

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Fabio Almas

**IMPLEMENTAÇÃO DE CONTROLE ESTATÍSTICO
DE PROCESSOS EM UMA EMPRESA TÊXTIL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de *Mestre em Engenharia de Produção*

Orientador: Prof. Pedro Paulo Balestrassi, Dr.

Itajubá
2003

A446i

Almas, Fabio

Implementação de controle estatístico de processos em uma empresa têxtil / por Fábio Almas ; orientado por Pedro Paulo Balestrassi. -- Itajubá (MG) : UNIFEI, 2003.

120 p. il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Controle Estatístico de Processos - CEP. 2. Empresa Têxtil. I. Balestrassi, Pedro Paulo, orient. II. Universidade Federal de Itajubá. III. Título.

CDU 658.56(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Fabio Almas

**IMPLEMENTAÇÃO DE CONTROLE ESTATÍSTICO
DE PROCESSOS EM UMA EMPRESA TÊXTIL**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 10 de dezembro de 2003, conferindo ao autor o título de *Mestre em Engenharia de Produção*

Banca Examinadora:

Prof. Pedro Paulo Balestrassi, Dr. (Orientador)

Prof. José Roberto Alves de Mattos, Dr.

Prof. Luiz Gonzaga Mariano de Souza, PhD.

Itajubá
2003

Dedicatória

A minha esposa Flaviane pelo apoio, compreensão e estímulo constante.

A minha mãe Neusa por acreditar e me auxiliar por todos estes anos.

Aos meus filhos Bruno e Luíza que sempre me serviram de fonte inspiradora para a busca deste ideal.

Agradecimentos

- Ao professor Pedro Paulo Balestrassi pela valiosa orientação recebida durante a realização deste trabalho, pelo estímulo, amizade e apoio em todos os momentos.
- A todos os familiares e amigos que sempre estiveram ao meu lado me incentivando para que eu prosseguisse.
- A UNIFI do Brasil Ltda., por abrir suas portas e permitir a realização deste trabalho.
- A todos os funcionários da empresa pela sua amizade e valiosa colaboração durante a realização deste trabalho.
- A todos os professores da Pós-Graduação em Engenharia de Produção que direta e indiretamente contribuíram para a minha formação.
- Aos meus amigos e colegas do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, pelos bons momentos de convivência.

Sumário

Lista de Figuras	VIII
Lista de Tabelas	X
Resumo	1
Abstract	2
1. INTRODUÇÃO	3
1.1. Tema e Problema da Pesquisa	3
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo Geral	4
1.2.2. Objetivos Específicos	4
1.3. Justificativa	5
1.4. Método de Pesquisa	6
1.5. A Estrutura do Trabalho	7
1.6. As Limitações do Trabalho	8
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1. Introdução	9
2.2. A Qualidade e suas Características	9
2.2.1. Qualidade	9
2.2.2. Avaliação e Características da Qualidade	11
2.3. Controle de Processos	12
2.3.1. Processo	12
2.3.2. Variabilidade	13
2.4. Controle Estatístico de Processos	15
2.5. Gráficos de Controle	17
2.5.1. Introdução aos Gráficos de Controle	17
2.5.2. Planejamento de um Gráfico de Controle	24
2.5.3. Tipos de Gráficos de Controle	28
2.5.4. Gráficos de Controle para Variáveis	32
2.6. Capabilidade de Processo	40
2.7. Tempo Médio de Detecção ou ARL	50
3. ROTEIRO PROPOSTO PARA IMPLANTAÇÃO DO CEP	51
4. APLICAÇÃO DO MODELO	58
4.1. A Empresa	58
4.2. O Produto	59
4.3. O Processo	62
4.3.1. O Processo de Texturização	63
4.4. Definição da Área de Estudo e Escolha de Variáveis	65
4.5. As Variáveis de Análise	67
4.6. Formação da Equipe de Trabalho	72
4.7. Elaboração do Sistema de Coleta de Dados	73
4.8. Montagem do Sistema de Controle	79
4.9. Análise dos Gráficos de Controle	87
4.10. Análise da Capabilidade do Processo	96
4.11. Avaliação do Sistema de Controle	98

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	100
5.1. Conclusões	100
5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
ANEXOS	107
A.1. Fatores para Construção dos Gráficos de Controle	107
A.2. Gráficos de Normalidade	108

Lista de Figuras

Figura 2.1: Fontes de variação de um processo	14
Figura 2.2: Gráfico de Controle	19
Figura 2.3: Padrões não aleatórios em CEP	21
Figura 2.4: Limites de controle e advertência	22
Figura 2.5: Amostragem por Subgrupos	25
Figura 2.6: Procedimento para uso de gráficos de controle	31
Figura 2.7: Análise gráfica de capacidade de processo	42
Figura 2.8: Deslocamento de um processo ao longo do tempo	48
Figura 2.9: Representação gráfica do cálculo do Zbench	49
Figura 3.1: Modelo de Implementação da Metodologia DMAIC	52
Figura 3.2: Fluxograma para aplicação do projeto proposto	53
Figura 4.1: “Chips” de poliéster	59
Figura 4.2: Feira	60
Figura 4.3: Bobina de POY	60
Figura 4.4: Bobina de fio texturizado	61
Figura 4.5: Aspecto de fio liso e texturizado	62
Figura 4.6: Fluxograma simplificado do processo produtivo	63
Figura 4.7: Diagrama simplificado do processo de texturização	64
Figura 4.8: Diagrama força versus alongamento	68
Figura 4.9: Dimensões de uma bobina de fio poliéster texturizado	71
Figura 4.10: Tela de entrada de dados	75
Figura 4.11: Mecanismos de detecção de falhas	77
Figura 4.12: Tela de acesso aos gráficos de controle	81
Figura 4.13: Mensagem de alerta sobre restrições do módulo de CEP	83
Figura 4.14: Relatório informatizado de análise de CEP	84
Figura 4.15: Gráficos \bar{X} e S para a variável Título	88
Figura 4.16: Gráficos \bar{X} e S para a variável Tenacidade	89
Figura 4.17: Gráficos \bar{X} e S para a variável Alongamento	90
Figura 4.18: Gráficos \bar{X} e S para a variável Encolhimento	91
Figura 4.19: Gráficos \bar{X} e S para a variável Percentual de Óleo	92
Figura 4.20: Gráficos \bar{X} e S para a variável Torque	93

