médias obtidas agrupando os valores individuais seguem a distribuição Normal (por força do teorema do limite central, apresentado anteriormente), segundo Kume (1993). A distribuição Normal é a base teórica do desenvolvimento das cartas de controle, podendo ser considerada a principal ferramenta do CEP (Pitt, 1994).

A curva Normal apresenta três características: (i) simetria em relação à média; (ii) curvatura em forma de sino e (iii) suavização dos pontos que a compõem (Montgomery, 1996). Estas características permitem verificar se observações de uma característica de qualidade, obtidas de um processo, seguem uma distribuição Normal. Para tanto, observações plotadas em um histograma de frequência devem exibir simetria, formato e suavidade similares à curva Normal. Histogramas ou papéis de probabilidade são as ferramentas mais utilizadas para verificar a distribuição de probabilidade apresentada por uma variável aleatória (Freund & Simon, 1997).

A área total sob a curva Normal acumula 100% da probabilidade associada à característica de qualidade de interesse. Como a curva é simétrica em relação à média, a probabilidade de observar-se um valor inferior ou superior à média é de 50%. Se uma variável segue uma distribuição Normal, cerca de (i) 68,26% de seus valores encontram-se no intervalo $[\mu+1\sigma; \mu-1\sigma]$; (ii) 95,44% no intervalo $[\mu+2\sigma; \mu-2\sigma]$ e (iii) 99,73% no intervalo $[\mu+3\sigma; \mu-3\sigma]$. Esta situação está representada na Figura 3.

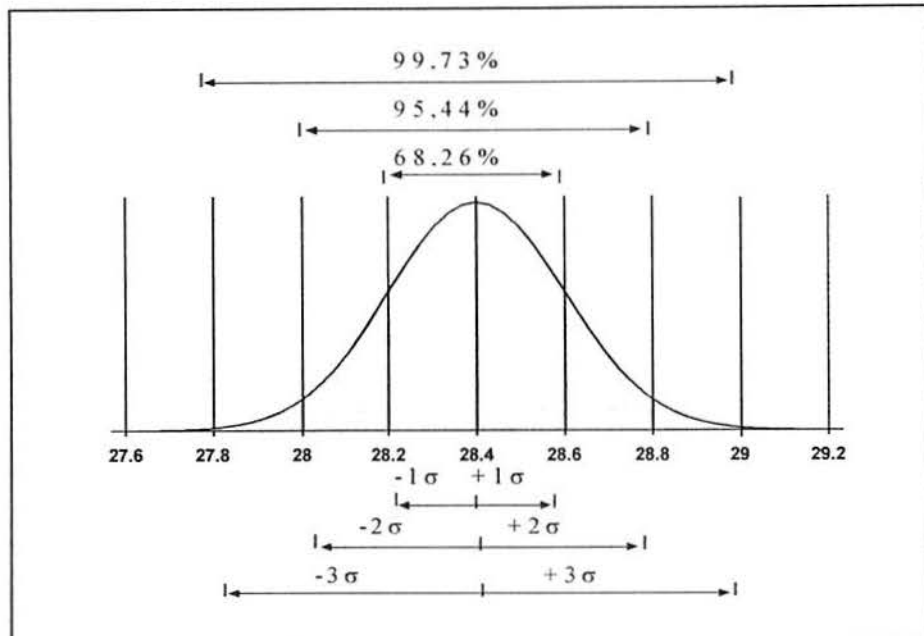


Figura 3. Percentuais associados a faixa de $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$ da média de uma distribuição normal com média 28,4 e $\sigma = 0,20$ [Fonte: Pitt, 1994].

2.1.3 Cálculo dos limites de controle

Os limites superior e inferior de controle refletem a variabilidade inerente do processo, resultante da incidência de causas comuns de variação. 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 inferior a 1%. Conseqüentemente, pontos fora dos limites de controle representam um forte indício da presença de causas especiais.

O cálculo dos limites de controle de uma carta de controle para variáveis pode ser feito após coleta de 20 a 30 amostras (subgrupos), sem que o processo gerador das amostras apresente indícios de uma situação anormal ou fora de controle. Assim, coletam-se os dados, calculam-se os limites de controle para a média e amplitude, e comparam-se essas mesmas amostras com os limites de controle calculados. Caso existam pontos fora dos limites de controle, deve-se retirar as amostras correspondentes e recalculam-se os limites de controle; tais pontos são desconsiderados somente para fins de cálculo dos limites, permanecendo no gráfico de controle para registro histórico.

O cálculo dos limites de controle para as médias baseia-se na média e na dispersão de amostras das características de qualidade de interesse coletadas do processo; uma vez calculados, os limites são plotados nas cartas de controle para seu monitoramento futuro. As equações abaixo apresentam o cálculo dos limites de controle para a carta de médias. Inicialmente, calcula-se a amplitude e a média para cada amostra. A seguir, calculam-se a média das médias das amostras ($\bar{\bar{x}}$) e a média das amplitudes (\bar{R}), conforme apresentado nas equações 3 e 4, onde \bar{x}_i e R_i representam a média e amplitude da $i^{\text{ésima}}$ amostra, e k o número total de amostras:

$$\text{eq. 3} \quad \bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k}$$

$$\text{eq. 4} \quad \bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k}{k}$$

Uma vez determinados $\bar{\bar{x}}$ e \bar{R} , calculam-se os limites de controle para as médias (equação 5). Os limites correspondem a seis desvios-padrão, medidos a partir de $\bar{\bar{x}}$; mediante suposição de médias normalmente distribuídas, os limites de controle compreendem 99,73% dos valores de médias amostrais.

$$\text{eq. 5} \quad LC = \bar{\bar{x}} \pm 3\sigma_{\bar{x}}$$

onde $\sigma_{\bar{x}}$ representa a variabilidade das médias amostrais, dada na equação 2. A variabilidade dos valores individuais é estimada a partir das amplitudes dos subgrupos, através da equação 6, onde d_2 é uma constante tabelada que depende do tamanho da amostra (ver Tabela 1). Substituindo as equações 2 e 6 na equação 5, obtém-se a equação 7, a seguir.

$$\text{eq. 6} \quad \sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\text{eq. 7} \quad LC = \bar{\bar{x}} \pm \frac{3\bar{R}}{\sqrt{nd_2}}$$

Tabela 1. Valores de d_2 e A_2 , utilizados no cálculo dos limites de controle da carta \bar{X} [Fonte: Ribeiro & Caten, 1998].

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

A equação 7 pode ser simplificada pela substituição $A_2 = \frac{3}{\sqrt{n} d_2}$, com

valores de A_2 apresentados na Tabela 1 para diferentes tamanhos de amostra. As equações utilizadas no cálculo dos limites de controle em cartas para médias vêm dadas abaixo.

$$\text{eq. 8 } LCS = \bar{x} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{eq. 9 } LCI = \bar{x} - A_2 \bar{R}$$

Os limites de controle para as amplitudes são calculados como segue:

$$\text{eq. 10 } LCS = D_4 \bar{R}$$

$$\text{eq. 11 } LCI = D_3 \bar{R}$$

onde \bar{R} é a média das amplitudes e D_4 e D_3 são constantes que dependem do tamanho da amostra, cujos valores são representados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores das constantes D_4 e D_3 [Fonte: Ribeiro & Caten, 1998].

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_4	3,27	2,57	2,28	2,11	2,00	1,92	1,86	1,82	1,78
D_3	0	0	0	0	0	0,08	0,14	0,18	0,22

Um segundo tipo de carta de controle para variáveis de interesse neste trabalho são as cartas para valores individuais. Essas cartas são bastante utilizadas, por exemplo, em (i) processos onde a coleta e análise de dados é automatizada e todas as unidades coletadas são analisadas, (ii) processos onde a taxa de produção é muito baixa, não possibilitando a formação de grupos num espaço razoável de tempo e (iii) processos químicos, onde medições de uma mesma característica de qualidade utilizando amostras

distintas resultam diferentes, essencialmente por erros nos procedimentos de análise laboratorial (Montgomery, 1996).

Por pressuporem amostras individuais e não grupos, a utilização das cartas individuais depende do ajuste dos dados obtidos da característica de qualidade de interesse à uma distribuição Normal.

Os limites de controle para a carta de amplitude são calculados conforme equações 10 e 11, onde \bar{R} é a média das amplitudes móveis. O formulário para o cálculo dos limites de controle para valores individuais normalmente distribuídos é apresentado a seguir:

$$\text{eq. 12 } LCS = \bar{X} + E_2 \bar{R}$$

$$\text{eq. 13 } LCI = \bar{X} - E_2 \bar{R}$$

onde \bar{X}, \bar{R} correspondem a média e média das amplitude móveis dos valores individuais, respectivamente, e E_2 é uma constante, apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Valores da constante E_2 [Fonte: Ribeiro & Caten, 1998].

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

2.1.4 Interpretação da estabilidade do processo

Todo processo apresenta variabilidade, parte dela sendo originada por elementos vitais ao processo, como matérias-primas, máquinas, métodos, gerenciamento e mão-de-obra (Pitt, 1994). Esta variabilidade pode ser constatada através da análise das cartas de controle obtidas para as características de qualidade. As cartas auxiliam na verificação da estabilidade do processo gerador dos dados.

A presença de causas especiais em processos resulta em instabilidade operacional. Nessas condições, são esperados pontos fora dos limites de controle ou padrões não aleatórios na seqüência de pontos na carta; ambos os casos apontam para uma provável presença de causas especiais. Assim, causas especiais devem ser identificadas e removidas para redução na variabilidade dos processos.

A eliminação de causas comuns de variabilidade em processos gera mudanças no sistema gerencial como um todo, tais como: (a) verificação no projeto do produto e equipamentos, (b) análise das matérias-primas utilizadas, (c) revisão das metodologias, política gerencial e ambiente de trabalho. Se apenas causas comuns estiverem presentes, o processo é considerado estável, sendo que a quase totalidade dos pontos plotados na carta devem localizar-se dentro dos limites de controle.

Através da interpretação das cartas de controle e cálculo dos limites de controle, calculados para testar a hipótese de estabilidade dos processos, pode-se identificar problemas associados a causas comuns ou especiais, dirigindo a tomada de decisões. Um processo em controle estatístico apresenta comportamento estável e pequena variabilidade.

Suponha um processo com presença de causas especiais. Nestas circunstâncias, é de responsabilidade do operador tomar uma ação corretiva sobre a causa localizada que está fazendo com que o processo saia fora do seu padrão natural de operação. Geralmente, causas especiais são de fácil identificação (por serem localizadas), tendo grande efeito sobre o processo. Assim, a atuação sobre o processo com vistas a eliminar causas especiais justifica-se economicamente, devendo ser considerada tarefa rotineira do operador do processo.

Caso um processo apresente variabilidade excessiva associada

exclusivamente a causas comuns, é de responsabilidade da gerência atuar sobre o sistema para reduzi-la. A variabilidade devido a causas comuns é inerente ao processo, exigindo atuação sobre o sistema como um todo, o que nem sempre se justifica economicamente. Neste contexto, tomadas de decisão por parte da gerência podem ser necessárias.

Atuar sobre causas comuns como se fossem causas especiais pode levar a um aumento indesejado da variabilidade do processo, além de representar um custo desnecessário para a empresa. Por outro lado, se causas especiais passarem despercebidas, estas podem ser incorporadas ao resultado do processo, tornando aceitável um produto que deveria ser rejeitado. Além disso, ignorando-se causas especiais, perdem-se oportunidades de melhoria no produto ou processo. Na Tabela 4 pode ser visto um resumo das causas comuns e especiais de variação.

Tabela 4. Resumo das causas comuns e especiais de variação
[Fonte: Ribeiro & Caten, 1998].

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

A atividade de eliminar causas especiais traz como consequência a redução da variabilidade do processo (Pitt, 1994). Após atuar sobre causas especiais, causas comuns de variação devem ser investigadas e modificadas para reduzir ainda mais a variabilidade do processo. Em geral, no início do monitoramento, os processos apresentam várias causas especiais. Uma vez tomadas ações corretivas através das cartas de controle, causas especiais vão sendo gradativamente identificadas e eliminadas.

Além de verificar os pontos fora dos limites de controle (causas especiais), também é importante investigar no processo eventuais padrões na seqüência de pontos. Eventos como sete pontos em seqüência acima ou abaixo da linha central ou sete pontos em seqüência ascendente ou descendente, podem indicar a presença de causas especiais. É importante investigar eventuais padrões como (i) padrões cíclicos, (ii) mudança na média e (iii) tendência linear na distribuição dos pontos na carta. Tais

padrões são indícios de causas especiais e podem apontar para ações que favoreçam melhorias permanentes no processo.

A Figura 4 apresenta um exemplo de padrão cíclico nos pontos de uma carta de controle. Esse tipo de padrão pode ser causado por mudanças na manufatura, tais como temperatura, pressão, rotatividade de operadores por máquina, variação na produtividade dos equipamentos, entre outros.

A Figura 5 apresenta um exemplo de mudança na média de um processo. Esse padrão de distribuição dos pontos em uma carta de controle pode ser resultado, por exemplo, da introdução de novos operadores, métodos, máquinas e matéria-prima, troca de método de inspeção e padrões, ou mesmo de fatores motivacionais atuantes sobre os indivíduos que fazem parte do sistema (operadores).

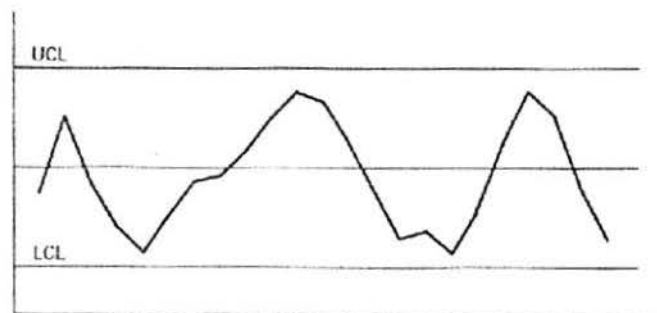


Figura 4. Exemplo de carta de controle com de padrão cíclico nos dados [Fonte: Montgomery, 1996].

A Figura 6 apresenta um exemplo de tendência linear ou movimento contínuo dos pontos da carta de controle em uma única direção. A tendência linear pode ser causada pelo deterioramento de uma ferramenta ou componente crítico do processo, mas também pode ser devido a causas humanas, como fadiga dos operadores, falta de supervisão e monitoramento.

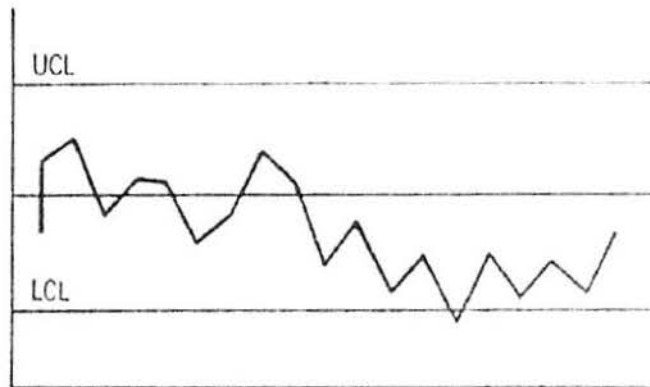


Figura 5. Exemplo de carta de controle com mudança da média de um processo [Fonte: Montgomery, 1996].

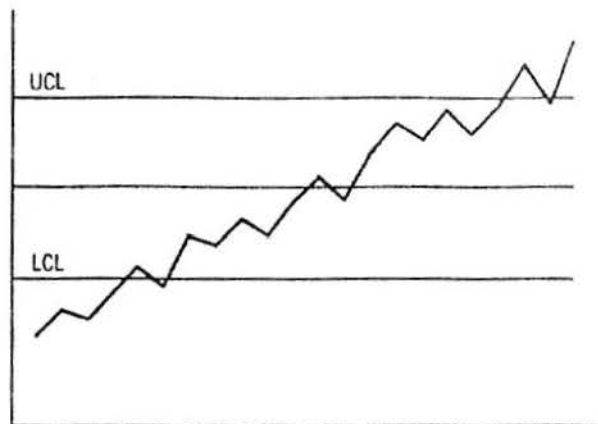


Figura 6. Exemplo de carta de controle obtida de um processo com tendência [Fonte: Montgomery, 1996].

Os limites de controle são calculados de tal forma que, na ausência de causas especiais incidindo sobre o processo, a probabilidade de uma amostra cair fora dos limites seja muito pequena (0,27%). Logo, caso os pontos estejam dentro dos limites de controle, a hipótese de que os parâmetros do processo (média e amplitude) permanecem os mesmos, é aceita. Caso apareçam amostras fora dos limites de controle, há um forte indício de mudança no processo, devido a presença de causas especiais. Se ações de melhorias estão sendo tomadas, o processo deve apresentar um desempenho mais consistente, com redução da variabilidade. Nestas circunstâncias, os limites de controle devem ser recalculados para que seja possível analisar a estabilidade do processo no futuro.

2.1.5 Interpretação da capacidade do processo

O estudo da capacidade dos processos é um procedimento que evolui a partir do estudo das cartas de controle. Somente após a eliminação das causas especiais, avalia-se se o processo é capaz de atender às especificações de uma determinada característica de qualidade.

A avaliação da capacidade também permite identificar o comportamento do processo e focalizar ações necessárias para eliminar possíveis variações. O estudo da capacidade do processo permite (i) otimizar a produtividade e qualidade, (ii) determinar os novos padrões de tolerância, (iii) determinar se um novo equipamento é capaz de atender às especificações dos clientes, e (iv) comparar o desempenho de diferentes equipamentos.

A capacidade dos processos provém da 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 7. 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.

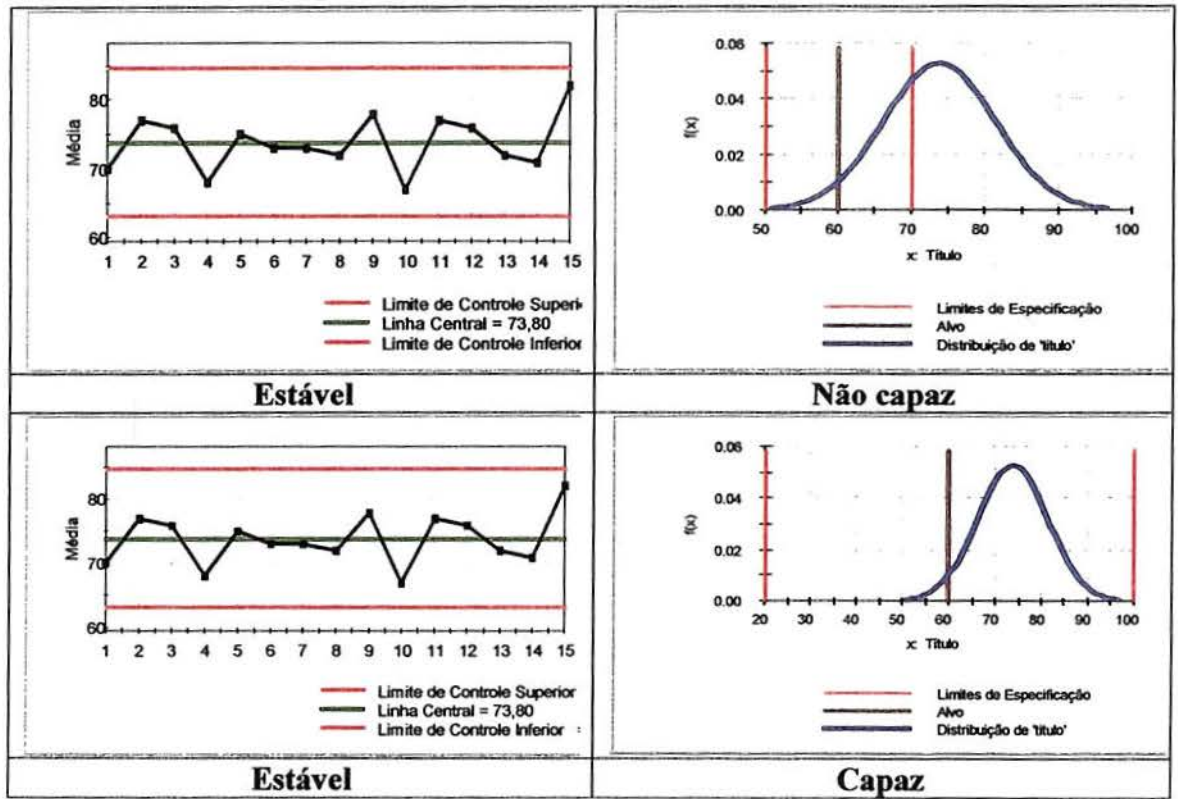


Figura 7. Processo Estável *versus* Processo Capaz [Fonte: Ribeiro & Caten, 1998].

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. Se a variável de interesse seguir uma distribuição Normal, seus limites naturais são calculados como seis vezes o valor do desvio padrão (6σ). Em termos probabilísticos, estes limites representariam uma situação em que 99,73% das observações do processo estão dentro dos limites (equações 14 e 15) e 0,27% estão fora dos limites naturais do processo.

$$\text{eq. 14 } LNI = \mu - 3\sigma$$

$$\text{eq. 15 } LNS = \mu + 3\sigma$$

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

Seja LES o limite superior de especificação e LEI o limite inferior de especificação de uma dada característica de qualidade. Se a variabilidade natural (6σ) é

menor do que a amplitude das especificações ($LES - LEI$), então o processo é potencialmente capaz de atender às especificações do cliente. A situação oposta, $6\sigma > (LES - LEI)$, caracteriza um processo não-capaz de atender às especificações do cliente.

Atualmente, muitos são os estudos para o desenvolvimento de índices que caracterizam o desempenho do processo (índices para medição de capacidade são apresentados em Chan *et al.*, 1988 e Johnson, 1992, entre outros; uma revisão comparativa sobre índices de capacidade é apresentada em Kane, 1986). A contínua análise estatística, realizada com a investigação destes índices, com o conhecimento das especificações e centrada na busca dos objetivos estabelecidos para o processo, envolve técnicos, estatísticos e engenheiros de processo na busca de números que retratem fielmente sua natureza.