Figura 4.21: Gráficos \bar{X} e S para a variável Entrelaçamento	94
Figura 4.22: Gráficos \bar{X} e S para a variável Densidade	95
Figura 4.23: Análise de capacidade da variável Título	97
Figura 4.24: Análise de capacidade da variável Título – Módulo Seis Sigma	98
Figura A.1: Gráfico normal probabilístico para a variável Título	108
Figura A.2: Gráfico normal probabilístico para a variável Tenacidade	108
Figura A.3: Gráfico normal probabilístico para a variável Alongamento	109
Figura A.4: Gráfico normal probabilístico para a variável Percentual de Óleo	109
Figura A.5: Gráfico normal probabilístico para a variável Encolhimento	110
Figura A.6: Gráfico normal probabilístico para a variável Torque	110
Figura A.7: Gráfico normal probabilístico para a variável Entrelaçamento	111
Figura A.8: Gráfico normal probabilístico para a variável Retenção 3%	111
Figura A.9: Gráfico normal probabilístico para a variável Retenção 5%	112
Figura A.10: Gráfico normal probabilístico para a variável Densidade	112

Lista de Tabelas

Tabela A.1: Fatores para construção dos gráficos de controle para variáveis	107
---	-----

Resumo

Almas, Fabio. **Implementação do Controle Estatístico de Processos em uma Empresa Têxtil**. 2003. 147f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UNIFEI, Itajubá.

Este trabalho mostra a implantação do Controle Estatístico de Processo (CEP) numa indústria têxtil cuja principal atividade é a texturização de filamentos de poliéster. O objetivo principal é avaliar o processo produtivo, possibilitando identificar oportunidades de melhoria da qualidade.

Baseado em estudo bibliográfico, o trabalho apresenta os principais conceitos, características e técnicas do Controle Estatístico de Processo, de modo a proporcionar uma base teórica para o desenvolvimento do trabalho. Na seqüência é apresentada a metodologia de implantação do CEP, adaptada à realidade da empresa de forma a facilitar a sua adoção e manutenção.

O modelo proposto foi aplicado ao laboratório da empresa, que por estar estreitamente relacionado com a qualidade do produto, apresenta grande importância tanto no contexto da organização, como para os clientes.

Como ferramenta de apoio ao sistema de CEP, foi desenvolvido um sistema computacional, que opera desde a coleta e armazenamento, até a elaboração dos gráficos de controle e análise de capacidade. Tal ferramenta proporcionou a todos os envolvidos no sistema de coleta e análise um meio de identificação *on-line* de desvios de processo.

Os resultados obtidos a partir da metodologia proposta mostraram que, mesmo o processo operando dentro das especificações com boa capacidade, a maioria das variáveis encontram-se fora de controle, indicando que deve ser realizado um acompanhamento sistemático de todo o processo com objetivo de melhorar a *performance* dos produtos.

Finalmente são apresentadas sugestões para melhoria do processo, visando a diminuição da variabilidade e facilitando assim a implantação do projeto nas demais etapas de controle da empresa.

Palavras-chave: Controle Estatístico de Processo, Texturização, Poliéster.

Abstract

Almas, Fabio. **Implementação do Controle Estatístico de Processos em uma Empresa Têxtil**. 2003. 107p. Thesis (Industrial Engineering) – Graduate Program, UNIFEI, Itajubá.

This study demonstrates the implantation of the Statistical Process Control in a textile industry, which main activity is the polyester filaments texturing. The main objective is to evaluate the productive process enabling identify improvement opportunities of the quality.

Based on a bibliographical study, it introduces the main concepts, characteristics and techniques of the Statistical Process Control, so as to provide a theoretical base for the work's development. In the sequence it is presented the implantation's methodology of the Statistical Process Control, adapted to the reality of the company, to facilitate its adoption and maintenance.

The proposed model was applied to the company's laboratory, which for being narrowly related to the quality of the product offers a great importance to the context of the organization and customers.

As a support tool to the SPC system, it was developed an information system that operates for the data collection and storage, to the elaboration of the control graphs and capability analysis.

This tool offers a way of on-line identification of the process deviation, to those involved in the collection and analysis system.

The results obtained from the proposed methodology showed that even with the process operating within great capability, most variables are out of control, indicating that it should be performed a systematic monitoring of the whole process to improve the performance of the products.

Finally suggestions for the improvement of the process are presented, aiming the decrease of the variability, thus facilitating the implantation of the project in the other company's control stages.

Key-words: Statistical Process Control, Texturing, Polyester.