Os índices freqüentemente utilizados na mensuração da capacidade de processos são: (i) C_p (equação 16), dado pela razão entre a amplitude das especificações e a dispersão ou variabilidade natural do processo (6σ), e (ii) C_{pk} (equação 17), definido como o mínimo entre o limite de especificação inferior e o superior e a média da característica de qualidade do processo em análise, dividida pela semi-amplitude da característica. Estes índices são calculados supondo variáveis normalmente distribuídas.

$$\text{eq. 16 } C_p = \frac{LES - LEI}{6\hat{\sigma}} = \frac{\text{Especificações}}{\text{dispersão}}$$

$$\text{eq. 17 } C_{pk} = \min \left\{ \frac{LES - \bar{X}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\bar{X} - LEI}{3\hat{\sigma}} \right\}$$

O índice C_{pk} 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.

O índice C_p , que avalia a capacidade potencial do processo, pode ser interpretado em termos de proporção ou percentual de produtos não-conformes que não atendem às especificações. Por exemplo, $C_p = 1,0$ corresponde a uma proporção 0,0027

ou 0,27%, indicando o quanto do que é produzido pelo processo emerge fora das especificações estabelecidas.

Algumas indústrias utilizam como parâmetro desejado de qualidade um $C_{pk} > 1,33$, correspondente a uma proporção de defeituosos de 0,00633%. No geral, o índice $C_{pk} > 1,0$ é condição necessária para que a fração de defeituosos seja pequena (ou seja, menor que 0,27%). Com $C_{pk} > 1,0$, se os processos em estudos apresentarem características de qualidade normalmente distribuídas, estas estarão centradas em seus valores de média, com desvio-padrão conhecido e o processo será considerado capaz. Como os limites de especificação e os limites de variabilidade natural do processo coincidem, o monitoramento do processo através de cartas de controle é fundamental para que seja mantido o bom desempenho e para que se obtenha continuidade nas melhorias.

2.2 Etapas da implantação do controle estatístico de processos

O sucesso da implantação de programas de controle estatístico depende, além da cultura estatística da organização para aprender a executar processos e resolver problemas, da abordagem sistemática da equipe e da postura dos facilitadores para a sua implantação. O sucesso da implantação do controle estatístico de processos depende 10% do conhecimento estatístico e 90% de ações gerenciais (Hradesky, 1998).

Nesta seção, sugere-se uma abordagem sistemática, baseada em uma série de etapas, para a implantação do controle estatístico de processos. As etapas apresentadas são as seguintes:

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

As etapas acima foram adaptadas de Caten *et al.* (1999), Hradesky (1988) e Montgomery (1996).

2.2.1 Definição do projeto

A. *Definição do escopo*

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

B. *Definição da equipe de trabalho*

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

C. *Palestra de lançamento do projeto*

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

Recomenda-se uma palestra de apresentação do projeto para todos os funcionários da empresa, para apresentar uma visão geral sobre o sistema, seus objetivos e cronograma de implantação.

2.2.2 Planejamento da implantação

A coleta de dados para o preenchimento das cartas de controle exige investimentos em tempo, recursos e mudança na filosofia da empresa. Assim, a implantação do controle estatístico de processo somente pode ser justificada quando os seguintes aspectos são observados:

- a) não utilizar um número excessivo de cartas de controle, sob risco do CEP transformar-se em atividade-gargalo na produção;
- b) aplicar o CEP em etapas prioritárias do processo, determinadas sob o ponto de vista da demanda de qualidade dos clientes;
- c) associar o CEP à uma estratégia de ação; coletar dados e não agir implica em desperdício de tempo e recursos.

Na fase de planejamento, é importante a participação das pessoas envolvidas com a linha de produção: elas devem sentir-se co-responsáveis e comprometidas com a implantação do sistema. Deve-se, assim, investir um maior tempo na fase de planejamento, para minimizar a necessidade de alterações posteriores à implantação.

Inicialmente, é necessária a identificação dos processos críticos para a qualidade e produtividade da empresa: estes serão os processos nos quais será aplicado o CEP. Deve-se utilizar um método consistente para determinação dos processos críticos sob o ponto de vista do cliente. Nesta etapa, também é necessário definir:

- (i) Características de qualidade importantes para o cliente;
- (ii) Processos nos quais as características determinadas em (i) são construídas;
- (iii) Variáveis a serem controladas em cada processo;

- (iv) Capacidade do sistema de medição;
- (v) Indivíduos responsáveis pela ação sobre o sistema quando este sinalizar um estado de descontrole estatístico;
- (vi) Ações a serem tomadas quando o sistema estiver fora de controle.

Para auxiliar na definição dos itens acima, uma seqüência de etapas é recomendada; tais etapas vêm apresentadas nas seções que se seguem.

A. Desdobramento da qualidade

Na etapa do desdobramento da qualidade e na etapa posterior de desdobramento do processo recomenda-se a utilização da metodologia do QFD – *Quality Function Deployment*, ou Desdobramento da Função Qualidade em Akao (1990) e Cohen (1995). O QFD permite estabelecer relações entre a qualidade demandada pelo cliente e os processos responsáveis pelo atendimento desta demanda.

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

A primeira fase de um estudo de QFD consiste em entender o mercado, através de pesquisas e, assim, compreender as necessidades dos clientes (Akao, 1990). Através de uma pesquisa de mercado, tem-se um conhecimento sobre o que é importante para o consumidor e tem-se uma idéia geral do que o usuário final necessita e deseja encontrar em um determinado produto ou serviço. Tal conhecimento facilita a definição do produto ou serviço desejado, criando-se posteriormente especificações que vão ao encontro a essas demandas.

O estudo do Desdobramento da Função Qualidade permite priorizar resultados desejados e planejar ações. O QFD é implementado 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. Essas relações permitem determinar os elementos do produto e de seu processo de manufatura responsáveis pela construção da qualidade

demandada pelo usuário. 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.

Conforme mencionado anteriormente, o QFD tem início com o levantamento da demanda de qualidade do usuário (voz do cliente) através de pesquisa de mercado. Os resultados da pesquisa devem permitir uma priorização dos itens da demanda da qualidade através do estabelecimento de um peso de importância para cada item; o peso de importância do $j^{\text{ésimo}}$ item de demanda é designado por ID_j . Na seqüência, listam-se as características de qualidade potencialmente relacionadas com os itens de demanda identificados pelos usuários; no contexto do QFD, assim como no do CEP, características de qualidade são aspectos mensuráveis da demanda da qualidade.

Na matriz da qualidade na Figura 8, seguindo o esquema proposto por Ribeiro e Echeveste (1996), os itens da qualidade demandada são cruzados com as características de qualidade. Os elementos principais da matriz da qualidade estão apresentados no cabeçalho das linhas (itens de qualidade demandada) e no cabeçalho das colunas (características de qualidade).

O preenchimento da matriz da qualidade é realizado com a opinião da equipe técnica. São estabelecidos relacionamentos entre a qualidade demandada pelos clientes e as características de qualidade, originando o índice de intensidade dos relacionamentos (DQ_{ij}), onde i denota a característica de qualidade e j denota o item de qualidade demandada. A escala utilizada na medição do índice de intensidade tem valores apresentados na Tabela 5. A matriz da qualidade vem exemplificada na Figura 9. O uso da matriz da qualidade permite identificar características de qualidade que contribuem para o atendimento dos itens de qualidade demandada.

Tabela 5. Escala da intensidade das relações
[Fonte: Ribeiro, 1998]

Peso	Relação
9	Muito importante
3	Moderada
1	Pouco importante

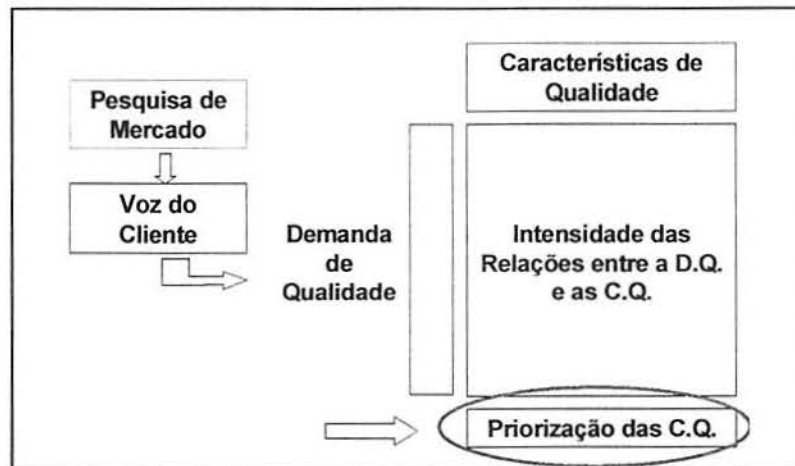


Figura 8. Desdobramento da Qualidade [Fonte: Ribeiro & Caten,1998].

		Características de Qualidade				
		Impureza	R. Gordura	Umidade	Acidez	Peróxido
Qualidade Demandada	Pesos					
	Umidade	18		9		
	Coloração	11	3	9		
	Acidez	12		3	1	9
	Taxa de finos	14	9	9		3
	Imp Rei	159	36	399	108	36

Figura 9. Exemplo de matriz da qualidade [Fonte: Ribeiro & Caten,1998].

A priorização das características de qualidade é apresentada na última linha da matriz da qualidade. Uma característica de qualidade é considerada prioritária se (i) atende a vários itens de qualidade demandada, (ii) atende a itens de qualidade demandada com pesos ID_j (importância da qualidade demandada) altos, e/ou (iii) mantém relações fortes com os itens de qualidade demandada.

Para o cálculo da priorização das características de qualidade, sugere-se um índice de importância (ICQ_i) dado pelo somatório dos índices de importância

corrigidos dos itens da qualidade demandada (ID_j^*) pela intensidade das relações atribuídas no interior da matriz (DQ_{ij}), onde:

$$eq. 18 \quad ICQ_i = \sum_{j=1}^n ID_j^* \times DQ_{ij}$$

onde:

ICQ_i : índice da $i^{ésima}$ característica de qualidade do produto, $i = 1, \dots, n$.

ID_j^* : índice de importância corrigido do $j^{ésimo}$ item de qualidade demandada.

DQ_{ij} : intensidade do relacionamento entre o $j^{ésimo}$ item de qualidade demandada e a $i^{ésima}$ característica de qualidade do produto.

O índice de importância corrigido ID_j^* é calculado levando em consideração a importância de cada item da qualidade demandada (ID_j), a avaliação estratégica (E_j) do item, bem como a sua avaliação competitiva (M_j), utilizando a seguinte equação:

$$eq. 19 \quad ID_j^* = ID_j * \sqrt{E_j} * \sqrt{M_j}$$

onde:

E_j : avaliação estratégica do $j^{ésimo}$ item de qualidade demandada.

M_j : avaliação competitiva $j^{ésimo}$ item de qualidade demandada.

A avaliação estratégica E_j dos itens da qualidade demandada segue a escala proposta na Tabela 6. Nesta avaliação, cada item é analisado em relação a sua relevância para os negócios da empresa, tendo em vista as metas gerenciais estabelecidas para o futuro.

Tabela 6. Índice para avaliação estratégica dos itens da qualidade demandada [Fonte: Ribeiro, 1998].

Peso	Relação
0,5	Importância pequena
1,0	Importância média
1,5	Importância grande
2,0	Importância muito grande

A avaliação competitiva dos itens de qualidade demandada M_j consiste em um *benchmark* comercial, ou seja, em um comparativo do desempenho da empresa com a concorrência, utilizando a escala proposta na Tabela 7.

Tabela 7. Índice para avaliação competitiva das características de qualidade [Fonte: Ribeiro, 1998].

Peso	Relação
0,5	Acima da concorrência
1,0	Similar à concorrência
1,5	Abaixo da concorrência
2,0	Muito abaixo da concorrência

A priorização das características de qualidade é feita através do Índice de Importância Corrigido, ICQ_i^* , apresentado na equação 18, a seguir:

$$eq. 20 \quad ICQ_i^* = ICQ_i \times \sqrt{D_i} \times \sqrt{B_i}$$

onde:

ICQ_i^* : índice corrigido da $i^{ésima}$ característica de qualidade.

D_i : avaliação da dificuldade de atuação sobre a $i^{ésima}$ característica de qualidade.

B_i : avaliação da competitividade (*benchmark* técnico) associado à $i^{ésima}$ característica de qualidade.

A medida de dificuldade de atuação sobre a $i^{ésima}$ característica de qualidade (D_i) consiste em uma avaliação da dificuldade associada à modificação de suas especificações. Essa avaliação é subjetiva, baseada na opinião da equipe de projeto, e utiliza a escala proposta na Tabela 8.

Tabela 8. Índice para avaliação da dificuldade de atuação [Fonte: Ribeiro, 1998].

Peso	Relação
0,5	Muito difícil
1,0	Difícil
1,5	Moderada
2,0	Fácil

A avaliação competitiva B_i associada à $i^{\text{ésima}}$ característica de qualidade consiste em uma avaliação do potencial de melhoria no desempenho da empresa frente a concorrência, resultante da atuação sobre a característica de qualidade em questão. A avaliação competitiva é essencialmente subjetiva, sendo mensurada utilizando a escala na Tabela 9.

Tabela 9. Índice para avaliação competitiva das características de qualidade [Fonte: Ribeiro, 1998].

Peso	Relação
0,5	Acima da concorrência
1,0	Similar à concorrência
1,5	Abaixo da concorrência
2,0	Muito abaixo da concorrência

B. *Desdobramento dos processos*

O desdobramento dos processos permite associar características de qualidade do produto final, priorizadas na matriz da qualidade descrita na seção anterior, a parâmetros do processo ou características avaliadas durante o processo de manufatura. Este desdobramento auxilia na identificação dos parâmetros críticos do processo, sob o ponto de vista da qualidade percebida pelos usuários.

O desdobramento da tecnologia, o qual envolve o desdobramento dos processos, é um procedimento para identificar e remover, de forma organizada, gargalos de engenharia na fase de detalhamento do projeto do produto (Cheng, 1995). Esses gargalos devem ser identificados nas etapas preliminares do projeto, para que suas soluções possam ser planejadas de forma organizada.

Inicialmente, é necessário entender o macro-fluxo dos processos da empresa e listar todos os processos de manufatura na ordem em que aparecem na linha de produção. A seguir, listam-se parâmetros do processo e as características de qualidade avaliadas em cada processo; estes serão cruzados com as características de qualidade do produto final, na matriz dos processos.

A matriz dos processos, exemplificada pelo esquema na Figura 10, é constituída pelos seguintes elementos:

- a) o cabeçalho (topo) da matriz é preenchido com as características de qualidade do produto final.
- b) o cabeçalho das linhas (lado esquerdo da matriz) é preenchido com a lista de todos os parâmetros e características, também chamados de parâmetros do processo, avaliados durante a manufatura.

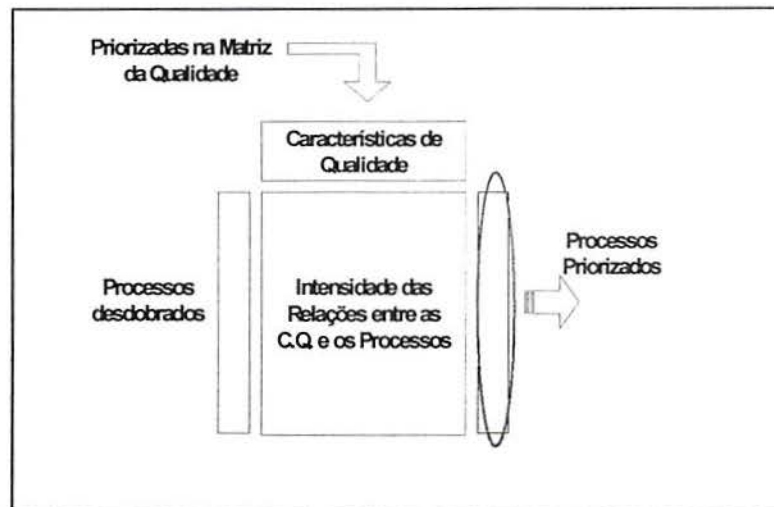


Figura 10. Desdobramento dos processos [Fonte: Caten, 1999].

Para identificar os processos críticos, é necessário quantificar as relações R_{ik} entre as características de qualidade ($i = 1, \dots, n$) dos processos críticos e os parâmetros ($k = 1, \dots, K$) dos processos de manufatura. Para cada característica de qualidade do produto, identifica-se a intensidade de monitoramento de um ou mais parâmetros recomendada para obtenção de medições satisfatórias da característica em questão; isto é feito através da determinação das relações R_{ik} . A intensidade das relações entre os processos e as características de qualidade, mensurada utilizando a escala proposta na Tabela 10, são atribuídas pela equipe técnica e escritas no interior da matriz.

Tabela 10. Intensidade das relações [Fonte: Ribeiro, 1998].

Peso	Relação
9	Muito importante
3	Moderada
1	Pouco importante

A avaliação do impacto (importância) de cada parâmetro e característica de qualidade do processo sobre a qualidade demandada pelo usuário é realizada levando-se em conta as relações estabelecidas no interior da matriz e o Índice de Importância Corrigido (ICQ_i^*) das características de qualidade, determinadas na matriz da qualidade.

Para a definição da importância para a qualidade de cada parâmetro e característica de qualidade do processo, foi estabelecido um índice de qualidade (IQP_k), dado pelo somatório do produto do índice de importância corrigido das características de qualidade do produto, ICQ_i^* , pela intensidade das relações atribuídas no interior da matriz, R_{ik} . Esse índice considera que desvios em um parâmetro do processo compromete uma ou mais características de qualidade do produto final. O formulário correspondente é o seguinte:

$$eq. 21 \quad IQP_k = \sum_{i=1}^n (ICQ_i^* \times R_{ik})$$

Após a identificação dos parâmetros e características de qualidade dos processos críticos, é necessário verificar qual a capacidade destes parâmetros e características (conforme dado pelo índice Cp_k) e o domínio (conhecimento) técnico acerca destes elementos disponível na empresa. O objetivo é priorizar ações de melhoria nos processos e características que sejam importantes para a qualidade, conforme demandada pelo usuário.

Com o auxílio da equipe técnica, questiona-se a capacidade de cada parâmetro e característica do processo, estimada a partir do percentual de observações fora de especificação, conforme Tabela 11. Tal percentual é derivado do índice C_{pk} associado a cada característica. A seguir, questiona-se o conhecimento da equipe técnica a respeito do processo. Deseja-se determinar se a equipe técnica conhece o ajuste ótimo dos parâmetros e características de qualidade do processo e o efeito desses parâmetros sobre diversos aspectos que determinam a qualidade do produto final. Para mensurar o conhecimento técnico, utiliza-se a escala na Tabela 12, onde o grau de conhecimento vem designado pela letra C .

Tabela 11. Escala de capacidade das etapas dos processos produtivos
 [Fonte: Ribeiro, 1998].

Escala do C_{pk}	Capacidade (C_{pk})	Perc. de peças fora de especificação
0,33	Muito pouco capaz	$\cong 32,00 \%$
0,67	Pouco capaz	$\cong 4,4 \%$
1,0	Capaz	$\cong 0,27 \%$
1,33	Muito capaz	$\cong 0,0064 \%$
1,67	Extremamente capaz	$\cong 0,0000 \%$

Tabela 12. Escala de conhecimento das etapas dos processos produtivos
 [Fonte: Ribeiro, 1998].

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

O índice de priorização IPP_k para o $k^{\text{ésimo}}$ parâmetro do processo combina valores de IQP , C_{pk} e C , estabelecendo os parâmetros críticos na composição da qualidade percebida pelos clientes. Serão considerados críticos parâmetros fortemente relacionados às características de qualidade demandadas pelos usuários do produto em estudo, oriundos de processos com baixa capacidade, acerca dos quais detém-se pequeno conhecimento técnico. A medida de criticidade é baseada na eq. 22.

$$eq. 22 \quad IPP_k = \frac{IQP_k}{C_{pk} \times C}$$

onde IPP_k é o índice de priorização, IQP_k é o índice de qualidade, C_{pk} é o valor de capacidade, e C é o valor de conhecimento técnico, todos associados ao $k^{\text{ésimo}}$ parâmetro do processo.

C. *Direcionamento das ações*

Esta é a última etapa que faz uso da estrutura matricial do QFD. Aqui se concretiza o planejamento das melhorias da qualidade que irão reforçar o sistema de qualidade existente. Também nesta etapa, os parâmetros e características de qualidade dos processos críticos para a qualidade são analisados individualmente quanto às possíveis ações de melhoria a serem adotadas. A análise leva em conta a voz do cliente, custo e conhecimento técnico acerca dos parâmetros em estudo.

Questiona-se, junto à equipe técnica, a pertinência de um conjunto de ações de melhoria à situação em estudo; dentre elas, listam-se:

- treinamento;
- controle estatístico de processos (CEP);
- desenvolvimento de fornecedores;
- projeto de experimentos;
- estudos ergonômicos;
- aquisição de equipamentos;
- definição de procedimentos; e
- automatização.

Uma vez listadas as possíveis ações de melhoria, a equipe avalia sua aplicação aos parâmetros do processo priorizados na etapa anterior da metodologia. A pertinência das ações de melhoria a cada parâmetro enfocado deve ser analisada utilizando-se a escala na Tabela 13.

Tabela 13. Escala da intensidade da aplicação das ações corretivas
[Fonte: Ribeiro, 1998].

Escala	Aplicação
1	Fraca
3	Moderada
9	Forte

D. Identificação dos postos de controle e parâmetros e características de qualidade do processo a serem monitorados

Os postos de controle são locais físicos onde são monitoradas as características de qualidade (atributos e variáveis) associadas a etapas críticas do processo. 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 (ver Figura 11), bem como listar parâmetros e características de qualidade do processo a serem monitorados em cada posto.

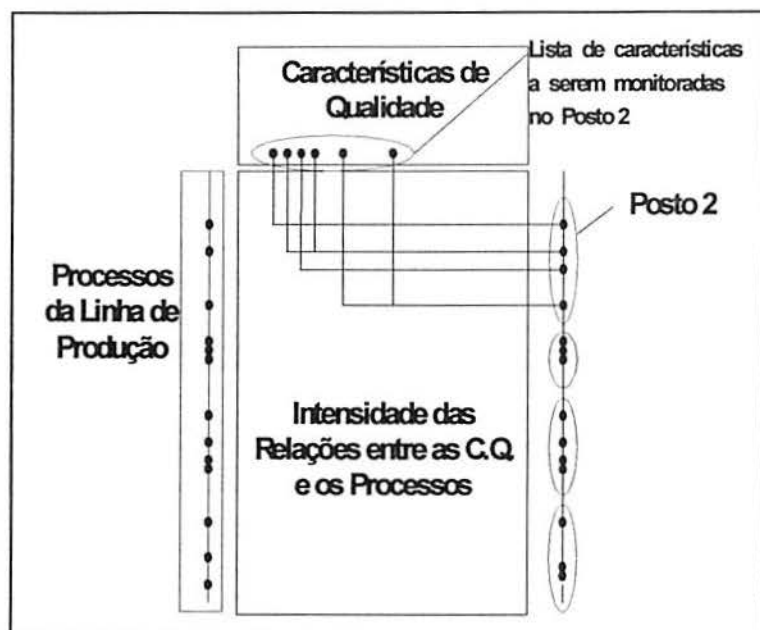


Figura 11. Identificação dos postos de controle e alocação das características de qualidade em cada posto [Fonte: Ribeiro & Caten, 1998].