1.1. TEMA E PROBLEMA DA PESQUISA

No atual contexto de competição, intensificado principalmente pela abertura de mercado e pela globalização, mais do que nunca as empresas vêm buscando maneiras de diferenciar-se de concorrentes, procurando melhorar as potencialidades de seus processos de fabricação de forma a satisfazer as necessidades dos clientes de modo rápido e eficiente, garantindo assim sua perenidade no mercado.

É fato que aumentar a produtividade ou a competitividade de uma organização não se restringe unicamente a aumentar a quantidade produzida. É necessário que o produto cada vez mais tenha características de qualidade que atendam e até ultrapassem as necessidades dos clientes. Para este fim, uma das principais tendências observadas atualmente está relacionada à disseminação dos conceitos da melhoria da qualidade, não apenas para as operações ligadas diretamente com o produto, mas para todas as atividades da empresa. Em outras palavras, é preciso avaliar a qualidade do que é produzido, mensurar variações e atuar diretamente em índices de produtividade, de forma a possuir um produto competitivo.

Nesse contexto a estatística, ou mais especificamente as técnicas de controle estatístico de processos, vêm sendo amplamente adotadas pelas organizações como uma das principais ferramentas para a melhora da qualidade e redução de custos associados às falhas de processo e a retrabalhos.

O presente trabalho será conduzido na empresa UNIFI do Brasil Ltda., cuja principal atividade é a texturização de fios de poliéster fornecidos principalmente para o mercado têxtil brasileiro. São abordados os vários aspectos do processo de desenvolvimento e aplicação de

técnicas de CEP com o auxílio de sistema automatizado baseado em software para diagnóstico do processo desta indústria têxtil, de modo a melhorar sua *performance* e tornar mais rápida a identificação de desvios potenciais que podem afetar o processo ou a qualidade.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

Implementar técnicas de CEP para monitoramento das variáveis de análises laboratoriais da indústria têxtil UNIFI do Brasil Ltda., como método de identificar possíveis problemas relacionados a estas variáveis que possam interferir no bom andamento do processo produtivo e na qualidade do produto.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar a empresa, seu processo produtivo e seus principais pontos potenciais de melhoria;
- Avaliar os pontos do processo produtivo da empresa passíveis de aplicação de métodos de Controle Estatístico de Processos;
- Avaliar a adequação e aplicabilidade dos principais tipos de cartas de controle às variáveis de interesse;
- Elaborar um sistema de coleta, gerenciamento e análise de dados baseado no aplicativo Excel[®];
- Com base nos resultados obtidos, sugerir mudanças ou melhorias para o processo produtivo, de maneira a estabelecer um sistema que garanta a melhoria contínua da qualidade.

1.3. JUSTIFICATIVA

O mercado têxtil brasileiro foi por muito tempo beneficiado por barreiras comerciais que o protegeram da concorrência dos produtos internacionais, sabidamente de menor custo e maior qualidade. Diante desta situação favorável, grande parte dos produtores nacionais de artigos têxteis nunca se motivaram a adotar políticas de modernização ou qualquer outra ferramenta de melhoria de processos, fazendo com que ao longo dos anos estas empresas ficassem tecnológica e gerencialmente atrasadas.

No início da década de 90 esta situação mudou drasticamente. A economia brasileira foi exposta à concorrência internacional, o que motivou muitas empresas não preparadas à falência e, algumas outras um pouco mais bem preparadas, a mudar suas políticas e investir maciçamente em modernização e melhorias de qualidade e processos. Como se trata de um processo contemporâneo, ainda hoje são raros os exemplos documentados de implementação de sistemas de qualidade bem sucedidos neste ramo industrial.

O conteúdo apresentado neste trabalho é de grande relevância aos envolvidos direta ou indiretamente com o controle de qualidade nas indústrias do setor têxtil brasileiro, pois ainda hoje muitos dos métodos de controle utilizados genericamente nestas empresas são baseados quase que exclusivamente em análises de médias e índices simples de desempenho, que se constituem em técnicas relativamente lentas e ineficientes na identificação de variações ou desvios de processo.

Neste contexto, juntamente com a evolução dos métodos de informática e de análise de dados, as técnicas de CEP vêm se tornando uma das ferramentas mais largamente utilizadas nos processos de melhoria em sistemas manufatureiros, que cada vez mais buscam a qualidade como diferencial competitivo.

Espera-se, com a adoção de técnicas de CEP por intermédio de software, estabelecer um sistema que melhore a confiabilidade e previsibilidade dos índices de desempenho e

qualidade, diminuindo com isto sua variabilidade e aumentando o nível de conhecimento sobre o processo.

1.4. MÉTODO DE PESQUISA

Gil (1993) propõe que as pesquisas ou trabalhos científicos podem ser divididos e classificados de acordo com seus objetivos em três tipos básicos de estudo voltados a buscar uma resposta ou solução para um determinado problema. Estas pesquisas são baseados em métodos descritivos, exploratórios ou explicativos.

Pelo aspecto de análise exposto como objetivo principal do trabalho, o método exploratório é o mais adequado ao desenvolvimento desta pesquisa, pois possibilita o planejamento e a condução da pesquisa de modo flexível.

Na grande maioria das situações este método de busca assume a forma mais específica de pesquisa bibliográfica ou estudo de caso, sendo que este último parece ser o mais apropriado ao contexto deste trabalho.

Em face deste aparato crítico, o presente trabalho se utilizará da metodologia de estudo de caso, onde o caso em estudo é a descrição do método e análise da aplicação de técnicas de CEP na UNIFI do Brasil Ltda., uma empresa têxtil que tem como atividade principal a texturização de filamentos de poliéster.