As etapas da implantação do controle estatístico de processo até agora apresentadas vêm esquematizadas na Figura 12, podendo ser assim resumidas: (i) desdobramento da qualidade, composta pela identificação da qualidade demandada pelo cliente, desdobramento das características de qualidade do produto, construção da matriz da qualidade e priorização das características de qualidade do produto; (ii) desdobramento dos processos, composto pela identificação dos parâmetros e características dos processos, construção da matriz do processo e priorização dos parâmetros e características dos processos críticos para a qualidade; (iii) direcionamento

das possíveis ações de melhoria; e (iv) localização dos postos de controle e alocação dos parâmetros e características do processo em cada posto.

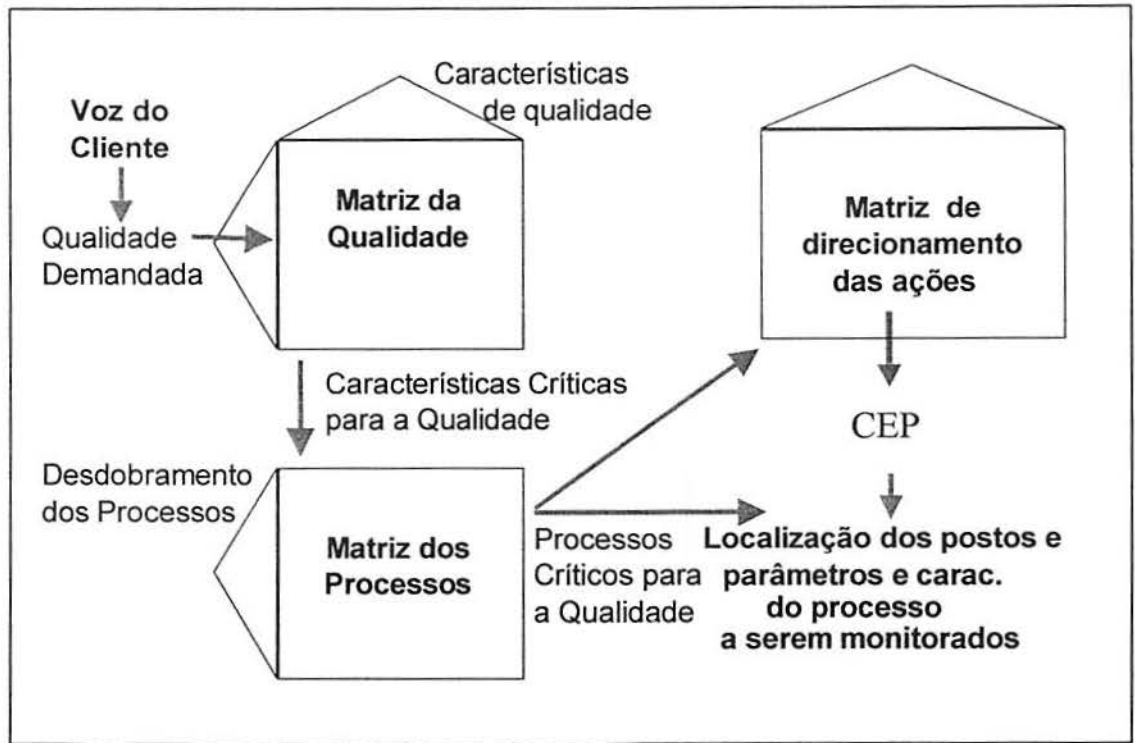


Figura 12. Desenho esquemático das primeiras quatro etapas do planejamento da implantação do controle estatístico de processos [Fonte: Ribeiro & Caten, 1998].

E. *Definição de critérios de classificação dos produtos (filtros)*

Nesta etapa são definidos critérios de classificação (também denominados "filtros") a serem utilizados posteriormente na análise gerencial das cartas de controle do CEP. Os critérios de classificação são informações como, por exemplo, tipo de produto, turno, máquina, operador, encarregado de turno, fornecedor, matérias-primas, etc., a serem registradas conjuntamente com os dados de qualidade. Posteriormente, já que dados de qualidade encontram-se classificados quando de seu armazenamento, informações acerca das características de qualidade podem ser recuperadas conforme critérios de classificação definidos pelo usuário. Por exemplo, podem-se recuperar (e agrupar) todos os dados sobre a característica de qualidade *umidade* coletados no turno da manhã; ou seja, dados da qualidade podem ser "filtrados" relativamente a critérios de classificação.

F. *Definição dos parâmetros e características de qualidade do processo*

Nessa etapa é necessário separar as avaliações referentes a parâmetros de processo (variáveis e atributos que qualificam o processo e não estão diretamente ligadas a qualidade do produto final) e aquelas referentes a características de qualidade (variáveis e atributos que configuram diretamente a qualidade do produto final).

Parâmetros de processo fora de especificação indicam uma maior probabilidade de produção de defeituosos, devendo gerar ações corretivas. Características de qualidade fora da especificação implicam, diretamente, na ocorrência de defeituosos, também devendo gerar ações corretivas.

Para cada variável (ou atributo) a ser monitorada no CEP, é necessário definir: (i) o tipo (nominal, maior ou menor-é-melhor), (ii) unidade de medição, (iii) valor-alvo e especificações (para os estudos de capacidade).

Variáveis do tipo nominal-é-melhor possuem um valor-alvo dado por um número real diferente de zero; desvios do alvo implicam em perda de qualidade. Para seu monitoramento, é necessário definir um limite inferior e superior de especificação. Variáveis com observações além dos limites de controle são consideradas não-conformes.

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

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

G. *Definição do procedimento de coleta de dados*

Nesta etapa, define-se quem irá coletar os dados, com que frequência os dados serão coletados, onde os dados coletados serão armazenados e qual o destino dos

dados após a coleta dos mesmos. Os fatores mais importantes a serem considerados são a atribuição de responsabilidades e exatidão das informações coletadas.

Nessa etapa também é necessário definir: (i) o tipo de carta de controle, (ii) o tamanho da amostra, (iii) a frequência de amostragem, (iv) a forma de registro dos dados (registro eletrônico em computador ou em planilha de papel) e (v) o sistema de medição a ser utilizado.

H. Avaliação do sistema de medição

Após definido o sistema de medição, é necessário avaliar a sua capacidade. Um sistema de medição capaz apresenta uma variância de medição inferior a 20% da amplitude das especificações.

I. Definição das responsabilidades

Nessa etapa, definem-se os responsáveis pela coleta dos dados e registro na planilha, digitação dos dados (no caso de armazenamento digital de dados), monitoramento das cartas de controle, cálculo dos limites de controle e estudos de estabilidade e capacidade.

Também é necessário definir responsáveis pela identificação e execução de ações corretivas, no caso do processo sair fora do controle, e ações preventivas para evitar a reincidência do problema; esses indivíduos são chamados facilitadores do CEP. O facilitador é indispensável ao CEP, já que dá apoio ao líder da equipe na busca dos melhores resultados. O facilitador também deve auxiliar a equipe de projeto no planejamento e organização da implantação. Além dos facilitadores, sugere-se a criação de um grupo de apoio à qualidade (GAQ), a ser chamado quando causas especiais não possam ser corrigidas pelo operador e supervisor.

J. Definição da documentação necessária

Nesta etapa são elaboradas as planilhas de coleta de dados a serem utilizadas em cada posto de controle, bem como as planilhas de registro de ocorrência de causas especiais.

Nesta dissertação, a implantação do CEP é auxiliada pelo programa computacional PROCEP (1999). Além de proporcionar uma rápida obtenção de cartas de controle e estudos de capacidade, bem como organizar dados coletados em um banco de dados, o PROCEP permite ao usuário elaborar um diário de ocorrência de causas especiais. O diário consiste de um caderno de anotações onde todas as ocorrências anormais identificadas no processo são anotadas, estejam elas relacionadas ou não à ocorrência de problemas. Tal diário é bastante útil na análise de problemas, pois permite reduzir o tempo para se localizar causas especiais. No diário, causas especiais são registradas quanto a (i) sua data e hora de ocorrência, (ii) provável origem (matéria-prima, mão-de-obra, máquinas, etc.), (iii) ação tomada para a solução do problema e seu responsável, e (iv) tempo observado de parada na produção.

2.2.3 Treinamento em controle estatístico de processos

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

Funcionários de diferentes níveis hierárquicos na empresa devem receber treinamentos diferenciados. Por exemplo, para gerentes e diretores, é suficiente ministrar os conteúdos referentes à análise dos dados, dando-lhes, assim, subsídios para tomada de decisões baseadas nos dados coletados. Supervisores e engenheiros, por outro lado, devem receber um treinamento integral em CEP, pois a estes profissionais caberá a tarefa de definir tamanhos de amostra, frequência de amostragem, limites de controle, etc. Operadores, por fim, devem ser treinados no preenchimento de planilhas e

na análise das cartas de controle resultantes, com o objetivo de detectar a presença de causas especiais.

Seguindo as grandes linhas propostas acima, o treinamento para gerentes e diretores compreende estudos de estabilidade e capacidade de processo. O treinamento para engenheiros e supervisores compreende uma introdução ao CEP, cartas de controle para variáveis e estudos de estabilidade e capacidade de processo. O treinamento para operadores compreende a digitação de dados coletados do processo e análise das cartas de controle resultantes.

2.2.4 Implantação efetiva

Duas são as etapas da implantação efetiva do CEP: (a) início do monitoramento e (b) cálculo dos limites de controle. Essas etapas vêm descritas a seguir.

Na etapa de início do monitoramento, define-se a data de início da coleta de dados a serem utilizados no CEP, bem como os indivíduos responsáveis pela digitação dos dados de entrada no sistema. Com isso, tem-se o início da utilização prática do CEP (através do pacote computacional de apoio), sendo definidas a frequência de amostragem e entrada dos dados nas planilhas do computador. Nesta etapa, dados são coletados e plotados no gráfico, mas os limites de controle do processo ainda não são conhecidos.

Após a coleta de uma certa quantidade de dados, é possível o cálculo dos limites de controle. O início desta etapa pode levar alguns dias, dependendo da frequência de amostragem adotada para as variáveis monitoradas. Uma vez feito o cálculo dos limites de controle do processo, estes devem ser acrescentados às cartas de controle, permitindo sua utilização plena. No caso de aparecimento de causas especiais, os limites de controle devem ser recalculados, após a identificação e eliminação das causas de anomalia no processo. Limites de controle obtidos a partir de um processo sob controle estatístico, sobre o qual apenas causas comuns de variabilidade incidem, são utilizados no monitoramento futuro dos processos.

2.2.5 Acompanhamento e consolidação

O acompanhamento e consolidação do controle estatístico de processos compreende as seguintes etapas:

- (i) 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 e ação de melhorias. Esta análise deve ser realizada em conjunto com toda a equipe envolvida na implantação do CEP.
- (ii) Análise da estabilidade dos processos – avalia-se a estabilidade dos processos e, se necessário, adotam-se procedimentos de identificação e eliminação de causas especiais.
- (iii) 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.

Nesta etapa de acompanhamento e consolidação, avaliam-se os resultados da implantação do CEP e, posteriormente, identificam-se melhorias futuras advindas de sua implantação.

3 PROCESSOS DE MANUFATURA DE ÓLEO DO FARELO DE ARROZ

Neste capítulo são apresentados os fundamentos do processo de manufatura do óleo do farelo de arroz.

O óleo do farelo de arroz é um subproduto das indústrias de beneficiamento de arroz, onde é feita a separação e processamento de derivados da casca, farelo e gérmen do endosperma do grão (Amato, 1990). O arroz é um dos mais importantes cereais produzidos no mundo, principalmente na Ásia e América Latina, onde a maior parte da população tem no arroz a base da sua alimentação (Gupta, 1989). Devido a grande produção de arroz em muitos países, o óleo de arroz representa um grande potencial a ser explorado para produção de óleo comestível.

O farelo de arroz é um importante produto da indústria de beneficiamento do arroz. Seu teor de óleo varia de 15 até 28% dependendo da qualidade e tipo de farelo extraído do grão. Existem dois tipos de farelo de arroz (Juliano, 1983): (i) farelo de arroz parboilizado, obtido do beneficiamento de arroz parboilizado (20% a 28% de óleo) e (ii) farelo de arroz branco, obtido do beneficiamento de arroz branco (15% a 20% de óleo).

O processo genérico de manufatura do óleo do farelo de arroz é constituído de quatro etapas: (i) preparação do farelo de arroz, (ii) extração do óleo do farelo, (iii) degomagem, e (iv) neutralização do óleo obtido. Quando o óleo extraído do

farelo de arroz é destinado para o consumo humano, além destas etapas, deve-se efetuar o refino do óleo (deceramento, branqueamento, desodorização).

O óleo do farelo de arroz apresenta elevados índices de ácido linoléico (um ácido graxo essencial) e alto teor de tocoferóis (antioxidantes que dão maior estabilidade oxidativa ao óleo), segundo Moretto, 1998. O óleo de arroz também tem grande importância como matéria-prima em diferentes indústrias, tais como cosméticos e tintas.

Devido ao grande potencial econômico, representado pela demanda crescente por óleo de arroz refinado de alta qualidade e da grande produção mundial de arroz, tornam-se necessários desenvolvimentos tecnológicos que superem as dificuldades e viabilizem os processos de obtenção do farelo e refino do óleo de arroz bruto.

No item 3.1 deste capítulo são apresentadas as características físico-químicas do óleo de arroz. A seguir, no item 3.2 descreve-se o processo produtivo propriamente dito; este é subdividido em quatro subitens, onde são apresentadas as etapas de preparação do farelo de arroz (item 3.2.1), extração (item 3.2.2), degomagem (item 3.2.3) e neutralização do óleo do farelo de arroz (item 3.2.4).

3.1 Características físico-químicas do óleo do farelo de arroz

O óleo de arroz tem sido considerado como um óleo superior devido as suas características químicas, sendo equiparável aos óleos de soja, milho e algodão; ver Moretto (1988). O óleo do farelo de arroz é rico em vitaminas, apresenta baixa incidência de ingredientes responsáveis pelo colesterol e alto teor de tocoferóis (vitamina E) que garantem uma alta estabilidade, retardando a rancidez e o aparecimento de sabores indesejáveis. Estudos realizados demonstram que, quando utilizado na fritura de alimentos, o óleo de arroz é menos absorvido que os demais óleos vegetais (Moretto, 1998).

Além da importância do óleo do farelo de arroz para consumo humano, este pode ser utilizado na manufatura de produtos hidrogenados, maioneses, margarinas, em saboaria, cosméticos, xampus, em indústrias farmacêuticas, têxteis, couro, e de agentes anticorrosivos. Essas aplicações e outras podem ser encontradas em referências como Bailey (1951) e Moretto (1998).

As características de qualidade de óleos e gorduras, ou materiais que os contém, estão majoritariamente relacionadas a rancidez que é, sem dúvida, o fenômeno deteriorativo mais importante neste tipo de produto. A rancidez ocasiona deterioração do sabor e odor, depreciação do produto e redução de seu valor nutritivo (Swern, 1979). O óleo do farelo de arroz é muito instável quanto à sua coloração, devido a pigmentos como clorofila e carotenóides, e também devido a componentes que são ocasionalmente formados através da mudança das características do farelo de arroz.

O índice de acidez é uma característica muito importante no óleo do farelo de arroz, sendo dependente das condições da matéria-prima. Farelos armazenados durante longos períodos sofrem ação da enzima lipase, resultando em um aumento da acidez do seu conteúdo graxo. Bloquear a atividade da enzima lipase é uma das dificuldades encontradas na industrialização do óleo do farelo de arroz. A ação intensiva da lipase faz com que a acidez do óleo contido no farelo de arroz se eleve rapidamente, degradando a qualidade do óleo a ser extraído.

A acidez livre de uma gordura decorre da hidrólise parcial dos glicerídios, sendo uma característica variável, intimamente relacionada à natureza e qualidade da matéria-prima, à qualidade e grau de pureza da gordura, ao processamento e principalmente, às condições de conservação da gordura.

Outra característica de qualidade importante para os óleos vegetais é o índice de peróxidos decorrentes da reação do oxigênio atmosférico ou daquele dissolvido no óleo com ácidos graxos insaturados. As reações químicas envolvidas no processo de oxidação de óleos são muito complexas e geram, em seus estágios mais avançados, produtos organolepticamente (isto é, sensorialmente) inaceitáveis (Moretto, 1998).

Segundo Resolução nº 482 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, publicada em 13/10/99, as características físico-químicas do óleo do farelo de arroz

semi-refinado, obtido pelos processos de extração, degomagem e neutralização, são as seguintes:

- Índice de saponificação (%): 181 – 189
- Índice de iodo (%): 99 – 108
- Acidez (% ácido oléico): máximo 0,8
- Índice de peróxido (meq/Kg): máximo 10,0

3.2 Processo produtivo do óleo do farelo de arroz

No processo de manufatura do óleo de arroz, o farelo de arroz passa por uma série de etapas de transformação. A partir do recebimento da matéria-prima (farelo de arroz), proveniente de arroz parboilizado ou de arroz branco, prepara-se o farelo para posterior extração de seu conteúdo graxo. A seguir, o óleo bruto extraído é enviado ao processo de neutralização, e o farelo desengordurado ao processo de peletização. Estas etapas encontram-se esquematizadas na Figura 13, sendo descritas na seqüência.

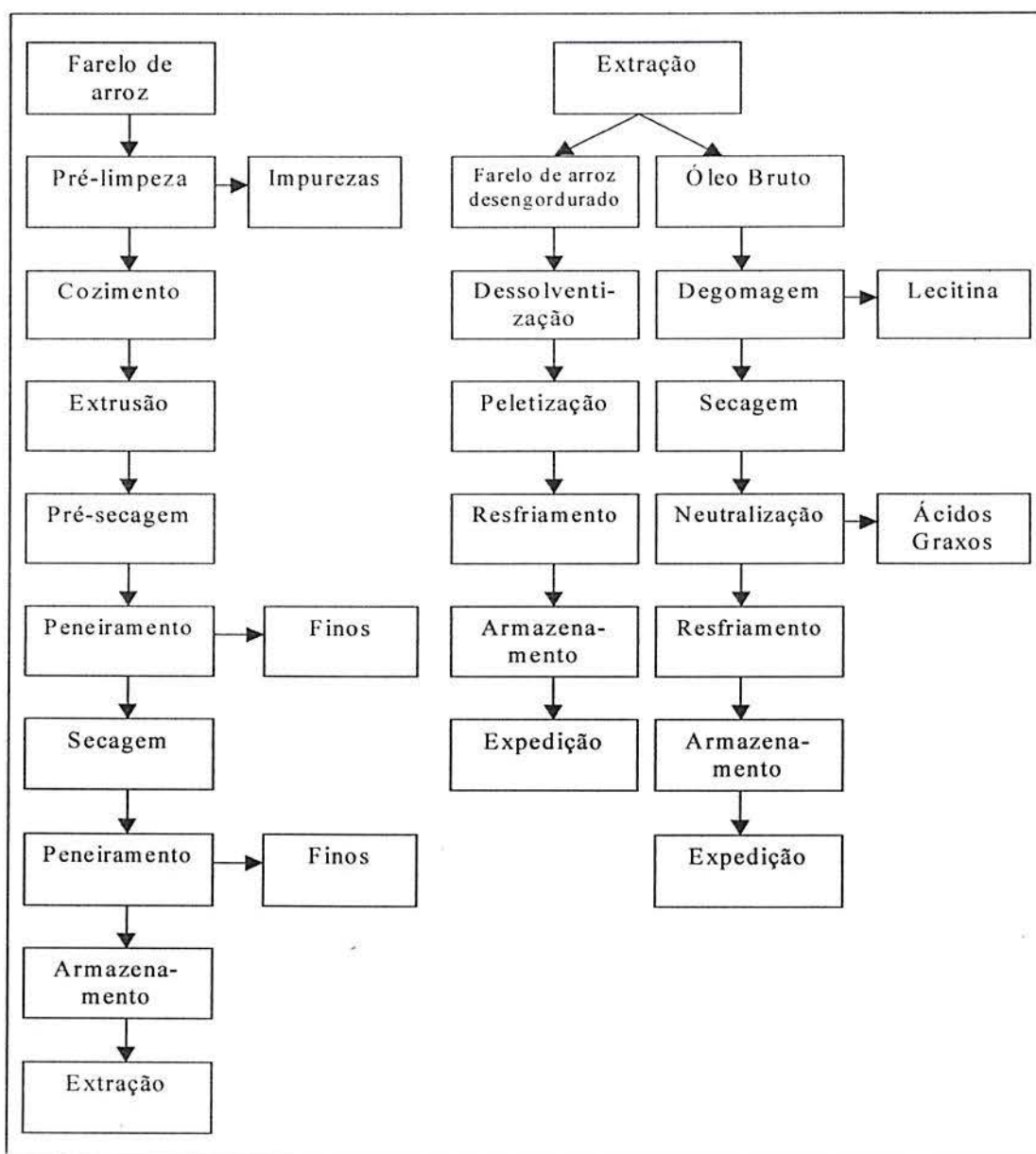


Figura 13. Fluxograma do processo de manufatura do óleo de arroz.

3.2.2 Preparação do farelo de arroz

O processo de preparação do farelo de arroz para posterior extração do óleo, consiste das etapas de (i) pré-limpeza, (ii) cozimento, (iii) expansão, (iv) peneiramento e (v) secagem; ver Figura 13.

A eliminação da sujidade mais grosseira é denominada pré-limpeza. No momento em que a matéria-prima é recebida no setor produtivo, esta é transportada por

elevadores até o sistema de peneiras rotativas. Na matéria-prima recebida são inspecionados, por amostragem, o teor de óleo, a quantidade de impurezas e o percentual de acidez. A pré-limpeza diminui a quantidade de material abrasivo e o risco da presença de material estranho nos equipamentos do segmento do processo.