As definições de Einsenhardt (1989), que descreve o estudo de caso como uma estratégia de pesquisa focada no entendimento da dinâmica presente dentro de uma organização, podendo valer-se de casos simples ou múltiplos, e com inúmeros níveis de análise, e de Yin (1989), que afirma que o estudo de caso se caracteriza pelo estudo detalhado do mundo natural sem a necessidade de comprometimento anterior com qualquer tipo de teoria, são bastante adequadas aos propósitos deste trabalho. Em linhas gerais, este método é

utilizado com objetivos explanatórios, focados originalmente em responder às questões “como” e “porque” colocadas ao nível de pesquisa.

Embora este tipo de técnica apresente como principal inconveniente a dificuldade de se fazer generalizações válidas além do caso individual em estudo, este método parece ser o mais adequado ao propósito de mostrar a realidade desta empresa específica.

1.5. A ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho proposto está estruturado em 6 capítulos, cujos conteúdos resumidos encontram-se a seguir:

- Capítulo 1 – Refere-se à introdução do trabalho, fazendo uma apresentação, a justificativa de sua realização, os objetivos geral e específicos, bem como a estrutura e suas limitações;
- Capítulo 2 – Trata da revisão bibliográfica, contextualizando e apresentando os conceitos de sistema de Controle Estatístico de Processo, sua aplicação em indústrias, suas vantagens e desvantagens e a descrição das principais técnicas estatísticas;
- Capítulo 3 – Expõe a metodologia proposta para a implementação do CEP e o sistema informatizado utilizado para este fim;
- Capítulo 4 – Descreve detalhadamente a aplicação prática do modelo proposto, desde a caracterização da empresa, suas principais atividades e pontos de controle. Enfoca o funcionamento do sistema de informação, coleta e análise de dados, bem como apresenta e avalia os resultados obtidos através dos gráficos de controle e dos índices de capacidade, mostrando os benefícios alcançados através da identificação de pontos negativos e falhas de processo;

- Capítulo 5 – Traz as conclusões e considerações finais sobre o trabalho realizado. São apresentadas propostas para melhoria do processo produtivo e recomendações para trabalhos futuros.

1.6. FRONTEIRAS DO TRABALHO

Pelas próprias limitações impostas pelo método de pesquisa baseadas no estudo de caso, que não exige generalização de resultados, este trabalho se aplica primeiramente a análise das características físicas dos filamentos de poliéster executadas pelo laboratório de controle de qualidade da UNIFI do Brasil Ltda.

A possibilidade de aplicação deste trabalho a outras áreas da empresa, bem como em outras organizações deverá ser analisada cuidadosamente, pois foram levados em conta aspectos peculiares que podem invalidar o modelo proposto para outras situações.

A impossibilidade de aplicação de outras cartas de controle mais sofisticadas ou reaplicar o modelo após a identificação e eliminação das causas especiais de variação também contribuiu como fator limitador para o desenvolvimento e conclusões do trabalho.

Como limitação imposta pela construção do banco de dados utilizados neste trabalho, não foi possível a implementação do cálculo de alguns índices de capacidade como o P_p e P_{pk} no programa de análise estatística.

Capítulo 2: Fundamentação Teórica

2.1 – INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como principal finalidade fornecer a base teórica para a formulação, definição, aplicação e análise das ferramentas da qualidade sugeridas, proporcionando todo o embasamento necessário à execução deste trabalho.

As seções contidas neste capítulo enfocam os seguintes aspectos: a seção 2.2 aborda o conceito generalizado de qualidade e suas principais características; a seção 2.3 trata dos aspectos gerais dos processos e da variabilidade; a seção 2.4 descreve o conceito de CEP; a seção 2.5 expõe os principais tipos de gráficos de controle; a seção 2.6 aborda os conceitos e índices de capacidade de processo; finalmente, a seção 2.7 descreve o índice probabilístico ARL (“*Average Run Length*”).

2.2 – A QUALIDADE E SUAS CARACTERÍSTICAS

2.2.1 – Qualidade

Embora seja um tema amplamente estudado e discutido, a definição do conceito de qualidade ainda é vista como extremamente vasta e abrangente. Por exemplo, Mason e Antony (2000) descrevem qualidade como sendo algo que pode ser definido de muitas maneiras, com diferentes significados, para diferentes pessoas.

Ao analisar as definições de qualidade de vários estudiosos desta área, como Deming (1990), Juran (1995), Feigenbaum (1994), Caplen (1970) e outros, observa-se que há um relativo consenso entre eles ao afirmarem que este termo está intimamente ligado às necessidades e expectativas dos consumidores. É comum a referência à qualidade como sendo

algo relacionado com características intrínsecas do produto, porém, ela ainda pode estar associada a outros fatores não diretamente relacionados, como prazo de entrega, disponibilidade, entre outros.

Por exemplo, Caplen (1970) diz que a qualidade deve estar focada na satisfação das necessidades do cliente, no baixo custo e nos requisitos de tempo de entrega, não necessitando ser encarada como “quanto maior melhor”, se a sua obtenção estiver associada ao aumento de custos ou de prazos de entrega.

Complementarmente à satisfação das necessidades e expectativas dos consumidores, Goh (2000) afirma que no atual mundo altamente competitivo, excelência em qualidade não é mais um luxo, mas sim um requisito fundamental do ponto de vista de ambos, produtores e consumidores. Para ele, independentemente de como a qualidade é definida, ao final ela deve refletir um conjunto universal de critérios, como *performance* adequada, menor variação e mínimo custo. Tal definição associa a qualidade como requisito fundamental à sobrevivência das organizações no mercado atual e, mais do que isso, sugere que exceder as expectativas de qualidade dos consumidores pode ser um diferencial competitivo.

Embora monitorar e garantir a qualidade pareçam ser fatores primordiais à sobrevivência e à manutenção da competitividade da indústria no presente contexto mundial ocasionado pela globalização, foi nos últimos 50 anos que a qualidade e seu gerenciamento foram realmente estudados a fundo, proporcionando o que hoje é conhecido genericamente por Gerenciamento da Qualidade Total.

Por trás da metodologia de Gerenciamento da Qualidade Total existe uma série de diferentes técnicas que podem ser usadas para melhorar a qualidade do produto, sendo o Controle Estatístico de Processo uma das mais amplamente difundidas e aplicadas atualmente. Does et al (1997) reafirma esta proposição ao associar o Controle Estatístico de Processo como uma das mais importantes partes do Gerenciamento da Qualidade Total.

Para Ohshima & Tanigaki (2000) nas indústrias contemporâneas, mais especificamente as de polímeros como a UNIFI, a vantagem competitiva e a qualidade só serão atingidas através da adoção da tecnologia de forma a maximizar o controle de produção das plantas, a *performance* e a segurança de seus produtos.

2.2.2 – Avaliação e Características da Qualidade

Devido a sua natureza e complexidade, a qualidade permite uma gama enorme de métodos e modelos de avaliação. Para Galuch (2002) esta checagem deve ser clara e precisa, centrando-se em primeiro lugar na satisfação do cliente, em segundo na avaliação do processo produtivo e por último no suporte ao processo, o qual tem efeito indireto à produção.

A definição das características relevantes de qualidade de um produto é fator primordial para a implantação de qualquer sistema de qualidade. Deve-se ter bem definidos os pontos chaves do processo para que os esforços sejam gastos no que realmente é importante. Um modo bastante comum de se conhecer quais destas propriedades apresentam maior relevância é ouvindo os consumidores. Geralmente suas reclamações ou sugestões são bons indicativos de fatores relevantes que devem ser considerados como principais. Existem também outras maneiras de se detectar características importantes na definição da qualidade de um produto que podem estar associadas ao grau de aceitação ou rejeição deste, a ocorrência de defeitos, a confiabilidade entre outros.

Formas comuns de se identificar quais são os principais itens de qualidade de um produto podem ser facilmente evidenciadas pelo uso de ferramentas da qualidade, como por exemplo através do diagrama de Pareto ou do diagrama de Ishikawa.

2.3. CONTROLE DE PROCESSOS

2.3.1. Processo

Tão importante quanto definir Controle Estatístico de Processos é definir o que é processo. Para melhor compreender o significado desta palavra seguem algumas definições de autores.

Segundo Juran (1995) processo é uma série sistemática de ações dirigidas à realização de uma meta. Ao conceituar processo desta forma o autor quer dizer que ele se aplica a todas as relações fabris ou não, incluindo a mão-obra e as instalações.

Para Galuch (2002) processo pode ser definido como o conjunto de atividades que possui como característica a definição de parâmetros e medidas que se iniciam e terminam com a satisfação dos clientes externos. Ele afirma que o termo “clientes externos” é usado para identificar pessoas ou organizações que não fazem parte da empresa, mas que são ligadas pelas suas atividades.

De maneira geral, os autores associam esta definição como um conjunto de atividades motivadas por uma entrada ou causa (*input*) que tem como objetivo produzir uma determinada saída ou efeito (*output*), o qual é denominado produto do processo.

Parece bastante claro para nós hoje que os processos existem e acontecem em todas as partes das organizações, e que mesmo estando fortemente relacionado com o fluxo produtivo, ele não se refere apenas a isto. Porém, mesmo sabendo da abrangência da definição, da importância dos processos não relacionados ao fluxo produtivo e de sua relação estreita com a produção, neste trabalho esta palavra assumirá especificamente o significado de etapas relacionadas exclusivamente ao processo produtivo.

Genericamente, um dos principais objetivos de todo processo produtivo é assegurar a qualidade do que é gerado, de forma a garantir a sua competitividade no mercado. É evidente

que controlar um processo é algo abrangente que pode envolver uma série de características, porém, do ponto de vista deste trabalho, o controle de processos e a garantia da qualidade estarão fortemente relacionados com a manutenção e controle da variabilidade, de modo a assegurar a repetitividade e reprodutividade ao longo do tempo.

2.3.2. Variabilidade

É fato que vivemos em um mundo onde a variação parece ser parte fundamental do curso natural de evolução e que, não diferentemente disto, também os processos produtivos são susceptíveis a ela. Apesar de nos ser algo tão corriqueiro, o conceito de variação é freqüentemente paradoxal. Muita variação geralmente está associada à perdas, ineficiência e falta de controle, ao passo que pouca variação pode levar à estagnação.

Variação é freqüentemente interpretada de forma diferente dependendo do ponto de vista. Por exemplo, um biólogo pode enxergar variabilidade como um fator benéfico no processo evolutivo de certa espécie, ao passo que um engenheiro analisando seu fluxo produtivo pode concluir que a variabilidade é a principal causa de não conformidades de seus produtos. Entender variação e o seu papel é fundamental para atingir a qualidade e alimentar continuamente a inovação e o crescimento.

Montgomery (1985) reitera o conceito de variabilidade ao afirmar que não existem duas unidades de um mesmo produto produzidas por um processo de manufatura que sejam idênticas. Isto significa que alguma variação sempre existirá em qualquer atividade produtiva, e sua ocorrência é inevitável.