O processo de cozimento constitui-se do recebimento do farelo da pré-limpeza, adição de água e cozimento, visando romper as paredes das células e facilitar a extração do óleo. O cozimento se processa em um equipamento denominado cozinhador. O cozinhador é um panelão de cozimento aquecido por vapor direto ou indireto, com um eixo vertical que suporta agitadores que permitem homogeneizar o farelo em cozimento. O processo de cozimento se dá em cinco estágios. A temperatura em cada estágio varia entre 70°C e 105°C. Com o aumento do teor de umidade dos flocos, tem-se a diminuição da viscosidade do óleo e sua tensão superficial, inativação das enzimas (como a lipase) e conseqüente diminuição da produção de ácidos graxos livres, e diminuição da afinidade do óleo com as partículas sólidas da semente.

Após o cozimento, o farelo de arroz é transportado à extrusora, onde ocorre o processo de expansão do farelo cozido. A massa de material, conduzida ao interior da máquina, é gradualmente pressionada por um eixo com helicóides, e misturada por parafusos raspadores; em determinados pontos, ocorre injeção de vapor direto na massa. A pressão da massa atinge o máximo no final do equipamento, quando então é expandida através de um disco perfurado.

Uma vez concluído o processo de expansão, a massa expandida é coletada para posterior análise de umidade. A umidade pós-expansão deve variar entre 15 e 20%. O farelo umidificado adquire as seguintes propriedades:

- maior permeabilidade, permitindo maior contato do solvente com o material oleaginoso e melhora na dessolventização;
- maior resistência à formação de pó; devido à sua natureza porosa, a massa expandida não sofre ação dos transportadores (correias transportadoras);
- maior peso específico, propiciando à extração um aumento de capacidade com o mesmo fluxo volumétrico;

- menor custo de produção, como consequência da redução do consumo de vapor e solvente.

A seguir, a massa expandida é transportada para o sistema de peneiras vibratórias, para que a mínima quantidade de material em forma de pó alimente o extrator no processo de extração do óleo. O material expandido e peneirado é então transportado aos secadores (de tipo vertical de passo simples) e seco, por ar aquecido em radiadores à vapor saturado, a temperaturas até 160°C. Na saída do secador, realiza-se uma amostragem para posterior análise de umidade; idealmente, a umidade na saída do secador deve encontrar-se numa faixa entre 8 e 10%.

O processo de preparação consiste, na verdade, da estabilização das propriedades do farelo do arroz (por exemplo, estabilização da acidez) através da elevação da temperatura da massa e posterior secagem. Com isso, o farelo preparado pode ser armazenado durante alguns dias sem modificar suas propriedades, para posterior extração do óleo. O processo de preparação do farelo de arroz, descrito acima, pode ser visualizado na totalidade na Figura 13.

3.2.3 Extração do óleo de farelo de arroz

Dentre os diversos meios conhecidos para extração do óleo de sementes oleoginosas, o mais comumente utilizado é o de extração por solvente, sendo o hexano utilizado para este fim. O extrator é composto por um conjunto de células de extração que giram na direção circular, com um sistema de bombas e chuveiros fixos para lavagem da massa (farelo preparado, no caso) com hexano. A massa expandida, após passar pelo extrator, origina dois subprodutos: (i) o farelo de arroz desengordurado, também chamado de “torta” e (ii) a miscela, uma mistura de óleo e solvente. A miscela passa, então, pelo sistema de dessolventização, resultando no óleo bruto de arroz.

Apesar do hexano dissolver a quase totalidade do óleo residual da “torta”, este material retém uma certa quantidade de miscela (óleo + solvente), que deve ser removida para possibilitar o uso do farelo em rações, entre outras finalidades. Para

tanto, o farelo requer um tratamento térmico, visando reduzir seus fatores antinutricionais, tóxicos e substâncias de sabor indesejável.

O material resultante do processo de extração é transportado ao dessolventizador-tostador, um equipamento cilíndrico dividido em cinco estágios e equipado com mecanismos de agitação e injeção direta de vapor. Este equipamento tem a função de eliminar os traços de solvente presente na “torta”, além de tostar a massa. A seguir, a massa é transportada ao equipamento de peletização, que confere um formato de *pellet* ao produto final. Nesta etapa, o farelo já peletizado é coletado por amostragem para análise do percentual residual de óleo e umidade contidos na amostra; os percentuais máximos admitidos para estas características de qualidade são de 1% e 12%, respectivamente (Barber *et al.*, 1974).

O hexano apresenta uma série de propriedades desejadas em um solvente. Esse solvente dissolve com facilidade o óleo sem agir sobre os outros componentes da matéria oleoginosa. Além disso, o hexano possui uma composição homogênea e estreita faixa de temperatura de ebulição. Contudo, esse solvente apresenta algumas desvantagens, tais como elevada inflamabilidade e alto custo. A dessolventização da miscela e da “torta” remove praticamente todo o solvente usado durante a extração, sendo este recuperado e reutilizado para alimentação do extrator, minimizando a restrição de custo associada ao solvente.

Antes do óleo bruto ser transportado ao processo de neutralização, coleta-se, por amostragem, porções do óleo sobre as quais analisam-se a acidez e o *flash point* (teste da chama, o qual verifica a presença do solvente no óleo). O óleo do farelo de arroz economicamente viável para refino destinado ao consumo humano deve apresentar um percentual de ácidos graxos livres (acidez) menor que 10% (Juliano, 1983).

3.2.4 Degomagem do óleo do farelo de arroz

O método da degomagem consiste basicamente na adição de 1 a 3% de água e 0,01 a 0,05% de ácido fosfórico ao óleo bruto aquecido e sob agitação. Tem-se,

assim, a hidratação dos fosfolipídeos, os quais tornam-se insolúveis no óleo. Após aproximadamente 30 minutos, forma-se um precipitado que é removido do óleo por centrifugação. O precipitado é denominado goma ou fosfatídeos.

O processo de degomagem também tem por objetivo remover do óleo bruto proteínas e substâncias coloidais. O produto denominado lecitina comercial, obtido na demogagem, consiste em cerca de 60% de mistura de fosfatídeos, 38% de óleo e 2% de umidade (Moretto, 1998). A lecitina pode ser utilizada como matéria-prima em processos de manufatura de cosméticos, leite em pó, sorvetes, chocolates, gorduras, compostagem do solo e no enriquecimento de rações animais, entre outros.

Os fosfolipídeos e a lecitina são importantes subprodutos do óleo do farelo de arroz. Devido à sua composição e características, a lecitina do arroz pode substituir a lecitina de soja em alimentos e produtos industriais (além de ser mais rica em fosfolipídeos, a lecitina do arroz é comercializada a um menor custo, se comparada à lecitina da soja).

Após a separação do óleo no processo de centrifugação, o óleo degomado é enviado ao evaporador para que toda água nele contida seja eliminada (secagem), para posterior neutralização.

3.2.5 Neutralização do óleo do farelo de arroz

O processo de neutralização do óleo degomado do farelo de arroz consiste na desacidificação ou eliminação dos ácidos graxos livres presentes no óleo, por ação do vapor e altas temperaturas (isto é, por ação de agentes físicos). O processo é constituído, basicamente, da destilação dos ácidos graxos livres com a finalidade de reduzir a acidez do óleo até um valor suficientemente baixo. A remoção dos ácidos graxos livres por destilação é possibilitada pela considerável diferença entre seus pontos de ebulição.

Após a eliminação dos ácidos graxos, o óleo neutralizado deve conter um teor de acidez inferior a 0,8%. O teor de acidez dos ácidos graxos eliminados, por outro

lado, deve ser o maior possível pois, assim, certifica-se que foram retiradas todas as impurezas ácidas do óleo.

A neutralização do óleo degomado pode ser física ou alcalina (química). A neutralização física se aplica preferencialmente a processos em que o produto final é destinado a rações animais; nos demais, onde a neutralização é seguida da etapa de branqueamento, utiliza-se a neutralização alcalina (adição de solução de hidróxido de sódio para eliminar os ácidos graxos livres); ver Bailey (1951). A neutralização alcalina apresenta alguns aspectos desfavoráveis como arraste de óleo neutro, originando significativas perdas no refino e dificuldade de tratar óleos com alta acidez. A neutralização física, por sua vez, reduz perdas de óleo e produz ácidos graxos com pureza entre 80 e 90%.

O processo de refino de óleos vegetais destinado à consumo humano é constituído das etapas de neutralização, branqueamento e desodorização. Os processos de branqueamento e desodorização são essencialmente físicos, constituindo-se de processos de adsorção e destilação, respectivamente. O processo de neutralização define o tipo de refino do óleo. Se o tipo de neutralização utilizada é alcalina, o refino subsequente é do tipo químico; se a neutralização é física, o refino a ser utilizado é do tipo físico.

Os ácidos graxos são utilizados como matéria-prima de processos de manufatura de fracionamento. Através do fracionamento por destilação dos ácidos graxos, em diferentes temperaturas de volatilização, obtém-se uma fração de ácidos graxos (palmítico, esteárico e linolênico, entre outros) que pode ser posteriormente utilizada em processos de manufatura de cosméticos, farmacêuticos e produtos alimentícios (Bailey, 1951).

Após o processo de neutralização do óleo, este é transportado para o processo de resfriamento, seguido de armazenagem e expedição.

4 ESTUDO DE CASO: IMPLANTAÇÃO DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS EM UMA EMPRESA DE ÓLEO DE ARROZ

O objeto de estudo no caso aqui apresentado é a implantação do controle estatístico de processos em uma empresa de manufatura de óleo de arroz. As etapas contempladas na implantação do CEP na empresa em estudo são as seguintes:

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

O presente capítulo é devotado à apresentação dos resultados obtidos a partir da implantação destas etapas.

Este capítulo apresenta a seguinte estrutura. A etapa de definição do projeto é apresentada no item 4.1. A etapa de planejamento da implantação é detalhada no item 4.2. A etapa de treinamento é apresentada no item 4.3. A etapa de implantação efetiva do controle estatístico do processo é apresentada no item 4.4. A etapa de acompanhamento e consolidação é discutida no item 4.5.

4.1 Definição do projeto

4.1.1 Definição do escopo

O escopo selecionado para o projeto foi a unidade de preparação, extração e neutralização do óleo de arroz. Os objetivos da implantação do controle estatístico de processos foram: (i) melhorar os níveis de qualidade praticados pela empresa, (ii) reduzir a variabilidade apresentada pelas características de qualidade, e (iii) reduzir os custos com retrabalho de produtos.

Os seguintes resultados eram esperados a partir da implantação do controle estatístico de processos:

- Maior envolvimento e comprometimento dos operadores com a qualidade do processo;
- Redução dos índices de refugo e retrabalho;
- Priorização para atividades de melhorias dos processos;
- Redução na variabilidade das características de qualidade do produto produzido;
- Objetividade e clareza nas informações obtidas do processo, transmitidas para gerência e clientes da empresa;
- Redução dos custos de retrabalho.

O prazo para finalização da implantação foi de seis meses, segundo o cronograma de implantação estabelecido para o projeto, apresentado na Tabela 14.

Tabela 14. Cronograma de implantação do controle estatístico de processos.

Etapas do Projeto	1º mês	2º mês	3º mês	4º mês	5º mês	6º mês
Definição do projeto	X					
Planejamento da Implantação	X	X	X			
Treinamento			X	X		
Implantação do controle integrado				X	X	
Acompanhamento e consolidação					X	X
Relatórios						X

4.1.2 Definição da equipe de trabalho

A equipe de implantação do controle estatístico de processos foi constituída por pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e por profissionais da empresa. Os profissionais da empresa incluídos na equipe já encontravam-se envolvidos com os processos de manufatura do óleo de arroz, facilitando aspectos motivacionais e de comprometimento com o projeto.

Os profissionais da empresa incluídos na equipe foram o supervisor de produção, o gerente do controle de qualidade além de, técnicos e operadores dos processos a serem contemplados pelo CEP. A equipe possui um núcleo base, formado pelo supervisor de produção e gerente de qualidade, que participou de todas as reuniões e decisões referentes ao projeto. Conforme a necessidade, foram convidadas pessoas externas à equipe, como o gerente de *marketing* e o de projetos, para auxiliarem em algumas etapas específicas da implantação.

4.1.3 Palestra de lançamento do projeto

Para divulgação do controle estatístico de processos foi realizada uma palestra de apresentação do projeto para os funcionários, supervisores e gerentes da empresa. O objetivo foi apresentar uma visão sobre o sistema, seus objetivos e cronograma de implantação.

4.2 Planejamento da implantação

As reuniões de planejamento contaram com a participação de toda a equipe de implantação da empresa. Nesta fase é importante a participação das pessoas envolvidas com a linha de produção, de forma a promover o comprometimento necessário para uma implantação bem sucedida do CEP.

4.2.1 Desdobramento da qualidade

Na etapa do desdobramento da qualidade e na etapa posterior de desdobramento dos processos, utilizou-se a metodologia do QFD – *Quality Function Deployment* (Desdobramento da Função Qualidade) delineada no capítulo 2.

Através de uma equipe multifuncional, realizou-se o levantamento da demanda da qualidade (voz do cliente) através de pesquisa, junto ao setor de vendas. Levantaram-se, assim, as principais demandas de qualidade, associadas à reclamações de clientes. Logo após, foi realizada a priorização dos itens de demanda da qualidade através do estabelecimento do índice ID_j para cada um dos itens demandados. O peso relativo ID_j foi encontrado através do desdobramento da demanda utilizando a árvore lógica da qualidade do QFD. A árvore lógica da qualidade permite priorizar a qualidade demandada segundo o grau de importância percebida pela equipe técnica na visão do cliente.

A árvore lógica lista as características de qualidade identificadas pelos clientes, desdobrando-as em características primárias, secundárias e terciárias. As características primárias correspondem à visão global de um determinado atributo importante para a qualidade. Este atributo é então subdividido e representado pelas características secundárias e terciárias.

As características primárias, secundárias e terciárias identificadas no estudo de caso estão apresentadas na Tabela 15. Após sua identificação, foi questionado junto ao cliente, o qual atribuiu graus (pesos) de importância a cada item. Uma importância (I) de 1 a 10 foi utilizada para esta avaliação; na escala, o valor 1 é atribuído a características pouco significativas e o valor 10 a características muito significativas. Determinou-se, assim, a importância das características de qualidade do farelo e óleo de arroz a comporem, posteriormente, a matriz de qualidade. Esta ponderação (p^3) se efetuou dividindo a importância conferida a cada característica de nível terciário pelo total das importâncias atribuídas ao nível terciário, sendo este valor multiplicado pela ponderação (p^2) do nível secundário.

Tabela 15. Árvore da qualidade demandada

								ID _i	
Nível Primário	I	P ¹	Nível Secundário	I	P ²	Nível Terciário	I	P ³	
Aparência adequada	7	43,75	Bom aspecto visual	6	43,75	Boa coloração	6	11,932	
						Baixo teor de umidade	9	17,898	
						Taxa de finos no produto expedido	7	13,920	
							22		
Controle de Qualidade	9	56,25	Qualidade do Produto	10	56,25	Elevado teor de proteína	10	13,720	
						Baixo teor de cinza	7	9,604	
						Baixo teor de sílica	7	9,604	
						Elevado residual de gordura	8	10,976	
						Baixo teor de acidez (óleo e farelo)	9	12,348	
						Baixo índice de peróxido (óleo)	9	12,348	
							41		
	10								
TOTAL	16								

Os dados obtidos acerca da qualidade demandada pelo cliente e seu grau de importância (ID_j) são transportados para a confecção da matriz da qualidade. A matriz da qualidade resultante pode ser vista na Tabela 16. O preenchimento da matriz da qualidade foi realizado a partir da opinião da equipe técnica. Foram estabelecidos relacionamentos entre os itens de qualidade demandada e as características de qualidade, originando o índice de intensidade dos relacionamentos (DQ_{ij}), utilizando a escala na Tabela 5. O índice corrigido de priorização das características de qualidade obtido no estudo de caso vem apresentado na última linha da matriz.

Tabela 16. Matriz da qualidade

	Número de Pellet com coloração diferenciada em 1Kg de amostra	Percentual de Umidade no produto produzido	Percentual de Umidade no produto expedido	Percentual de Proteína no produto produzido	Percentual de impureza na matéria-prima	Percentual de sílica no produto produzido	Percentual de cinza no produto produzido	Percentual de gordura no produto produzido	Percentual de acidez no produto produzido	Percentual de acidez no produto expedido	Índice de peróxido no produto expedido	IDj	Ej	Mj	IDj*	
Boa coloração	9	9	9		3							11,932	1,0	1,0	11,932	5
Baixo teor de umidade		9	9									17,898	1,5	1,0	21,920	1
Taxa de finos no produto expedido		9	9		9			9				13,920	0,5	1,0	9,843	6
Elevado teor de proteína		3	3	9	3	3	3	3				13,720	2,0	1,0	19,402	2
Baixo teor de cinza		1	1	1	9	1	9					9,604	0,5	0,5	4,802	7
Baixo teor de sílica		1	1	1	9	9	1					9,604	0,5	0,5	4,802	7
Elevado residual de gordura		3	3	3	3	3	3	9			1	10,976	2,0	1,0	15,522	4
Baixo teor de acidez (óleo e farelo)		1	1						3	9	3	12,348	2,0	1,0	17,462	3
Baixo índice de peróxido (óleo)		3	3						3	3	3	12,348	2,0	1,0	17,462	3
Especificações	100 pellets	máximo 13%	máximo 13%	mínimo 15%	máximo 20%	máximo 3%	máximo 12%	máximo 1%	máximo 1,5%	máximo 1,5%	máximo 3%					
	Importância das Carac.Qualidade ICQi=	107	577	577	231	316	153	153	391	210	210	225				
	Análise competitiva Bi=	0,5	1,0	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0				
	Dificuldade de Atuação Di=	1,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5				
	Priorização das Carac.Qualidade ICQi*=	93	408	408	163	316	108	153	277	148	148	159				
	9	1	1	4	2	8	6	3	7	7	5					

4.2.2 Desdobramento dos processos

Uma vez identificadas as principais características de qualidade do farelo desengordurado e do óleo de arroz, foram identificados os processos responsáveis pela composição (e garantia) dessas características.

O desdobramento dos processos permitiu associar as características de qualidade do óleo de arroz com os parâmetros e características de qualidade avaliadas durante o processo de manufatura do óleo. Com o desdobramento dos processos, foi possível identificar os parâmetros e características de qualidade dos processos críticos para a qualidade.

Inicialmente foram listados todos os processos de manufatura na ordem em que aparecem na linha de produção. A seguir, listaram-se os parâmetros dos processos, os quais foram cruzados com as características de qualidade do farelo desengordurado e do óleo de arroz. O preenchimento da matriz foi baseado na opinião técnica da equipe de projeto, questionada a respeito da intensidade das relações (R_{jk}) entre as características de qualidade do produto final e os parâmetros dos processos de manufatura. A equipe técnica foi questionada, também, quanto a capacidade e conhecimento técnico associado aos parâmetros e características de processo, com vistas à determinação de seu índice de priorização IPP_k , apresentado na Tabela 17. Procedimentos e escalas utilizados na avaliação encontram-se descritos no Capítulo 2 desta dissertação.

Tabela 17. Matriz dos processos

Desdobramento das Características de Qualidade		Número de Pellet com coloração diferenciada em 1Kg de amostra	Percentual de Umidade no produto produzido	Percentual de Umidade no produto expedido	Percentual de Proteína no produto produzido	Percentual de impureza na matéria-prima	Percentual de sílica no produto produzido	Percentual de cinza no produto produzido	Percentual de gordura no produto produzido	Percentual de acidez no produto produzido	Percentual de acidez no produto expedido	Índice de peróxido no produto expedido	Índice de Qualidade	Índice de Capacidade	Conhecimento	Índice de Priorização	
Desdobramento das etapas do Processo		93	408	408	163	316	108	153	277	148	148	159	IQP _k	Cpk	C	IPP _k	
Pré - limpeza	Peneiramento				3	9	9	9	3				6507	1,00	0,8	8134	13
	Cozimento																
	Vazão de água	3	9	9		3	1	1	3	1	1	1	10122	0,33	0,6	51122	4
	Temperatura dos estágios								9	1	1	1	2945	0,33	0,6	14876	10
	Taxa de alimentação		1	1					9	1	1	1	3762	0,67	0,8	7019	14
Expansão	Temperatura		1	1	3	1			9				4112	1,00	0,6	6853	15
	Taxa de vapor direto		3	3	3	3			9				6376	0,67	0,6	15862	9
	Taxa de alimentação		1	1		3			9				4253	1,33	0,8	3998	19
	Pressão de expansão		3	3	3	3			9	1	1	1	6832	0,67	0,2	50984	5
Secagem	Temperatura		9	9		1			9	9	9	9	14255	1,00	0,6	23759	7
	Vazão de ar		9	9		1			9	9	9	9	14255	0,67	0,4	53191	3
	Tempo de residência		9	9		1			9	9	9	9	14255	1,00	0,6	23759	7
Extração	Temperatura do extrator								9				2490	1,00	0,8	3112	20
	Taxa de alimentação								9				2490	1,33	0,8	2340	21
Dessolventização	Vapor direto 5º estágio		9	9									7350	1,33	1,0	5526	17
	Temperatura		3	3									2450	1,00	0,6	4083	18
Destilaria	Vazão de miscela								9				2490	0,33	0,8	9432	12
	Temperatura última coluna		9							3	3	3	5042	1,00	0,8	6302	16
Refinaria	Temperatura		9	9						9	9	9	11450	0,33	0,6	57826	2
	Vácuo		9	9						9	9	9	11450	0,33	0,4	86739	1
	Vazão de óleo		3	3						9	9	9	6549	0,33	0,6	33078	6
Peletização	Temperatura		9	9						3	3	3	8717	1,00	0,8	10896	11
	Injeção de água		9	9						3	3	3	8717	0,67	0,6	21683	8
	Vazão de ar		9	9						3	3	3	8717	0,67	0,6	21683	8

4.2.3 Direcionamento das ações

Após a identificação dos parâmetros e características de qualidade dos processos críticos para a qualidade, estes foram analisados quanto a possíveis ações de melhoria. Questionou-se, junto à equipe técnica e levando em consideração a voz do cliente, acerca de ações pertinentes para a melhoria da capacidade de cada parâmetro e característica de qualidade. O controle estatístico de processos foi indicado como ação de melhoria na totalidade dos casos, associada a outras ações, listadas na Tabela 18.

Tabela 18. Ações de melhorias para os parâmetros dos processos

Ações Possíveis		IPP _k - Índice de Priorização	Controle Estatístico - CEP	Treinamento	Desenvolvimento de Fornecedores	Projeto de Experimentos	Estudos Ergonômicos	Aquisição de Equipamentos	Definição de Procedimentos	Automatização
Pré - limpeza	Peneiramento	8134	9		3	3	3	9		9
Cozimento	Vazão de água	51122	9			9	3	9		9
	Temperatura dos estágios	14876	9	1		9		3		
	Taxa de alimentação	7019	9			9			9	9
Expansão	Temperatura	6853	9	1		6			3	
	Taxa de vapor direto	15862	9	1					9	
	Taxa de alimentação	3998	9	3		9				
	Pressão de expansão	50984	9	9				3	3	
Secagem	Temperatura	23759	9		3	9			3	
	Vazão de ar	53191	3	3	1	3	3	9		9
	Tempo de residência	23759	9						3	
Extração	Temperatura do extrator	3112	9							
	Taxa de alimentação	2340	9							
Dessolventização	Vapor direto 5º estágio	5526	9	3		9				
	Temperatura	4083	3			9				
Destilaria	Vazão de miscela	9432	9					3	3	3
	Temperatura última coluna	6302	9	3					3	
Refinaria	Temperatura	57826	9						9	9
	Vácuo	86739	9	3				3	9	9
	Vazão de óleo	33078	9	3	6			3	9	9
Peletização	Temperatura	10896	9							
	Injeção de água	21683	9	3	3		9	3	3	3
	Vazão de ar	21683	9	3			3	3		3

4.2.4 Identificação dos postos de controle e parâmetros e características de qualidade do processo a serem monitoradas em cada posto

Os postos de controle, conforme visto no Capítulo 2, correspondem aos locais físicos na produção onde o CEP será executado. Conforme esquema apresentado na Figura 11, com o auxílio da matriz dos processos e considerando sua proximidade física, a equipe técnica definiu os postos de controle e as respectivas características de qualidade a serem monitorados pelas cartas de controle. Os postos de controle definidos no estudo de caso estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19. Descrição dos postos de controle.

Número	Descrição do posto
Posto 1	Preparação
Posto 2	Extração
Posto 3	Refinaria

Dentro de cada posto de controle, de acordo com as etapas dos processos priorizados na Matriz dos processos, foram identificadas características de qualidade a serem monitoradas. As características selecionadas em cada posto de controle estão apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20. Descrição das características de qualidade monitoradas.

Posto	Macro etapas	Etapas do processo	Caracter. Qualidade
1	Pré – limpeza	Peneiramento	Sílica do farelo peletizado
			Cinza do farelo peletizado
1	Cozimento	Vazão de água	Umidade do farelo expandido
		Temperatura estágios	Gordura do farelo preparado
		Taxa alimentação	Umidade do farelo expandido
1	Expansão	Temperatura	Umidade do farelo expandido Gordura do farelo preparado

Tabela 19. Descrição das características de qualidade monitoradas (continuação)

1	Expansão	Taxa vapor direto	Umidade do farelo expandido
		Taxa alimentação	Umidade do farelo expandido
		Pressão expansão	Acidez do óleo bruto
1	Secagem	Temperatura	Umidade do farelo preparado Gordura do farelo preparado
		Vazão de ar	Umidade do farelo preparado
		Tempo de residência	Umidade do farelo preparado
2	Extração	Temperatura extrator	Residual de gordura do farelo dessolventizado
		Taxa alimentação	Residual de gordura do farelo dessolventizado
2	Dessolventização	Vapor direto 5 ^o estágio	Umidade do farelo peletizado
		Temperatura	<i>Flash point</i> do farelo dessolventizado
2	Destilaria	Vazão de miscela	Residual de gordura do farelo peletizado
		Temperat. coluna	Acidez do óleo bruto
3	Refinaria	Temperatura	Acidez do óleo semi-refinado
		Vácuo	Acidez óleo semi-refinado
3	Refinaria	Vazão de óleo	Acidez do ácido graxo
1	Peletização	Temperatura	Umidade do farelo peletizado
		Injeção de água	Umidade do farelo peletizado
		Vazão de ar	Umidade do farelo peletizado

4.2.5 Definição de critérios de classificação dos produtos (filtros)

Nesta etapa, definiram-se os critérios de classificação (ou filtros) a serem utilizados na identificação dos dados de qualidade do processo e produto. Tais critérios foram selecionados com vistas a facilitar uma posterior análise gerencial das cartas de controle.

Os critérios de classificação definidos pela equipe técnica estão apresentados na Tabela 21. Os critérios especificados na tabela são do tipo *somente filtro*, pois sua única função é classificar o produto para posterior agrupamento das características de qualidade de interesse.

Tabela 21. Descrição dos critérios de classificação.

Critério	Descrição do critério	Tipo de critério
Critério 1	Operador	Somente filtro
Critério 2	Analista	Somente filtro
Critério 3	Supervisor	Somente filtro
Critério 4	Turno	Somente filtro

4.2.6 Definição dos parâmetros e características de qualidade do processo

Uma vez definidos os postos de controle e os parâmetros e características de qualidade do processo a serem monitorados em cada posto, classificaram-se os itens de controle quanto a sua natureza (variável ou atributo), e tipo de alvo (nominal-é-melhor, maior-é-melhor ou menor-é-melhor). Os resultados estão apresentados na Tabela 22; todas as características listadas são do tipo variável.

Tabela 22. Critérios de classificação para as características de qualidade.

Posto	Caracter. Qualidade	Critério
1	Umidade do farelo expandido	nominal-é-melhor
1	Umidade do farelo preparado	nominal-é-melhor
1	Gordura do farelo preparado	maior-é-melhor
1	Umidade do farelo peletizado	menor-é-melhor
1	Sílica do farelo peletizado	menor-é-melhor
1	Cinza do farelo peletizado	menor-é-melhor
2	Residual de gordura do farelo peletizado	nominal-é-melhor
2	Residual de gordura do farelo dessolventizado	nominal-é-melhor
2	Acidez do óleo bruto	menor-é-melhor
3	Acidez ácido graxo	maior-é-melhor
3	Acidez do óleo semi-refinado	menor-é-melhor

4.2.7 Definição do procedimento de coleta de dados

Nesta etapa foram definidos (i) o tipo de carta de controle, (ii) o tamanho da amostra, (iii) a frequência de amostragem, (iv) forma de registro de dados e (v) sistema de medição.

As cartas de controle a serem utilizadas para as características de qualidade do estudo de caso são cartas para variáveis, para valores individuais. Isto devido ao tipo de análise laboratorial, realizado para cada característica de qualidade, apresentar elevado tempo de processo até obter-se o resultado final, e também, devido ao elevado custo das análises.

As amostras são coletas no processo produtivo para realização das análises no laboratório de controle de qualidade. Devido as técnicas utilizadas para análise laboratorial serem de custo e tempo de resposta elevado, utilizou-se cartas para valores individuais.

Assim, dependendo da característica de qualidade a ser analisada, tem-se um tamanho de amostra e frequência de amostragem distinto, conforme apresentado na Tabela 23.

Tabela 23. Descrição das características de qualidade, tamanho da amostra e frequência de amostragem.

Posto	Caracter. Qualidade	Tamanho da amostra	Amostra	Frequência amostragem
1	Umidade do farelo expandido	Val. Individual	2,0 g	1 a cada 1 hora
1	Umidade do farelo preparado	Val. Individual	2,0 g	1 a cada 1 hora
1	Gordura do farelo preparado	Val. Individual	4,0 g	1 a cada 24 horas
1	Umidade do farelo peletizado	Val. Individual	2,0 g	1 a cada 1 hora
1	Sílica do farelo peletizado	Val. Individual	2,0 g	1 a cada 24 horas
1	Cinza do farelo peletizado	Val. Individual	2,0 g	1 a cada 24 horas
2	Residual de gordura do farelo peletizado	Val. Individual	4,0 g	1 a cada 24 horas
2	Residual de gordura do farelo dessolventizado	Val. Individual	4,0 g	1 a cada 8 horas
2	Acidez do óleo bruto	Val. Individual	4,0 g	1 a cada 2 horas
3	Acidez ácido graxo	Val. Individual	4,0 g	1 a cada 2 horas
3	Acidez do óleo semi-refinado	Val. Individual	9,0 g	1 a cada 1 hora

Após concluídas as análises químicas das características de qualidade, o registro dos dados é realizado em computador utilizando o programa computacional PROCEP (1999), no laboratório de controle de qualidade. Esses dados, registrados em um banco de dados pelo laboratório de controle de qualidade, estão em sistema de rede com os demais setores da empresa. Assim, tão logo os operadores visualizem os resultados, decisões em relação aos parâmetros dos processos podem ser tomadas.

O banco de dados relaciona todas as características de qualidade (itens de controle) que são controladas no processo produtivo, conjuntamente com as informações sobre supervisor, operador, turno e analista.

4.2.8 Avaliação do sistema de medição

Uma vez definido o sistema de medição é necessário avaliar a sua capacidade. Sempre que houver suspeita a respeito da capacidade de um sistema de medição, este deve ser analisado através de estudos de Repetibilidade e Reprodutibilidade (R & R); ver Montgomery (1996) e Duncan (1986), entre outros.

No estudo de R&R proposto por Ribeiro e Caten (1998), são utilizados três métodos: da amplitude, da média e amplitude, e da análise da variância. O método da amplitude, também conhecido como estudo rápido de R&R, fornece uma avaliação do sistema de medição, não permitindo distinguir as fontes de variabilidade. O método da média e amplitude permite distinguir entre duas fontes de variação: reprodutibilidade (que mede o efeito da padronização dos procedimentos sobre o erro de medição) e repetibilidade (que mede o efeito dos operadores sobre o erro de medição), quantificando a contribuição da fonte para a variabilidade total. A análise de variância é uma técnica que permite uma estimativa mais precisa das variâncias; este método encontra-se detalhado no Capítulo 5. Para avaliação do sistema de medição em questão, optou-se pelo método da amplitude.

Um sistema de medição capaz apresenta uma variância de medição inferior a 10% da amplitude das especificações. A análise do sistema de medição no estudo de caso foi realizada avaliando as medições tomadas por quatro técnicos em uma mesma amostra. Este procedimento foi repetido durante cinco dias, utilizando-se

amostras distintas em cada dia. Concluiu-se, a partir do resultado das avaliações, que os sistemas de medição utilizados na empresa apresentavam confiabilidade aceitável.

4.2.9 Definição das responsabilidades

Nesta etapa foram definidos os responsáveis pela coleta de dados, digitação dos dados no computador, monitoramento das cartas de controle, cálculo dos limites de controle, e estudos de estabilidade e de capacidade.

O monitoramento das cartas de controle, cálculo dos limites de controle, estudos de estabilidade e de capacidade são realizados em cada posto de controle. Assim, cada operador passa a ser responsável pelos resultados obtidos.

O laboratório de controle de qualidade é responsável pela inserção dos resultados das análises das características de qualidade no programa computacional PROCEP (1999). Os dados oriundos de diferentes itens de controle são armazenados em um único banco de dados.

Também foi identificado o responsável pela identificação e execução de ações corretivas, no caso do processo sair fora de controle, e de ações preventivas, para evitar a reincidência do problema.

A Tabela 24 apresenta a definição de atribuições e responsabilidades que foram realizadas nesta etapa.

Tabela 24. Definição de responsabilidades

	Responsável pela coleta	Responsável pela digitação	Responsável pelo monitoramento	Responsável pelo cálculo dos limites de controle	Responsável pelo cálculo da capacidade	Responsável pelas ações corretivas
Características do produto						
Umidade do farelo expandido	operador	analista	operador	analista	supervisor	supervisor
Umidade do farelo preparado	operador	analista	operador	analista	supervisor	supervisor
Gordura do farelo preparado	operador	analista	operador	analista	supervisor	supervisor
Umidade do farelo peletizado	operador	analista	operador	analista	supervisor	supervisor
Sílica do farelo peletizado	operador	analista	operador	analista	supervisor	supervisor
Cinza do farelo peletizado	operador	analista	operador	analista	supervisor	supervisor
Residual de gordura do farelo peletizado	operador	analista	operador	analista	supervisor	supervisor
Residual de gordura do farelo dessolventizado	operador	analista	operador	analista	supervisor	supervisor
Acidez do óleo bruto	operador	analista	operador	analista	supervisor	supervisor
Acidez ácido graxo	operador	analista	operador	analista	supervisor	supervisor
Acidez do óleo semi-refinado	operador	analista	operador	analista	supervisor	supervisor

4.2.10 Definição da documentação necessária

Um exemplo de registro de ocorrência de causas especiais, obtido do diário de ocorrências do programa PROCEP (1999), está apresentado na Figura 14. Nesta etapa, são identificadas as planilhas de dados a serem utilizadas e as planilhas de registro de ocorrência de causas especiais.

Amostra	Data e Hora	Anotações
1258	16/09/99 15:11	descarga do secador trancada
1259	16/09/99 20:16	início de produção
1260	16/09/99 21:15	corte na alimentação de vapor
1274	17/09/99 11:20	corte na alimentação de vapor
1303	18/09/99 16:11	início de produção
1304	18/09/99 17:13	bomba de água desregulada
1305	18/09/99 18:15	descarga da couna resfriadora entupida
1330	20/09/99 17:20	corte na alimentação de vapor
1351	21/09/99 20:17	matriz da extrusora entupida
1352	21/09/99 21:24	matriz da extrusora entupida
1353	21/09/99 22:09	matriz da extrusora entupida
1354	21/09/99 23:10	matriz da extrusora entupida
1355	22/09/99 00:21	parando a produção

Figura 14. Exemplo de diário do PROCEP

4.3 Treinamento em controle estatístico de processos

O treinamento é uma etapa fundamental, pois o corpo técnico deve ser capaz de interpretar os dados coletados e tomar as ações necessárias. O treinamento na empresa de óleo de arroz foi oferecido em dois níveis, teórico e prático. Deles participaram todas as pessoas envolvidas na implantação do CEP (gerentes, diretores, engenheiros, supervisores e operadores), resultando um total de 43 pessoas treinadas. Neste treinamento foram abordados os seguintes temas:

- Estudos de estabilidade e capacidade;
- Introdução ao controle estatístico de processos;
- Carta de controle para variáveis;
- Digitação de dados no *software* (carta de controle no *software*); e
- Análise das cartas de controle.

4.4 Implantação efetiva

A implantação efetiva compreende, de forma geral, as seguintes etapas:

4.4.1 Início do monitoramento

Nesta etapa foi definido a data de início da coleta de dados a serem utilizados no controle estatístico de processos. Assim, tem-se o início da utilização prática do *software* do controle estatístico de processos, sendo definida a frequência de entrada dos dados nas planilhas do computador.

Primeiramente, os dados são coletados e após resultado da análise laboratorial os dados são digitados no *software*, sendo que os limites de controle do processo ainda não são conhecidos. Cada posto do processo tem um computador de acesso ao operador sendo que todos estão em rede. Assim, após informação dos dados pelo laboratório cada operador de cada posto pode visualizar as cartas de controle, respectivas ao seu processo, ou mesmo, os demais.

4.4.2 Cálculo dos limites de controle

O cálculo dos limites de controle é realizado, sendo estes acrescentados às cartas de controle. Conforme a frequência de amostragem, o cálculo dos limites de controle pode levar alguns dias, pois para realização deste cálculo é demandada uma quantidade mínima de dados. Após o cálculo desses limites, no caso de aparecimento de causas especiais, esses devem ser recalculados, após a identificação e eliminação de anomalias no processo.

4.5 Acompanhamento e consolidação

O acompanhamento e consolidação do controle estatístico de processos na empresa em estudo, compreendeu as etapas de avaliação da sistemática de ação, análise da estabilidade e capacidade dos processos, descritas no Capítulo 2. Foram avaliados os resultados da implantação do CEP e potenciais melhorias advindas da sua implantação. Estes resultados vêm apresentados no Capítulo 5.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES: ANTES E APÓS A IMPLANTAÇÃO DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos antes e após à implantação do controle estatístico nos processos de manufatura de óleo de arroz. Estas comparações são realizadas utilizando-se a análise de variância para uma característica de qualidade de cada posto de trabalho.

A análise de variância (ANOVA) é uma técnica estatística utilizada para determinar se médias de duas ou mais situações (como, por exemplo, antes e após à implantação do controle estatístico de processos) são iguais; ver Searle *et al.* (1992), entre outros. As técnicas de caracterização estatística de processos e comparação entre situações distintas são ferramentas básicas para que metas estabelecidas possam ser atingidas, permitindo avaliar melhorias nos processos.

Este capítulo apresenta a seguinte estrutura: no item 5.1 é apresentada a análise de variância para as características de qualidade, com detalhamento em gráficos; no item 5.2 são apresentados os estudos de estabilidade e capacidade por posto de trabalho após a implantação do CEP, bem como discussões.

5.1 Análise de variância para as características de qualidade

Um problema que surge com frequência ao conduzir-se a avaliação ou caracterização estatística no controle de processos, consiste em decidir se resultados de amostras provenientes de situações diferentes, tais como turnos, operadores e matérias-primas distintas, são significativamente diferentes (Werkema, 1996). Para realizar essas comparações, a técnica estatística mais utilizada é a análise de variância (ANOVA).

No estudo de caso apresentado no Capítulo 4, deseja-se comparar a média e a variabilidade apresentada pelos processos em dois momentos distintos: antes e depois da implantação do CEP. Tal comparação tem por objetivo identificar a ocorrência de melhorias e aperfeiçoamentos nos processos.

Geralmente, a característica de qualidade de interesse associada ao produto resultante de um processo, é influenciada simultaneamente por mais de um fator do processo. Na ANOVA com dois fatores, avalia-se a influência de fatores individuais e de sua interação sobre uma variável de interesse. Este estudo possibilita interpretar a variabilidade dos processos, apresentando como objetivo determinar a influência de um conjunto de fatores, analisados na ANOVA, sobre a característica de qualidade do produto.

Utilizando a ANOVA no estudo de caso, a variabilidade pôde ser decomposta em quatro fontes: (i) turnos, (ii) momento da coleta de dados (antes e depois da implantação do CEP), (iii) interação entre turnos e momento da coleta de dados, e (iv) resíduo ou erro devido a fatores de ruído (ou seja, a variabilidade natural do processo).

Após a coleta de dados nos quatro turnos de trabalho, antes e após a implantação do CEP, realizaram-se análises de variância para dois fatores, para a média e variabilidade de diferentes características de qualidade em cada posto de trabalho, utilizando a planilha *Excel* (1997). Os dados coletados em dois momentos no tempo, antes e depois da implantação do CEP, foram obtidos nos meses de abril e maio, e agosto e setembro, respectivamente; os dados coletados nestes meses foram estratificados por turno de trabalho. As características de qualidade utilizadas para análise de variância foram as seguintes: umidade do farelo preparado (posto 1), residual

de gordura do farelo do dessolventizador (DT; posto 2) e acidez do óleo semi-refinado (posto 3).

A análise de variância (ANOVA) para as médias da característica de qualidade umidade do farelo preparado (posto 1) vem apresentada na Tabela 25. Naquela tabela, o fator *Antes/Depois* corresponde ao momento no tempo em que foi feita a coleta das amostras (antes ou depois da implantação do CEP).

Tabela 25. ANOVA para as médias da umidade do farelo preparado (posto 1).

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Antes/Depois	41,8554	1	41,8554	29,2565	7E-08	3,84553
Turnos	80,3494	3	26,7831	18,7212	5,4E-12	2,60879
Interações	29,0287	3	9,67625	6,76361	0,00015	2,60879
Dentro	3273,29	2288	1,43063			
Total	3424,52	2295				

Conforme observado na Tabela 25, os efeitos dos fatores *Antes/Depois* e *Turnos*, e da interação entre eles são significativos para a característica de qualidade umidade do farelo preparado. Com relação ao fator *Antes/Depois*, por exemplo, este resultado implica na variabilidade entre as médias de umidade antes e após a implantação do CEP ser maior do que a variabilidade natural desta característica (resíduo).

Utilizando-se as médias dos dados coletados em cada turno de trabalho antes e após a implantação do CEP, plotou-se o gráfico para a característica umidade do farelo preparado, apresentado na Figura 15.

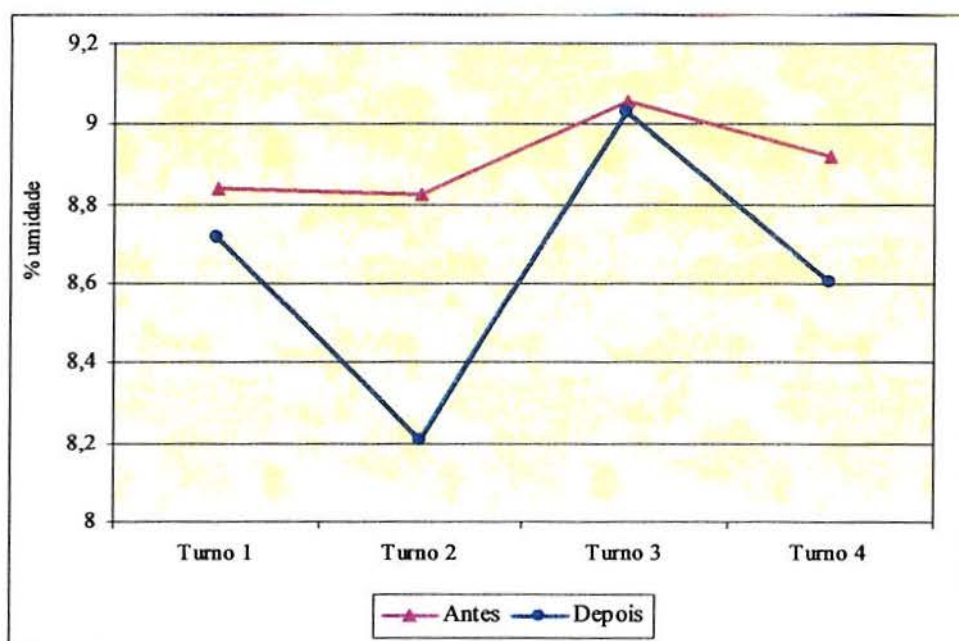


Figura 15. Comparativo das médias entre antes e depois da implantação do CEP, para a característica umidade do farelo preparado (posto 1).