Sendo algo inerente a todo processo produtivo, é de extrema importância que se identifique as causas desta variabilidade de forma a estabelecer mecanismos de controle para que as principais características de qualidade do produto sejam atendidas.

De maneira geral, a variação associada a processos produtivos pode ser originada principalmente de duas causas, chamadas por Deming (1990) de especiais e comuns. As

causas comuns são as geralmente relacionadas às características intrínsecas do produto ou processo, fazendo parte integrante de sua identidade e não afetando de forma incisiva o produto, pois na grande parte das vezes pode-se mensurá-la. Já as causas especiais são as que realmente afetam a qualidade do produto, sendo na maioria das vezes imprescindível o seu entendimento e eliminação para que o processo se mantenha estável e sob controle.

Métodos de análise dos componentes de variabilidade de um sistema podem ser exemplificadas pelas técnicas de R&R (Repetitividade e Reprodutividade), que buscam através das definições de repetitividade e reprodutividade analisar a precisão das medidas. O propósito dos experimentos de repetitividade e reprodutividade é de determinar a proporção da variação das medidas que é devido a itens ou partes sendo analisadas (variação parte-a-parte), às diferenças entre operadores (reprodutividade) ou a erros de medição de uma mesma unidade sendo analisada por um mesmo operador (repetitividade). Na situação ideal, toda variabilidade de medidas é devido à variação parte-a-parte, e somente uma pequena proporção da variabilidade é devido à reprodutividade do operador e à repetitividade teste-a-teste. A figura a seguir exemplifica as fontes comuns de variação de um sistema de medida:

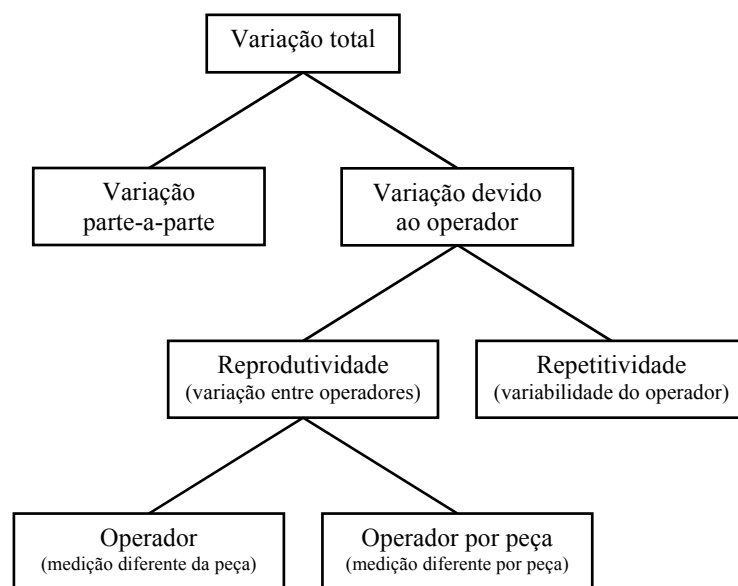


Figura 2.1: Fontes de variação de um processo
Fonte: Manual do Minitab® versão 13 (2000)

Em suma, o objetivo do estudo de R&R é fornecer um método que avalie a precisão do sistema de medidas utilizado no controle do processo.

Miller (1998) diz que na prática a variação excessiva leva à ineficiências devido a mecanismos de proteção como, por exemplo, estoques excessivos, maiores “*lead times*” e aumento de mão de obra, necessários para eliminar a variação imprevisível. Estas ineficiências ocasionam perdas e levam a prejuízos econômicos.

Eliminar estas causas especiais de variação resulta em processos estáveis com somente oscilações de resultados devido a causas comuns. Neste caso a variação pode ainda ser alta, porém, passa a ser previsível e estatisticamente torna-se possível estabelecer limites para ela. Sendo assim, os custos e a qualidade também serão previsíveis, e desta forma podem ser melhorados.

2.4. CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS

É consenso que o controle estatístico de processo nasceu com o trabalho pioneiro de Walter A. Shewhart na década de 1920, no estudo da aleatoriedade dos processos industriais e na criação dos gráficos de controle, que permitiram determinar se a variabilidade de um processo era realmente aleatória ou devia-se a causas especiais. Complementarmente a esta afirmação, existem as seguintes definições sobre o tema:

- Para Bayeux (2001) a idéia da aplicação de técnicas estatísticas como meio para determinação dos processos de produção introduziu uma mudança revolucionária no enfoque gerencial da qualidade, uma vez que se passou da inspeção do produto, com o simples intuito de se detectar falhas, para o controle do processo produtivo, de modo a prevenir falhas no produto.
- Para Woodall (2000) o controle estatístico de processos, uma sub-área do controle estatístico da qualidade, consiste em métodos para entender, monitorar e melhorar a

performance do processo ao longo do tempo. Este autor prioriza a compreensão da variação das características de qualidade como sendo de importância primária para o controle estatístico de processos.

- De acordo com Resende & Carpinetti (1999) estas técnicas servem para aumentar a produtividade, atuar efetivamente na detecção de defeitos e prevenir ajustes desnecessários de processo, estabelecendo uma informação de diagnóstico e permitindo o cálculo da capacidade do processo.
- Ribeiro et al (1996) cita que o uso das técnicas de Controle Estatístico de Processos, juntamente à outras, quando corretamente empregadas podem melhorar efetivamente a qualidade do produto que uma determinada empresa oferece, resgatando a sua competitividade a nível internacional.