A Figura 15, evidencia uma melhoria no processo controlado pelo CEP. A característica em estudo é do tipo nominal é melhor, com valor alvo 8% de umidade (podendo variar entre 6 e 10% de umidade). A redução verificada nas médias dos turnos depois da implantação do CEP indica uma melhoria no processo promovida pela utilização da ferramenta.

Como o resultado da ANOVA das médias dos dados coletados apontou para efeitos significativos de fatores testados sobre a característica umidade do farelo preparado, realizou-se uma comparação múltipla de médias, para melhor expressar as diferenças entre antes e depois da implantação do CEP em um mesmo turno. As comparações são feitas fixando-se os níveis do fator *turno* e comparando os resultados de umidade, antes e depois da implantação do CEP. O cálculo utiliza o desvio padrão das médias, dado pela seguinte equação:

$$eq. 23 \quad S_x = \frac{\sqrt{MQR}}{\sqrt{n}}$$

onde:

S_x desvio padrão das médias

MQR média do quadrado dos resíduos dentro dos grupos
 n número de amostras usadas no cálculo da média

O valor de MQR é obtido calculando-se, em cada grupo, a média do quadrado dos desvios entre valores observados e valor médio no grupo.

A diferença entre as médias antes e depois da implantação do CEP é comparada com o limite de decisão, calculado através da eq. 24; se o módulo das diferenças nas médias for maior que o limite de decisão, então tal diferença é significativa.

$$\text{eq. 24 } L_d = 3S_x$$

onde:

L_d limite de decisão

S_x desvio padrão das médias

Os resultados obtidos para a característica umidade do farelo preparado vêm apresentados na Tabela 26.

Tabela 26. Comparação múltipla de médias para umidade do farelo preparado

$S_x = 0,0706$	
$L_d = 0,21181$	
$ Diferença > L_d$	→ é significativa
Turno 1 =	$ antes - depois = 0,12125 $ DNS
Turno 2 =	$ antes - depois = 0,61533 $ DS
Turno 3 =	$ antes - depois = 0,02753 $ DNS
Turno 4 =	$ antes - depois = 0,31603 $ DS

onde:

L_d limite de decisão

S_x desvio padrão das médias

DNS diferença não significativa

DS diferença significativa

Conforme Tabela 26, conclui-se que nos turnos 2 e 4, a diferença na umidade do farelo antes e depois da implantação do CEP é significativa; isto se deve, provavelmente, ao trabalho da equipe nos turnos e seu grau de comprometimento com as melhorias no processo. Nos turnos 1 e 3, em contrapartida, não verificou-se nenhuma redução; isto pode ser atribuído ao tipo de matéria-prima recebida nestes turnos durante o período investigado (farelo de arroz parboilizado). O farelo de arroz parboilizado recebe uma maior adição de água para facilitar seu cozimento, o que resulta numa maior umidade residual no farelo.

Na Tabela 27 pode-se observar a análise de variância (ANOVA) para o desvio-padrão da característica de qualidade umidade do farelo preparado (posto 1).

Tabela 27. ANOVA para o desvio-padrão da umidade do farelo preparado (posto 1).

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Antes/Depois	0,1243	1	0,1243	1,0758	0,30089	3,88837
Turnos	2,13174	3	0,71058	6,14979	0,00051	2,64976
Interações	0,11585	3	0,03862	0,33423	0,80061	2,64976
Dentro	23,1091	200	0,11555			
Total	25,481	207				

Conforme observado na Tabela 27, o efeito do fator *Antes/Depois* e da interação não são significativos, sendo que o efeito do fator *Turnos* é significativo para o desvio-padrão da característica de qualidade umidade do farelo preparado.

A análise de variância (ANOVA) para a característica de qualidade residual de gordura do farelo do DT (posto 2), vem apresentada na Tabela 28. Observe que o efeito principal dos fatores *antes/depois* e *turnos* são significativos; e a interação entre os fatores é significativa.

Tabela 28. ANOVA para as médias do residual de gordura do farelo do DT (posto 2).

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Antes/Depois	0,74788	1	0,74788	40,5012	7E-10	3,87143
Turnos	0,38707	3	0,12902	6,98725	0,00015	2,63355
Interações	0,13721	3	0,04574	2,47679	0,0614	2,63355
Dentro	5,76126	312	0,01847			
Total	7,03342	319				

Utilizando-se as médias dos valores residuais de gordura coletados em cada turno de trabalho, antes e após a implantação do CEP, obteve-se o gráfico na Figura 16.

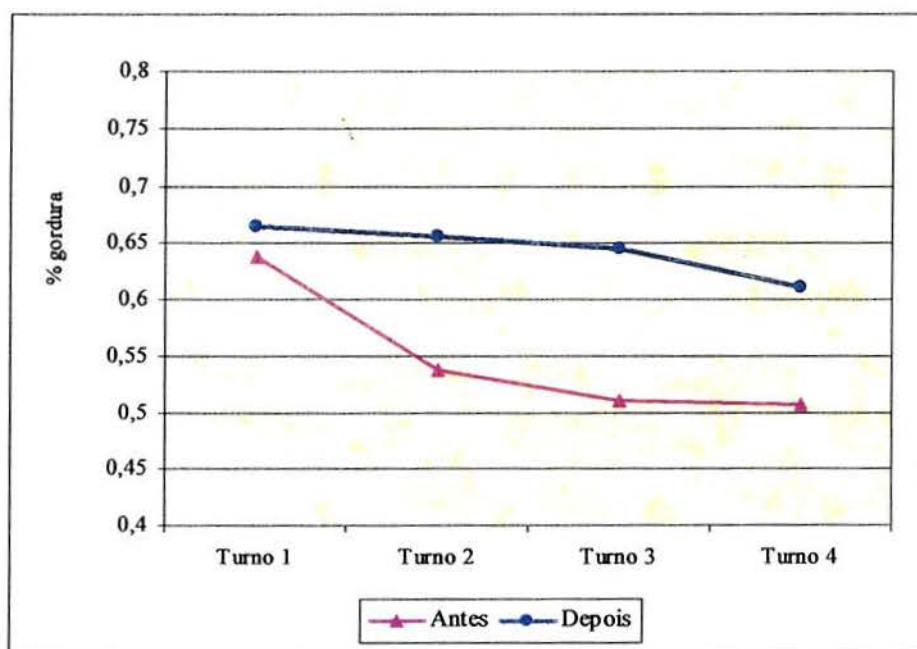


Figura 16. Comparativo das médias entre antes e depois da implantação do CEP, para a característica residual de gordura do farelo do DT (posto 2).

Conforme Figura 16, conclui-se que antes da implantação do CEP, todos os turnos apresentaram menor residual de gordura no farelo do DT (esta é uma característica do tipo nominal é melhor, com valor-alvo igual a 0,65%). Pode-se observar também que após a implantação do CEP, os valores de residual de gordura

estão muito mais próximos do valor-alvo.

Na seqüência, conforme resultado da ANOVA para as médias, realizou-se uma comparação múltipla de médias para melhor expressar as diferenças entre antes e depois da implantação do CEP em um mesmo turno. As comparações são feitas fixando-se os níveis do fator *turno* e comparando antes e depois da implantação do CEP; obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 29.

Tabela 29. Comparação múltipla de médias para residual de gordura do farelo do DT

$S_x =$	0,02149		
$L_d =$	0,06446		
Diferença	$> L_d$	→	é significativa
Turno 1 =	antes – depois =	-0,02725	DNS
Turno 2 =	antes – depois =	-0,11825	DS
Turno 3 =	antes – depois =	-0,13525	DS
Turno 4 =	antes – depois =	-0,106	DS

onde:

L_d limite de decisão

S_x desvio padrão das médias

DNS diferença não significativa

DS diferença significativa

Conclui-se, examinando a Tabela 29, que os turnos 2, 3 e 4 apresentam diferenças significativas nos períodos antes e depois da implantação do CEP. Nenhuma diferença significativa foi identificada para o turno 1; observe, todavia, que os valores de residual de gordura no farelo do DT apresentados por este turno antes da implantação já encontravam-se bastante próximos do valor-alvo.

Na Tabela 30 pode-se observar a análise de variância (ANOVA) para o desvio-padrão da característica de qualidade umidade do farelo preparado (posto 1).

Tabela 30. ANOVA para o desvio-padrão do residual de gordura do farelo do DT (posto 2).

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>Gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Antes/Depois	0,00121	1	0,00121	0,79755	0,3807	4,25968
Turnos	0,00411	3	0,00137	0,90361	0,45391	3,00879
Interações	0,0011	3	0,00037	0,24127	0,86667	3,00879
Dentro	0,0364	24	0,00152			
Total	0,04282	31				

Conforme observado na Tabela 30, os efeitos dos fatores *Antes/Depois* e *Turnos*, e a interação entre eles não é significativo, quando analisado o desvio-padrão dos dados coletados para a característica de qualidade residual de gordura do farelo do DT.

A ANOVA das médias para a característica de qualidade acidez do óleo semi-refinado (posto 3) vem apresentada na Tabela 31.

Tabela 31. ANOVA das médias para acidez do óleo semi-refinado (posto 3).

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Antes/Depois	0,00074	1	0,00074	0,08054	0,77659	3,84551
Turnos	0,43955	3	0,14652	15,8426	3,4E-10	2,60878
Interações	0,03721	3	0,0124	1,34123	0,2592	2,60878
Dentro	21,2339	2296	0,00925			
Total	21,7114	2303				

Conforme resultados observados na Tabela 31, o efeito principal do fator *antes/depois* não é significativo, o fator *turno* é significativo e o efeito da interação entre estes dois fatores não é significativo sobre a acidez do óleo semi-refinado.

Na Figura 17 apresenta-se o comparativo das médias entre antes e depois da implantação do CEP para a característica acidez do óleo semi-refinado (a característica em estudo é do tipo menor é melhor). É fácil observar que os turnos no posto 3 mantiveram aproximadamente um mesmo valor médio de acidez, antes e depois da implantação do CEP.

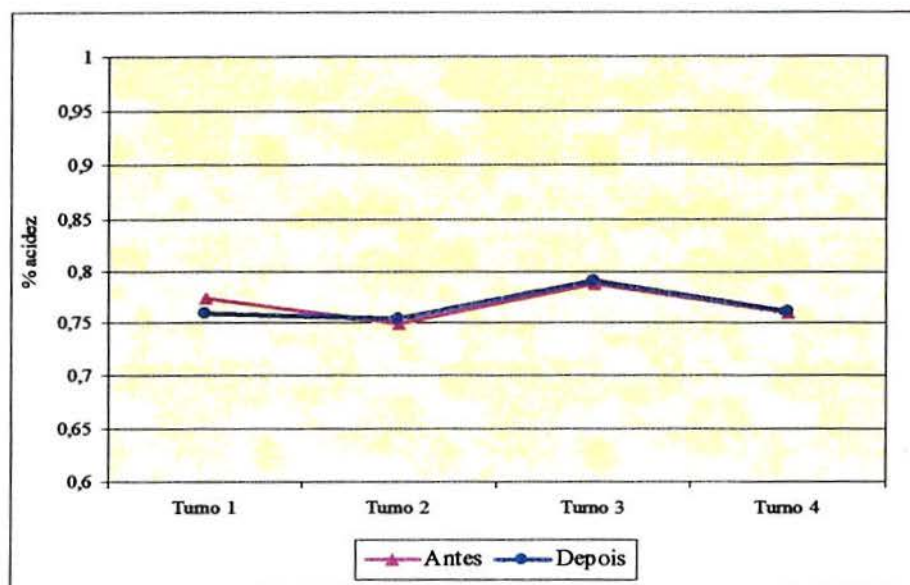


Figura 17. Comparativo das médias entre antes e depois da implantação do CEP na característica acidez do óleo semi-refinado (posto 3).

Na Tabela 32 pode-se observar a análise de variância (ANOVA) para o desvio-padrão da característica de qualidade umidade do farelo preparado (posto 1).

Tabela 32. ANOVA para o desvio-padrão da acidez do óleo semi-refinado (posto 3).

Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Antes/Depois	0,02451	1	0,02451	8,70697	0,00355	3,88837
Turnos	0,0177	3	0,0059	2,09608	0,10197	2,64976
Interações	0,00913	3	0,00304	1,08154	0,35799	2,64976
Dentro	0,5629	200	0,00281			
Total	0,61424	207				

Conforme observado na Tabela 32, o efeito do fator *Antes/Depois* é significativo, sendo que o efeito do fator *Turnos* e da interação não são significativos para o desvio-padrão da característica de qualidade acidez do óleo semi-refinado.

5.2 Estudo da estabilidade e capacidade dos processos de manufatura do óleo de arroz

Durante o planejamento da implantação do CEP, a linha de produção foi dividida em três postos de controle, previamente descritos (Tabela 19). Os dados coletados para cada característica de qualidade em cada posto de trabalho foram registrados em um banco de dados no laboratório de controle de qualidade. Assim, utilizando os dados armazenados, realizou-se o estudo de estabilidade e capacidade para uma característica de qualidade em cada posto de trabalho.

A carta de controle para a característica umidade do farelo preparado (posto 1) encontra-se subdividida nas Figuras 18 a 25. O período apresentado nos gráficos corresponde aos meses de Agosto e Setembro de 1999.

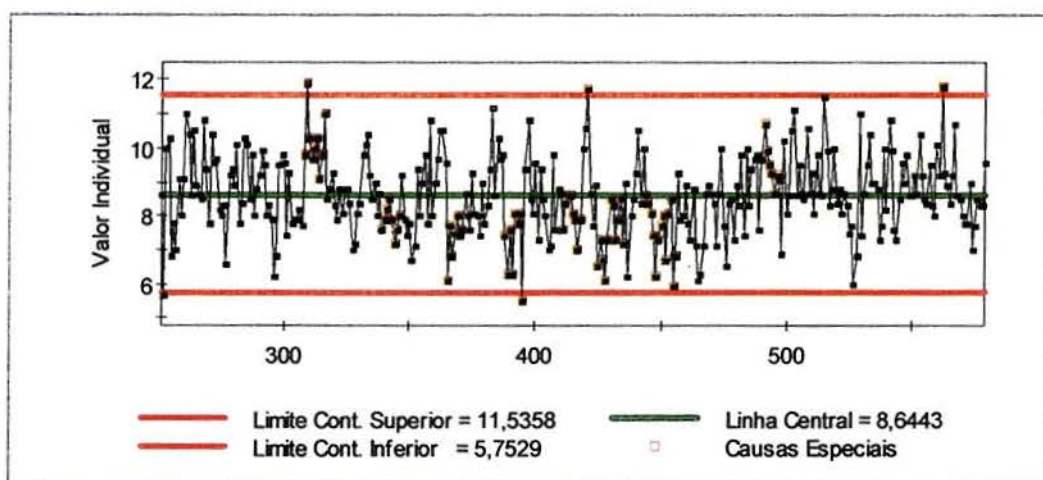


Figura 18. Carta de controle da umidade do farelo preparado (posto 1) no período de 01/08/99 às 00:14 hs até 17/08/99 às 19:03 hs.

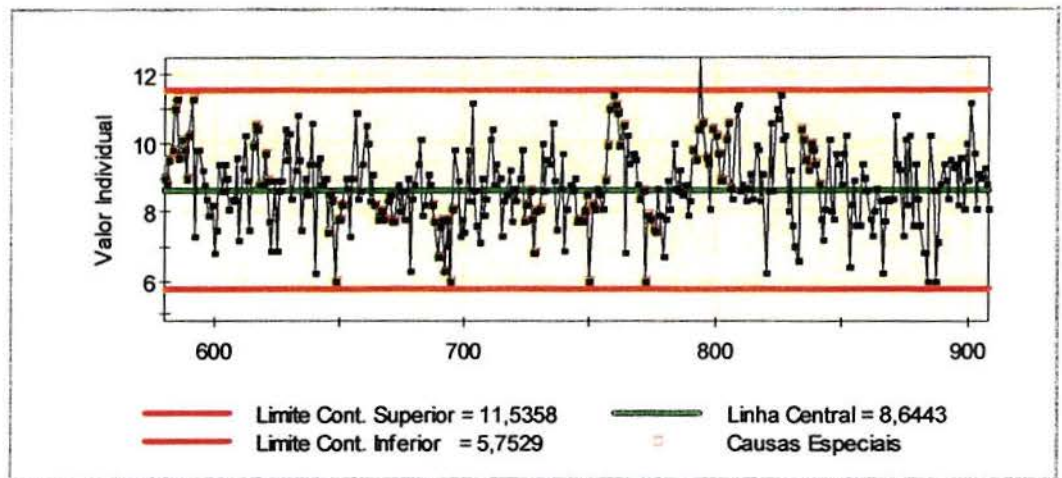


Figura 19. Carta de controle da umidade do farelo preparado (posto 1) no período de 17/08/99 às 20:18 hs até 01/09/99 às 02:23 hs.

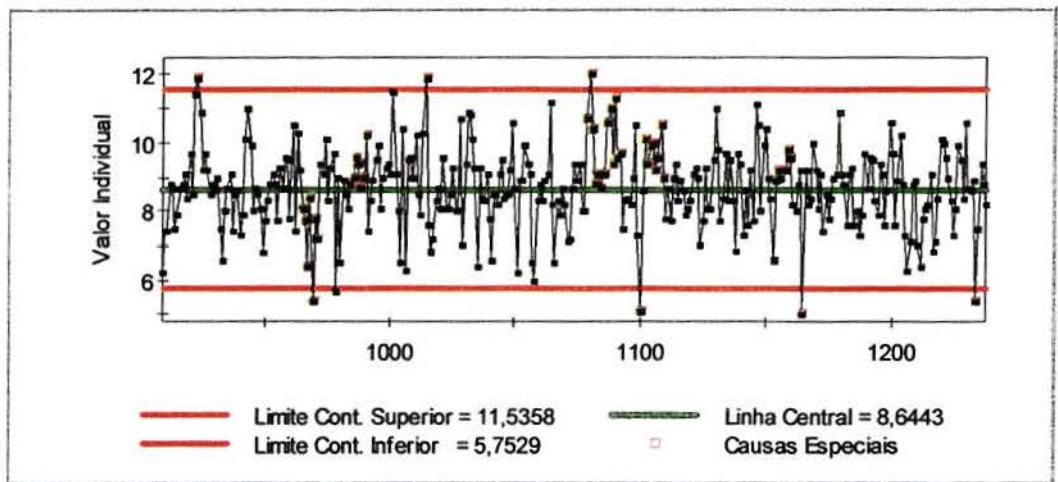


Figura 20. Carta de controle da umidade do farelo preparado (posto 1) no período de 01/09/99 às 03:19 hs até 15/09/99 às 17:59 hs.

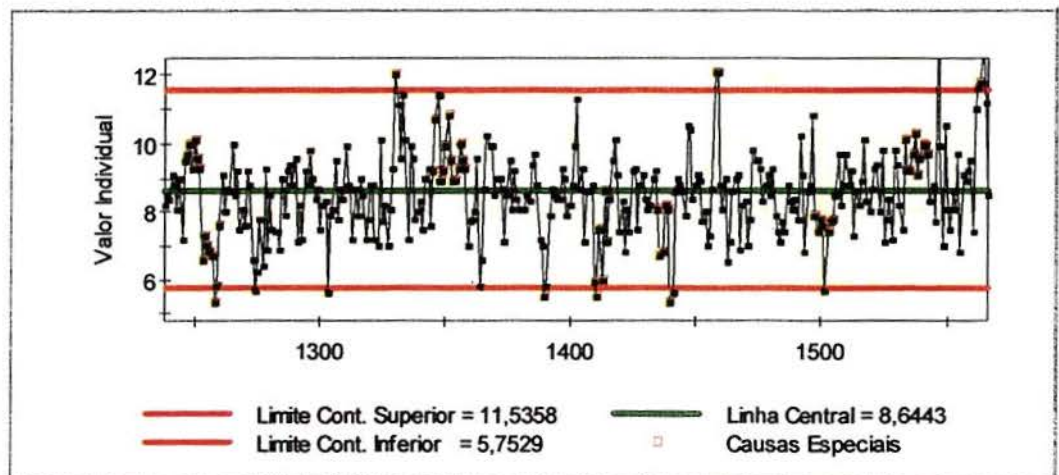


Figura 21. Carta de controle da umidade do farelo preparado (posto 1) no período de 15/09/99 às 19:20 hs até 30/09/99 às 22:22 hs.

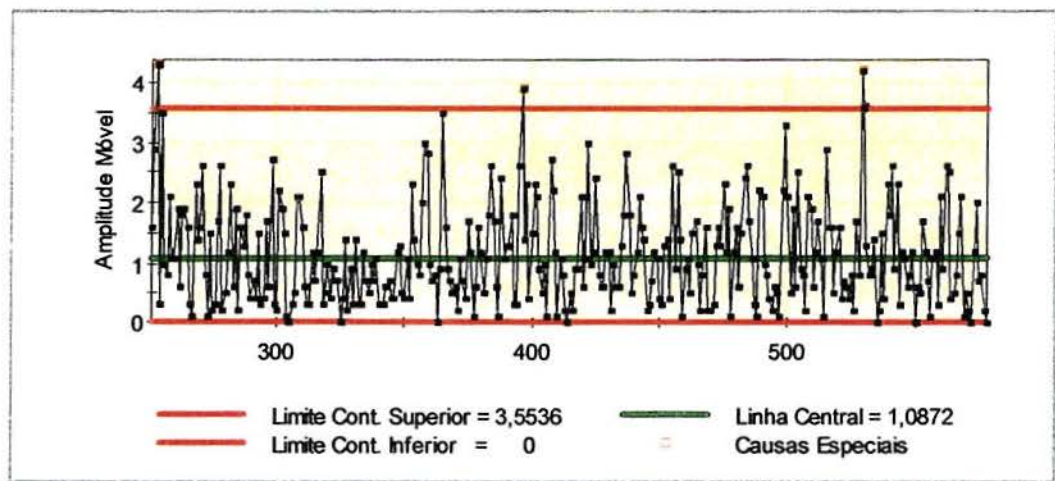


Figura 22. Carta de controle da amplitude móvel para umidade do farelo preparado (posto 1) no período de 01/08/99 às 00:14hs até 17/08/99 às 19:03hs.

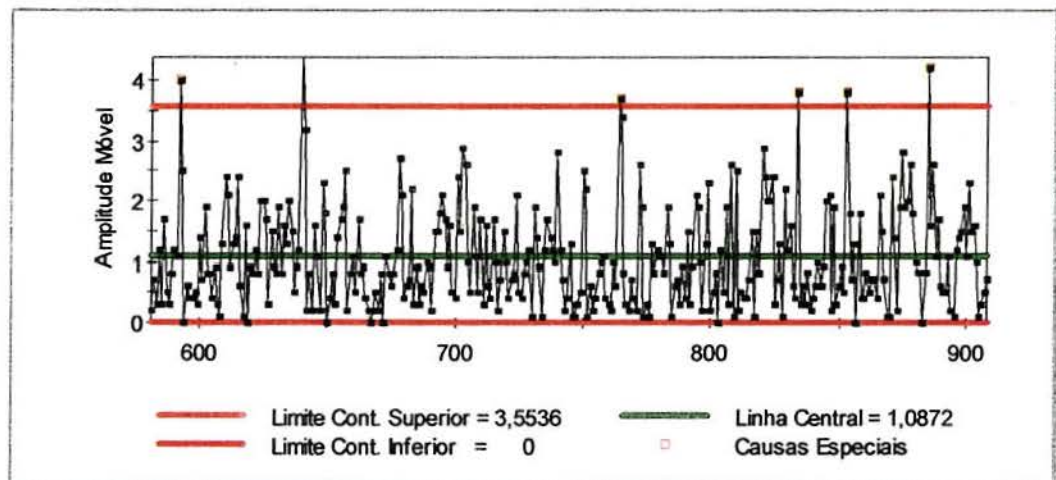


Figura 23. Carta de controle da amplitude móvel para umidade do farelo preparado (posto 1) no período de 17/08/99 às 20:18hs até 01/09/99 às 02:23hs.

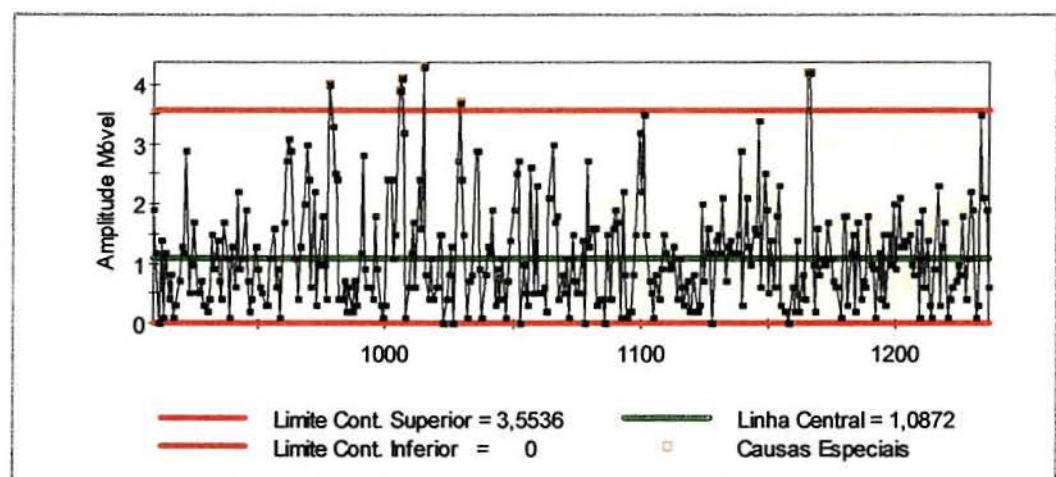


Figura 24. Carta de controle da amplitude móvel para umidade do farelo preparado (posto 1) no período de 01/09/99 às 03:19hs até 15/09/99 às 17:59hs

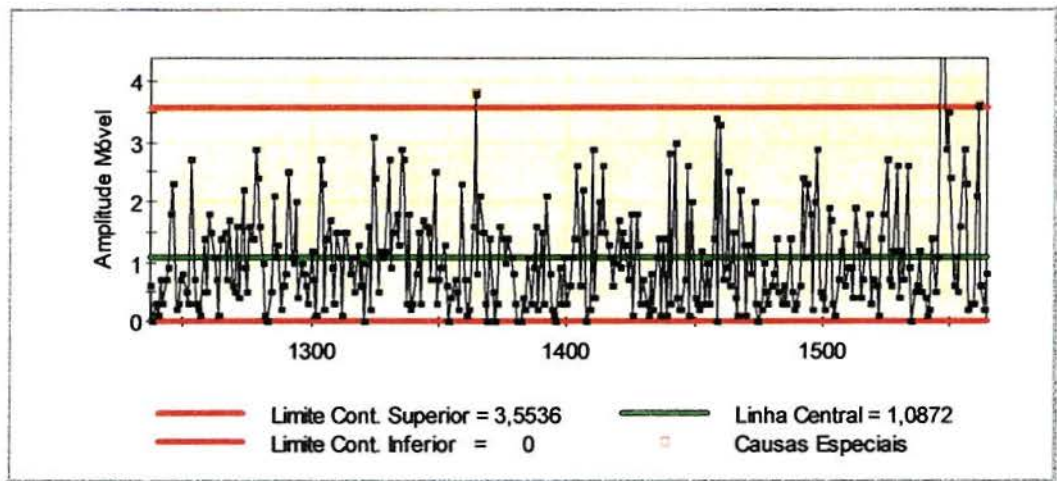


Figura 25. Carta de controle da amplitude móvel para umidade do farelo preparado (posto 1) no período de 15/09/99 às 19:20hs até 30/09/99 às 22:22hs

A evolução temporal das medições de umidade do farelo preparado, apresentada nas Figuras 18 a 25, apontam para um processo gerador dos dados instável no período analisado (ou seja, o processo não está sob controle estatístico). A maioria das causas especiais, marcadas em vermelho nas cartas, são decorrentes de seqüências de pontos acima ou abaixo da linha central. Ou seja, a não-investigação dos padrões de seqüência de pontos acaba por originar causas especiais; isto pode ser atribuído a falta de ação corretiva dos operadores.

Os problemas associados às causas especiais foram documentados no diário de bordo, sendo a maioria originados por queda de vapor e/ou energia. As diferenças nas características de qualidade das matérias-primas originam a alta variabilidade das causas comuns existentes no processo.

A partir do estudo das cartas de controle e eliminação das causas especiais, iniciou-se a interpretação da capacidade do processo para a característica umidade do farelo preparado (posto 1), conforme Figura 26.

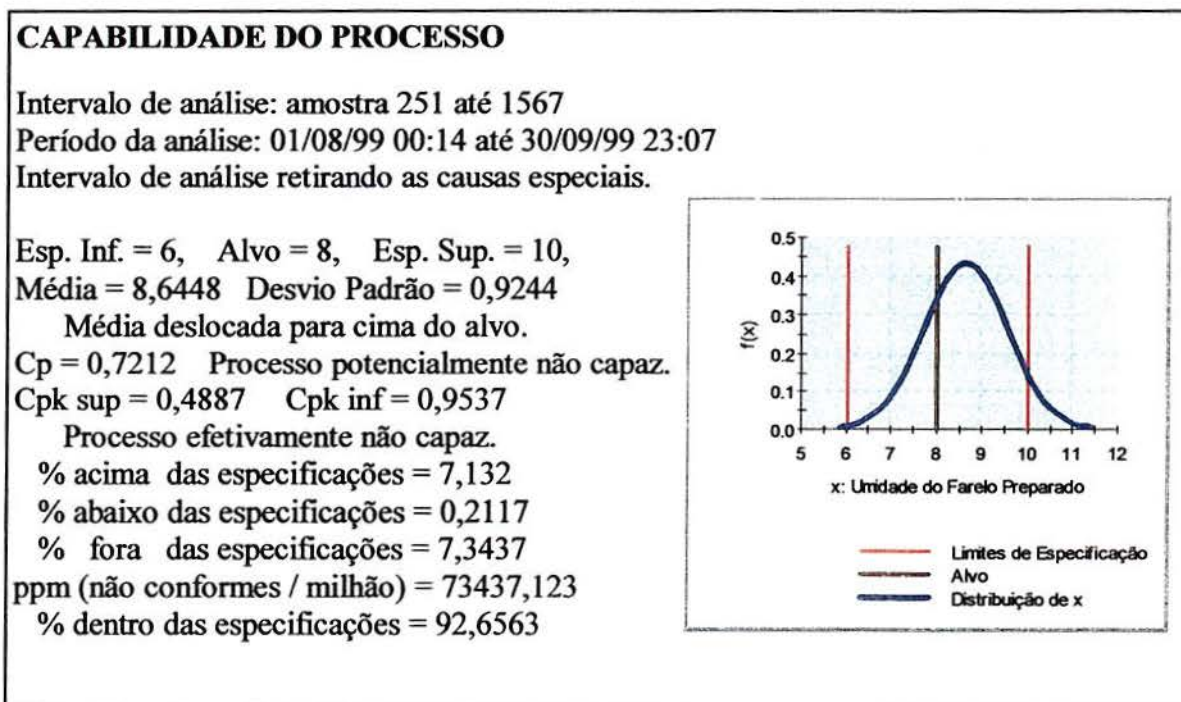


Figura 26. Análise da capacidade do processo para umidade do farelo preparado (posto 1).

Através da análise da capacidade da umidade do farelo preparado, constatou-se que o processo não é capaz de atender às especificações do cliente. Em outras palavras, a variabilidade dos dados devido às causas comuns de variação é maior do que a amplitude das especificações do produto. Também verifica-se que o valor de C_{pk} é menor que o valor de C_p , indicando um processo descentrado. O percentual de umidade de 7,132% acima das especificações deve ser analisado cuidadosamente, já que o farelo é enviado à extração (posto 2) e, apresentando umidade acima da especificação, dificulta a extração do óleo, aumentando o residual de gordura no farelo. Vale a pena ressaltar que, como o processo é instável, o estudo de capacidade realizado apenas representa os dados históricos do processo, não podendo ser usado para previsões futuras.

Na Figuras 27 e 28, apresentam-se as cartas de controle para a característica de qualidade "residual de gordura do farelo do DT" (posto 2).

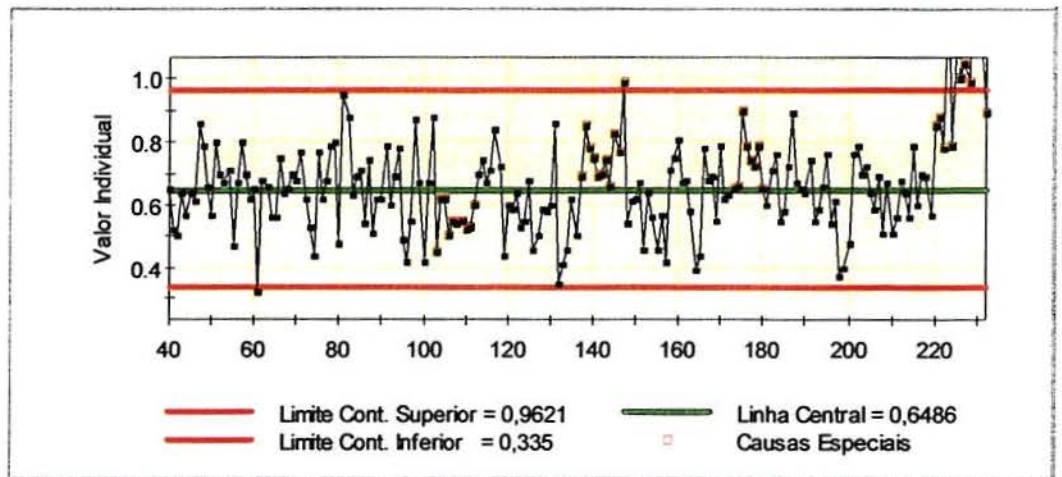


Figura 27. Carta de controle do residual de gordura do farelo do DT no período de 01/08/99 às 00:00 hs até 30/09/99 às 15:00 hs.

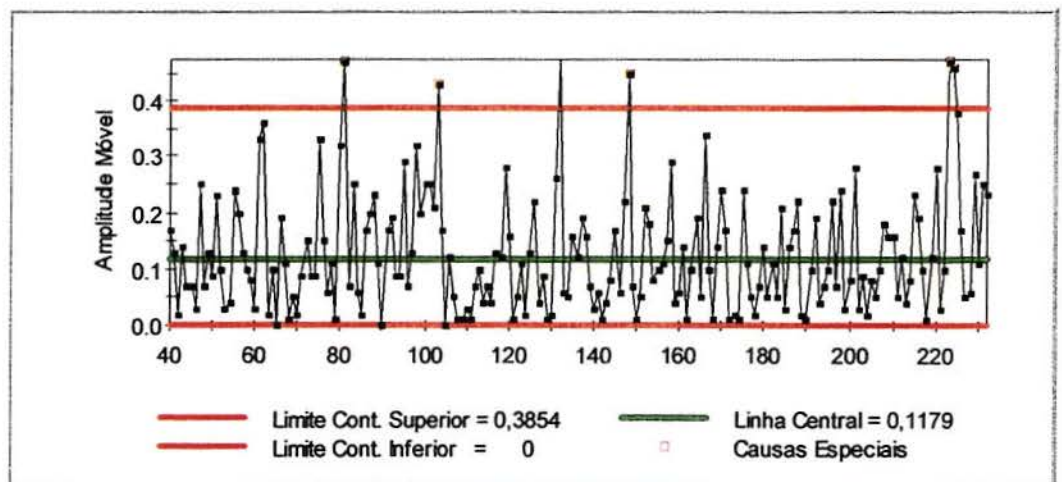


Figura 28. Carta de controle para amplitude móvel do residual de gordura do farelo do DT no período de 01/08/99 às 00:00 hs até 30/09/99 às 15:00 hs

As cartas da Figura 27 e 28 evidenciam um processo instável, relativamente à característica de qualidade em estudo. Durante os primeiros quinze dias de avaliação, o processo apresentou-se sob controle estatístico, não apresentando pontos fora dos limites de controle. Com o passar dos dias de trabalho, de acordo com os dados coletados, identifica-se a presença de várias seqüências de pontos acima e abaixo da linha central. A partir da amostra de número 220 da carta de valores individuais,, verificaram-se valores anormais de residuais de gordura. Estas anomalias ocorreram devido à falha em um equipamento primário para a extração de gordura do farelo de arroz.

A partir do estudo das cartas de controle e eliminação das causas especiais, iniciou-se a interpretação da capacidade do processo para a característica residual de gordura do farelo do DT (posto 2), conforme Figura 29.

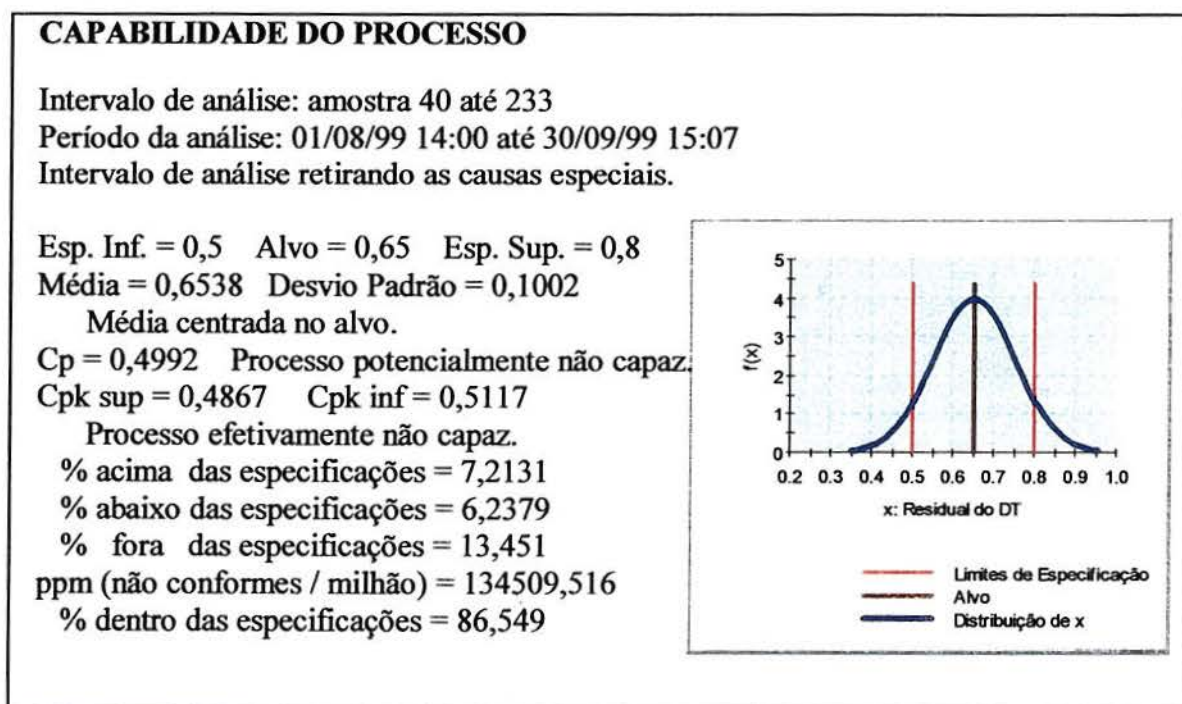


Figura 29. Análise da capacidade do processo para Residual do gordura do farelo do DT (posto 2).

Através da análise da capacidade do residual de gordura do farelo do DT, constatou-se que o processo não é capaz de atender às especificações do cliente, além de encontrar-se descentrado ($C_{pk} < C_p$). No entanto, centrar o processo não é suficiente para torná-lo capaz; também é necessário reduzir as causas comuns de variabilidade incidentes sobre o processo.

O percentual acima das especificações pode ser atribuído a vários fatores, como matéria-prima (farelo preparado) com alto teor de umidade e impurezas e grau de pureza do solvente, entre outros. Este percentual elevado de residual de gordura deve ser analisado, pois um percentual acima das especificações beneficia o cliente mas prejudica a empresa, já que o óleo não extraído para produção de semi-refinado é comercializado no farelo peletizado, a um preço bastante inferior. Logo, para o benefício de clientes e empresa, o valor-alvo de gordura residual no farelo deve ser observado para minimizar a perda financeira imposta à sociedade. Mais uma vez, é

importante ressaltar que, estando o processo em análise instável, o estudo de capacidade realizado representa os dados históricos do processo, não podendo ser usado para fins de previsões futuras.

As cartas de controle para a característica acidez do óleo semi-refinado (posto 3) encontram-se subdividida nas Figuras 30 a 37.

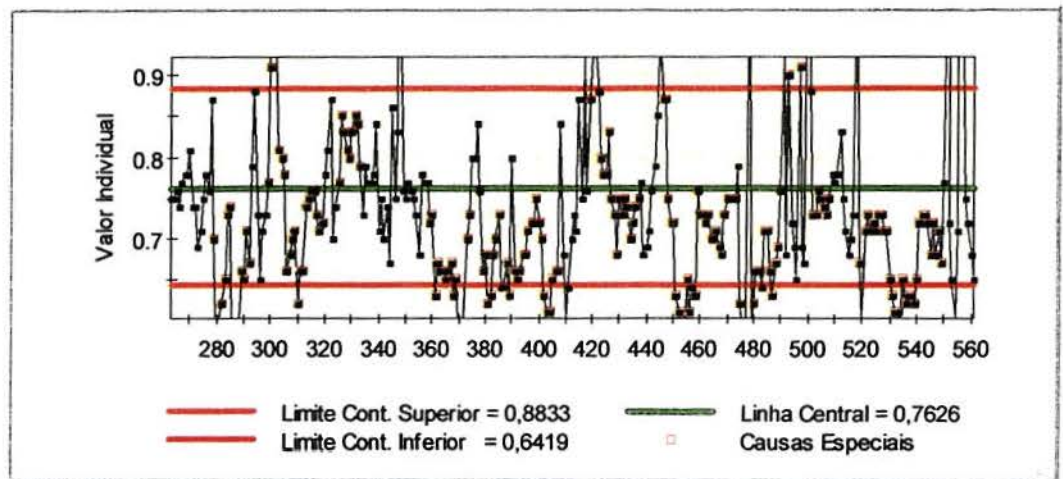


Figura 30. Carta de controle da acidez do óleo semi-refinado (posto 3) no período de 01/08/99 às 00:51 hs. até 16/08/99 às 8:18 hs.

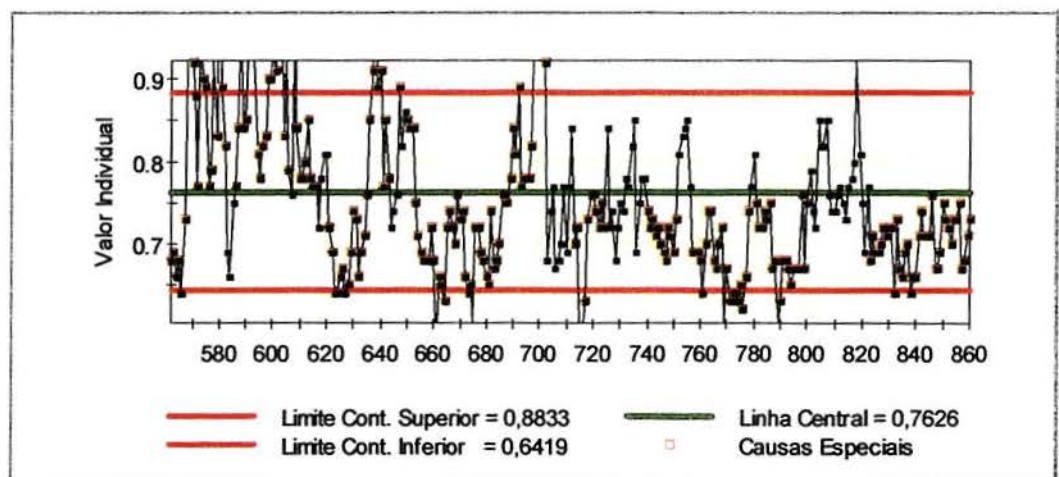


Figura 31. Carta de controle da acidez do óleo semi-refinado (posto 3) no período de 16/08/99 às 08:51 hs. até 30/08/99 às 1:45 hs.

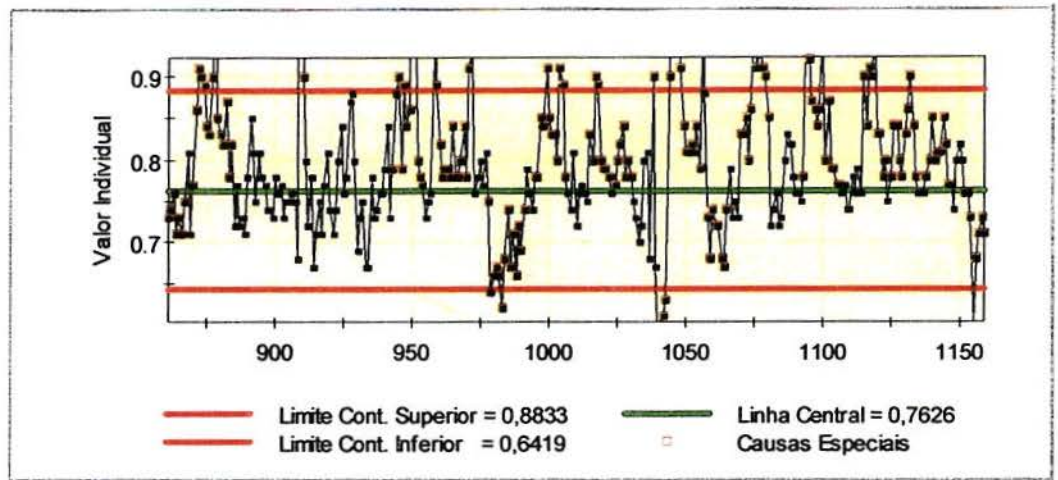


Figura 32. Carta de controle da acidez do óleo semi-refinado (posto 3) no período de 30/08/99 às 02:47 hs. até 12/09/99 às 3:55 hs.

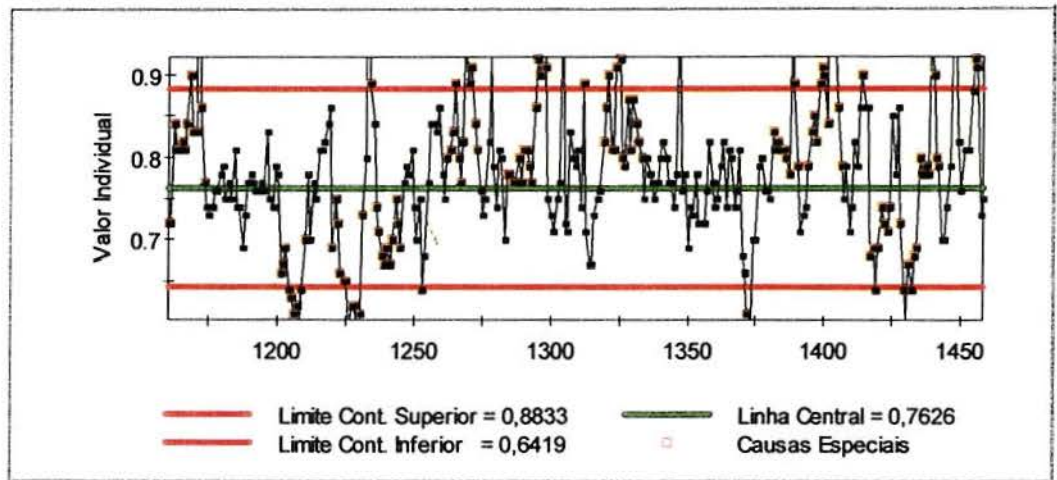


Figura 33. Carta de controle da acidez do óleo semi-refinado (posto 3) no período de 12/09/99 às 04:59 hs. até 30/09/99 às 20:48 hs.

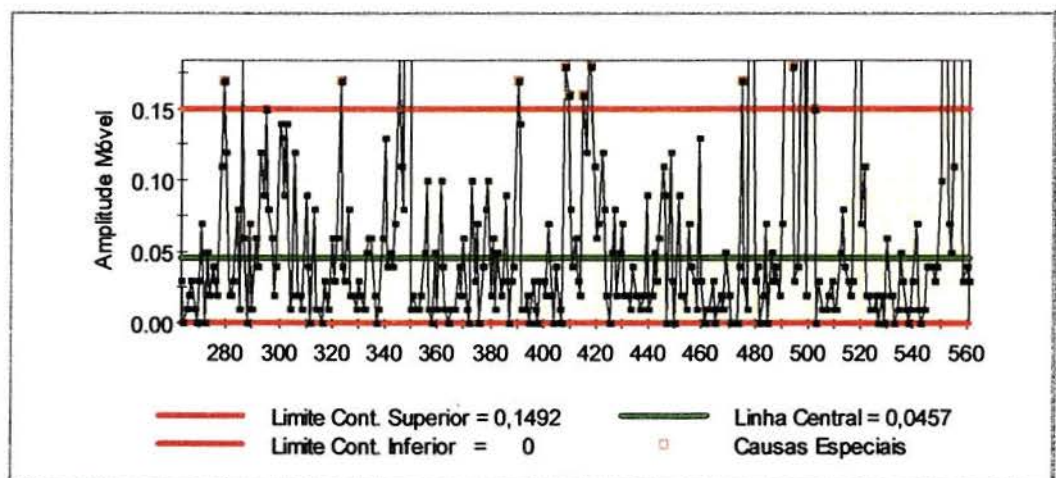


Figura 34. Carta de controle para amplitude móvel da acidez do óleo semi-refinado (posto 3) no período de 01/08/99 às 00:51 hs. até 16/08/99 às 08:18 hs

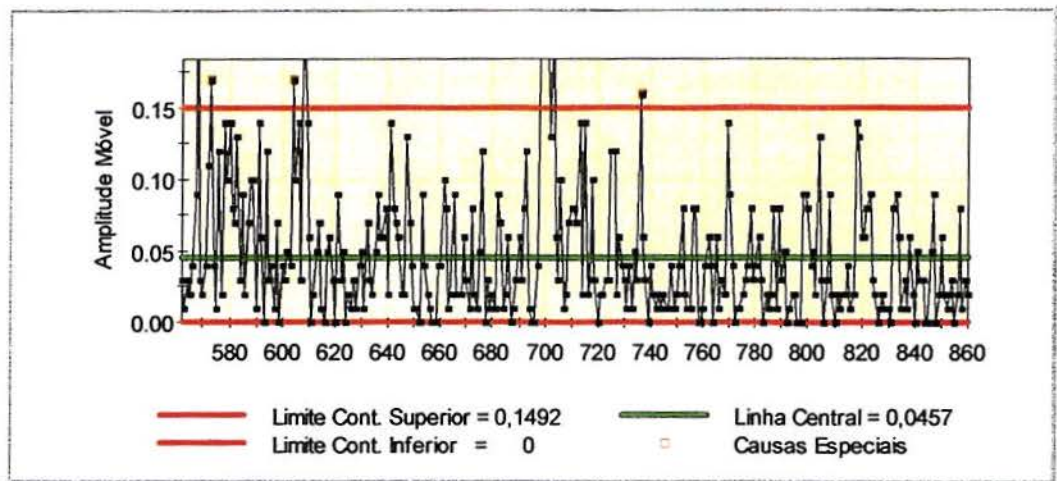


Figura 35. Carta de controle para amplitude móvel da acidez do óleo semi-refinado (posto 3) no período de 16/08/99 às 08:51 hs. até 30/08/99 às 1:45 hs

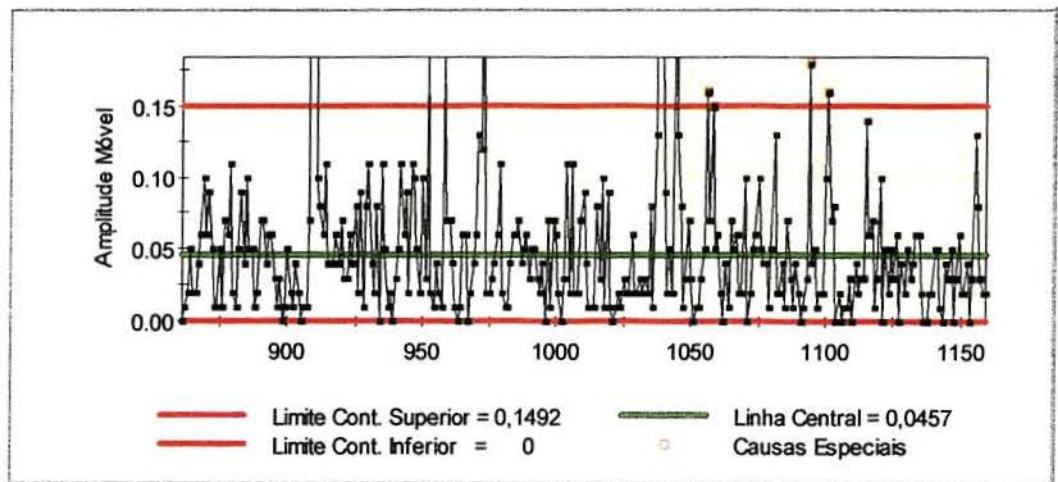


Figura 36. Carta de controle para amplitude móvel da acidez do óleo semi-refinado (posto 3) no período de 30/08/99 às 02:47 hs. até 12/09/99 às 3:55 hs

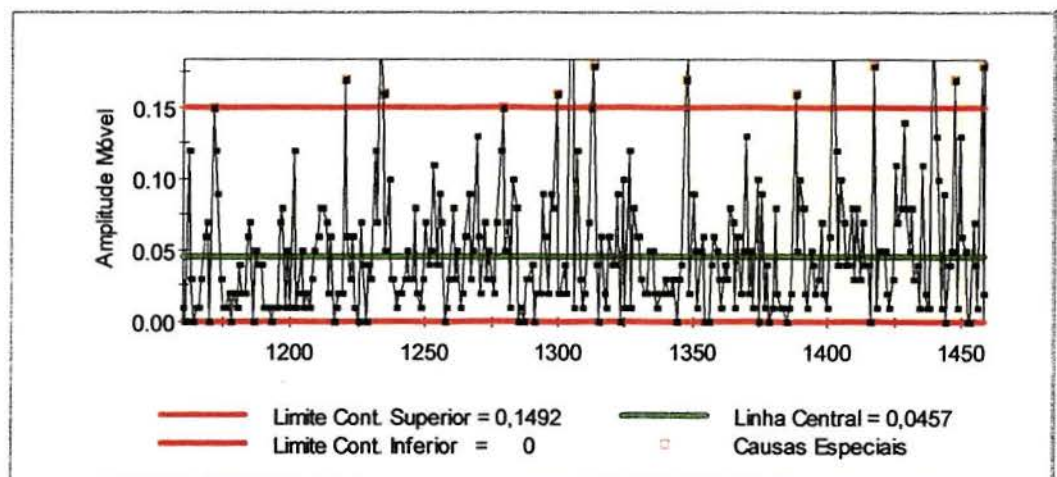


Figura 37. Carta de controle para amplitude móvel da acidez do óleo semi-refinado (posto 3) no período de 12/09/99 às 04:59 hs. até 30/09/99 às 20:48 hs

De acordo com as Figuras 30 a 37, verifica-se que o processo gerador dos dados encontra-se instável no período analisado. Analisando as cartas de controle da carta de valor individual, constata-se 772 pontos indicando a presença de causas especiais em 1198 dados coletados no período entre Agosto e Setembro de 1999. Essas causas especiais podem ser atribuídas a não-automatização do posto 3 (refinaria), com equipamentos ajustados pelos operadores a partir dos resultados obtidos no laboratório de controle de qualidade. Assim, quando parâmetros de processo são modificados (por exemplo, o percentual de vapor no 2º estágio do neutralizador), somente após horas de trabalho avaliam-se os resultados das modificações. No período transcorrido entre a ação sobre o processo e a constatação dos efeitos da ação sobre as características de qualidade monitoradas, inúmeras causas especiais podem ocorrer.

Um outro provável fator gerador de instabilidade no processo é dado pela qualidade irregular das matérias-primas (no caso específico das cartas nas Figura 30 a 37, o percentual de acidez apresentado por diferentes farelos de arroz). Por tratar-se de um posto de difícil atuação e controle, a variação na qualidade das matérias-primas pode resultar em longos períodos de descontrole estatístico.

A partir do estudo das cartas de controle e eliminação das causas especiais, procedeu-se uma interpretação da capacidade do processo para a característica de qualidade acidez do óleo semi-refinado (posto 3), conforme apresentado na Figura 38.

CAPABILIDADE DO PROCESSO

Intervalo de análise: amostra 263 até 1461

Período da análise: 01/08/99 00:51 até 30/09/99 23:46

Intervalo de análise retirando as causas especiais.

Esp. Sup. = 0,8

Média = 0,7552 Desvio Padrão = 0,037

Cpk sup = 0,404

Processo efetivamente não capaz

% acima das especificações = 11,2722

ppm (não conformes/milhão) = 11271,72

% dentro das especificações = 88,7278

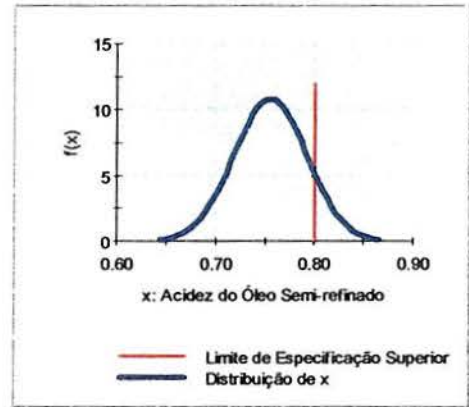


Figura 38. Análise da capacidade do processo para acidez do óleo semi-refinado (posto 3).

Através da análise de capacidade da acidez do óleo semi-refinado (Figura 38), constatou-se que o processo não é capaz de atender às especificações do cliente, sendo necessária uma redução na variabilidade do teor de acidez do óleo semi-refinado. Por tratar-se de uma característica de qualidade do tipo menor-é-melhor, o percentual acima da especificação deve ser minimizado, já que pode afetar diretamente o cliente final, além de gerar retrabalho para o fabricante. O caráter instável do processo, permite utilizar o estudo de capacidade apenas como representação dos dados históricos de processo, e não para previsões futuras.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

Esta dissertação apresentou a implantação do controle estatístico de processos em uma empresa de manufatura de óleo de arroz. A implantação do CEP na empresa visa a satisfação do cliente, através do monitoramento e garantia da qualidade das variáveis envolvidas na obtenção do produto final.

O sucesso do controle estatístico de processos depende de vários fatores. Dentre eles, destacam-se o apoio total da gerência, treinamento, desenvolvimento do quadro de funcionários, comprometimento das pessoas envolvidas nos processos, e principalmente, tomada de ações corretivas na ocorrência de causas especiais.

O apoio da gerência deve-se verificar 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 etapa de definição do projeto envolve a definição dos objetivos, cronograma, equipe de trabalho e lançamento do projeto. A etapa de planejamento da implantação envolve o desdobramento da qualidade e dos processos, direcionamento das ações, identificação dos postos de controle e variáveis a serem monitorados em cada posto de trabalho, definição dos critérios de classificação dos produtos (filtros), detalhamento dos parâmetros e características de qualidade do processo, definição do procedimento de coleta de dados, avaliação do sistema de medição, definição das responsabilidades, além da definição da documentação necessária.

A etapa de treinamento envolve gerentes, supervisores e operadores, e contempla duas etapas, uma teórica e outra prática, baseado no uso de *software*. A etapa de implantação efetiva envolve o início do monitoramento e cálculo dos limites de controle. A etapa de acompanhamento e consolidação envolve a identificação de possíveis melhorias nos processos produtivos.

No estudo de caso apresentado, comparou-se a média medida em três características de qualidade, selecionada de três postos de controle distintos na linha de produção, antes e após a implantação do controle estatístico e em turnos de trabalho distintos; a técnica de análise utilizada foi a análise de variância (ANOVA). Os postos 1 e 2 foram afetados positivamente pela implantação do CEP, apresentando redução da média de suas características de qualidade antes de depois da implantação. A equipe de projeto atribuiu os resultados obtidos nos postos 1 e 2 ao esforço e comprometimento dos trabalhadores na busca da otimização e melhorias do processo.

Através do monitoramento das características de qualidade priorizadas com o auxílio das matrizes do QFD, realizaram-se estudos de estabilidade e capacidade para uma característica de qualidade em cada posto de trabalho do estudo de caso.

Nos postos 1, 2 e 3, relativamente as características de qualidade umidade do farelo preparado, residual de gordura do farelo do DT e acidez do óleo semi-refinado, respectivamente, verificou-se que os processos apresentaram-se instáveis no período analisado, após a implantação do CEP (agosto e setembro/99). Para a característica umidade do farelo preparado (posto 1), identificou-se a falta de investigação em padrões de seqüência de pontos, e decorrente falta de ação corretiva por parte dos operadores, como responsável por causas especiais. Para a característica

residual de gordura do farelo do DT (posto 2), constataram-se várias seqüências de pontos anormais causadas devido à falha de um equipamento primário para a extração de óleo. Para a característica acidez do óleo semi-refinado (posto 3), identificou-se que devido aos processos não serem automatizados, os operadores não recebem *feedback* sobre o efeito de modificações no processo em tempo hábil que evite a ocorrência de causas especiais.

Estudos de capacidade foram realizados para as características umidade do farelo preparado (posto 1), residual de gordura do DT (posto 2) e acidez do óleo semi-refinado (posto 3). Nenhum dos estudos apresentou processos capazes de atender às especificações das características de qualidade analisadas.

Em resumo, verificou-se que com a implantação do CEP nos postos 1 e 2 foram obtidas melhorias e otimização dos processos, atribuídas majoritariamente a facilidade de atuação sobre os processos nestes postos de trabalho. No posto 3, todavia, devido a falta de automatização dos processos, dificuldade de atuação e variabilidade de matérias-primas, os processos foram menos beneficiados com a introdução das cartas de controle.

Os resultados não satisfatórios obtidos no estudo de caso também podem ser atribuídos à falta de cultura de qualidade na empresa, bem como à falta de formalização de um grupo de apoio à qualidade que auxiliasse em soluções de ações corretivas e preventivas.

A seqüência de etapas apresentadas para a implantação do controle estatístico de processos pode auxiliar empresas na busca da satisfação do cliente através da otimização de seus processos, garantia de qualidade de seus processos produtivos e, com isso, qualidade dos produtos manufaturados.

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;

- c) Estudos de outras técnicas e ferramentas de otimização para processos contínuos, como, por exemplo, o projeto de experimentos e as técnicas de otimização multivariada.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- AIAG – Automotive Industry Action Group. *QS 9000 – Manual de Referência*. IAQ (Instituto de Qualidade Automotiva): São Paulo, 1997.
- AKAO, Y. *Quality Function Deployment: integrating customer requirements into product design*. Cambridge: Productivity Press, 1990.
- AMATO, G.W., PINKOSKI, P.I., OLIVERAS, L.Y., PFINGSTAG, A.R. & GUINDANI, A.C. *Cor na parboilização do arroz*. Porto Alegre: Editora CIENTEC, 1990.
- BAILEY, A.E. *Aceites y Grasas Industriales*, 2a ed. Barcelona: Editora Reverté, 1951.
- BARBER, S. & BARBER, C.B. Basic and Applied Research Needs for Optimizing Utilization of Rice Bran as Food and Feed. *Proceedings of the Rice By-products Utilization International Conference*. Vol. IV, 1-100. Valência: Espanha, 1974.
- 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. *Produto & Produção*. Vol. IV, 22-39. Porto Alegre, 2000.
- 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.

- DUNCAN, A.J. *Quality Control and Industrial Statistics*. 5a ed. Chicago: Irwin, 1986.
- EUREKA, W.E. & RYAN, N.E. *QFD – Perspectivas gerenciais do Desdobramento da Função Qualidade*. Rio de Janeiro: QualityMark Editora, 1993.
- FREUND, J. & SIMON, R. E. *Modern Elementary Statistics*, 9th Ed. New York: Prentice-Hall, 1997.
- GRANT, E.L. & LEAVENWORTH, R.S. *Statistical Quality Control*, 7th Ed. New York: McGraw-Hill, 1996.
- GUPTA, H.P. *Effect of Stabilization on the Quality Characteristics of Rice-Bran Oil*. JAOCS, 66 (5), 661-663, 1989.
- HRADESKY, J.L. *Productivity & Quality Improvement – A Practical Guide to Implementing Statistical Process Control*. New York: McGraw-Hill, 1988.
- ISHIKAWA, K. *Introduction to Quality Control*. Tokyo: 3A Corporation, 1990.
- JOHNSON, T. The relationship of Cpm to squared error loss. *Journal of Quality Technology*, 24(4), 211-215, 1992.
- JULIANO, B.O. *Rice: Chemistry and Technology*, 2nd Ed. St.Paul, Minn., USA: American Association of Cereal Chemists, 1985.
- KANE, V.E. Process capability indices. *Journal of Quality Technology*, 18, 41-52, 1986.
- KUME, H. *Métodos Estatísticos para melhoria da Qualidade*. São Paulo: Editora Gente, 1993.
- MICROSOFT EXCEL versão 97. *Manual do Usuário*. Redmond (WA): Microsoft Co., 1997.
- MONTGOMERY, D.C. *Introduction to Statistical Quality Control*, 3rd Ed., New York: John Wiley, 1996.
- MOOD, A.F., GRAYBILL, F.A. & BOES, D.C. *Introduction to the Theory of statistics*, 3rd Ed. New York: McGraw-Hill, 1974.

- MORETTO, E. & FETT, R. *Tecnologia de Óleos e Gorduras Vegetais na Indústria de Alimentos*. São Paulo: Livraria Varela, 1998.
- PITT, H. *SPC for rest of us: a personal path to Statistical Process Control*. Massachusetts: Addison-Wesley, 1994.
- PROCEP versão 3.01. *Manual do usuário*. Porto Alegre: Maxxi Gestão Empresarial, 1999.
- RIBEIRO, J. L. e ECHEVESTE, M. E. *Desdobramento da Qualidade em uma Empresa de Calçados - Relatório Técnico 03/96 - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia – Porto Alegre: UFRGS, 1996.*
- 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, 1998.
- 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, 1998.
- ROESCH, S.M.A. A dissertação de mestrado em administração: Proposta de uma tipologia. *Série Documentos para Estudo 14/94*. Programa de Pós-graduação em Administração, Porto Alegre: UFRGS, 1994.
- ROSS, S. *A First Course in Probability*, 3rd Ed. New York: Mac Millan College, 1994.
- SEARLE, S.R., CASELLA, G. & McCULLOCH, C.E. *Variance Components*. New York: John Wiley, 1992.
- 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.
- SWERN, D. *Bailey's industrial oil and fat products. v.1*, 4th Ed. New York: John Wiley, 1979.

VITERBO, Jr., E. *ISO 9000 na Indústria Química e de processos*. Rio de Janeiro: Quality Mark, 1996.

WERKEMA, M.C.C. *Análise de Variância: Comparação de várias situações*. Belo Horizonte – MG. Fundação Christiano Ottoni, 1996.