Tal é a importância do controle de processos no contexto atual, que na opinião de Roes & Dorr (1997), embora o controle estatístico de processos seja usado fortemente associado a ferramentas estatísticas, ele é atualmente considerado de maneira geral como uma abordagem indispensável para o gerenciamento de processos.

A implementação dos métodos de controle estatístico de processos é, sem dúvida nenhuma, uma das ferramentas mais poderosas para a melhoria dos processos produtivos de forma geral. No entanto, Does et al (1997) afirma que uma das maiores causas de falha na implementação do controle estatístico de processos está relacionada a fatores organizacionais e sociais, citando como exemplos a ausência de gerenciamento, o não comprometimento ou falta de treinamento e entendimento das técnicas de controle estatístico de processos, controle de projetos inadequado e a falta de atenção.

Segundo Dale (1994) o controle estatístico de processos pode ser definido como uma forma de fiscalizar e gerenciar um processo através do uso de métodos estatísticos, sendo que

dentre estes, os gráficos de controle desempenham papel fundamental na melhoria da qualidade e produtividade.

Para Balestrassi (2000) os gráficos ou cartas de controle são úteis em determinar se um processo está se comportando como desejado ou se existem algumas causas não aleatórias de variação interagindo no processo. De maneira genérica, Hare (2003) sugere que um fenômeno será dito sob controle quando, baseados em experiências passadas, pode-se prever sua variabilidade futura.

2.5. GRÁFICOS DE CONTROLE

2.5.1. Introdução aos Gráficos de Controle

Atualmente os gráficos de controle são amplamente utilizados como ferramentas para mostrar o comportamento de determinadas operações de processo e sua variação ao longo do tempo, permitindo o monitoramento de variações devido a causas comuns e a identificação de variações decorrentes de causas especiais que geralmente afetam de forma negativa o processo.

Lina & Woodall (2001) descrevem os gráficos de controle como ferramentas utilizadas para monitorar a precisão e exatidão de um processo ao longo do tempo utilizando os desvios observados de padrões conhecidos.

Para Reynolds & Stoumbos (2001) os gráficos de controle são usados para monitorar o processo com o propósito de detectar causas especiais de variação que podem resultar em baixa qualidade do produto. Similarmente, Nelson (1999) descreve que os gráficos de controle de Shewhart são usados para indicar a presença de causas que produzem desvios importantes na operação de um processo estável.

Para Silva (1999), as cartas ou gráficos de controle são registros gráficos dos dados mensurados em um ponto crítico do processo, construídos num sistema de coordenadas

cartesianas, onde o eixo da ordenada é representado pelas mensurações feitas de uma determinada característica do produto e o eixo da abscissa representado pelos subgrupos.

Ramos (2003) sugere que o procedimento de construção de gráficos de controle envolve, de forma geral, tomar amostras de tamanhos fixos em intervalos amostrais e, através destas, obter estimativas para o nível médio, dispersão e limites do processo.

Como já mencionado anteriormente a variabilidade é inerente aos processos produtivos. De maneira geral, nos processos sob controle estas variações são pequenas e normalmente atribuíveis a fatores controláveis, de forma que usualmente afirma-se que estes processos estão sob controle estatístico. No entanto, pode acontecer que estas variações aumentem além dos padrões aceitáveis devido a mudanças significativas nos parâmetros de processo e, nestes casos, pode-se concluir que o processo está fora de controle estatístico.

É inserido neste contexto que os gráficos de controle foram desenvolvidos com o propósito de monitorar continuamente se determinado processo está sob controle estatístico. Para a utilização dos gráficos de controle, usualmente deve-se partir de alguns pressupostos como a suposição de que as variáveis apresentam distribuição normal (ou aproximadamente normal) e são independentes e identicamente distribuídas (i.i.d.), ou seja, não há relação entre os resultados obtidos ao longo do tempo e estes se apresentam igualmente distribuídos ao redor de um valor médio.

Para iniciar um gráfico de controle, geralmente devem ser extraídas amostras de tamanho fixo n do processo que se deseja analisar, podendo estas apresentar ou não mesma periodicidade, o que em geral depende da disponibilidade de amostras, dificuldade de coleta ou custo.

Os valores coletados, dispostos em forma de vetor $x_1; x_2; \dots ;x_n$ são geralmente utilizados para a obtenção de valores que sintetizem as variáveis de interesse como, por

exemplo, a média amostral, a mediana, a amplitude, o desvio padrão ou a variância. São a partir destes valores que freqüentemente os gráficos de controle são calculados.

Os gráficos de controle são obtidos pela “*plotagem*” destes pontos e pela adição de uma linha central aos dados e linhas de controle. A linha central é habitualmente representada por uma estatística de posição ou um valor de referência, que pode ser uma especificação ou uma exigência legal ou de mercado. As linhas de controle, chamadas de limite inferior de controle e limite superior de controle (LIC e LSC), são usualmente calculadas com base em uma medida de dispersão e servem de aviso para apontar se este sofreu algum distúrbio que possa ser indicativo de processo fora de controle estatístico. A seguir temos um exemplo típico de gráfico de controle:

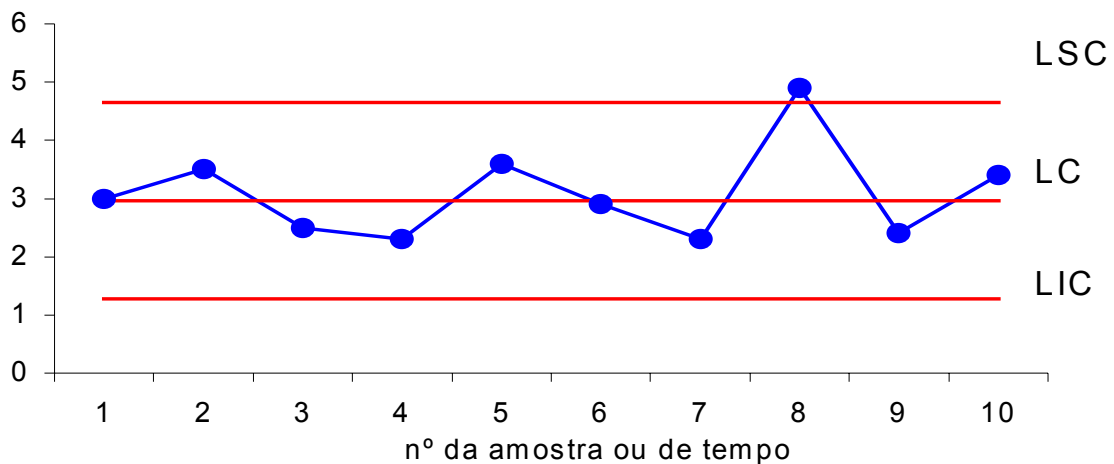


Figura 2.2: Gráfico de Controle

Analisando a configuração da figura 2.2, a suposição de que o processo esteja fora de controle, uma vez que algum ponto esteja fora dos seus limites de controle, nos leva a concluir que existe uma relação próxima entre gráficos de controle e testes de hipóteses. Desta forma, o gráfico de controle testa a hipótese:

- H_0 : processo sob controle;

versus a alternativa,

- H_1 : processo não está sob controle.

Similarmente pode-se pensar:

- Erro tipo I: Conclui-se que o processo está fora de controle quando o mesmo está sob controle.
- Erro tipo II: Conclui-se que o processo está sob controle quando o mesmo está fora de controle.

Relacionado a isso, Woodall (2000) diz que mesmo com estrutura similar quanto ao aspecto de “sim e não” entre valores de estatística e regiões de decisão, os testes de hipótese e os gráficos de controle apresentam grandes diferenças, afirmando que tais gráficos quando comparados com testes de hipóteses repetidos divergem fortemente.

Porém, a análise de um processo produtivo através dos gráficos de controle não deve ser apenas baseada na ocorrência de pontos fora dos limites de controle. É consenso que existem situações onde mesmo que os pontos dos gráficos estejam dentro dos limites, pode-se caracterizar a ocorrência de não conformidades ou, ao menos, indícios de que isto esteja para acontecer.

Balestrassi (2000) afirma que as primeiras pesquisas neste sentido conduzidas em cartas de controle foram destinadas a detecção de deslocamentos nas médias de um processo. No entanto, muitos outros padrões podem indicar situações de processo fora de controle, dentre os quais destacam-se os seis mais comuns:

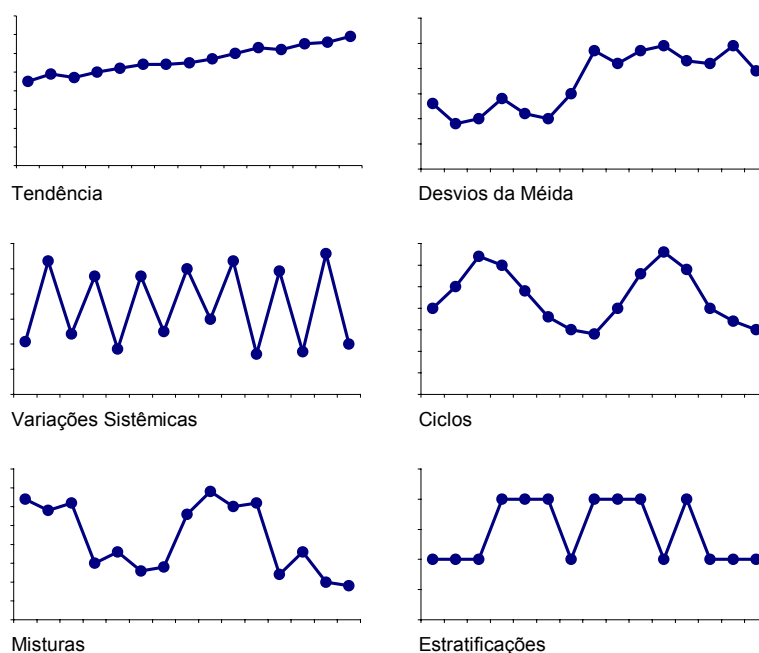


Figura 2.3: Padrões não aleatórios de CEP.
Fonte: Balestrassi (2000)

- **Tendência:** Contínuo movimento em uma direção. Causas: Fadiga do operador, deterioração de equipamento, desgaste de ferramenta, etc.
- **Desvios da Média:** Abrupta mudança na média de um processo. Causas: Alteração do *setup* do processo, mudança ou alteração de matéria prima, mudança ou introdução de novos operadores, mudança nos métodos de inspeção, etc.
- **Variações Sistemáticas:** Um ponto baixo é geralmente seguido de um ponto alto. (Obs.: Uma das características dos padrões aleatórios é que as flutuações de ponto para ponto são não sistemáticas ou não previsíveis). Causas: Diferença entre deslocamentos, diferença entre conjuntos de teste e diferença entre linhas de produção onde o produto é amostrado por rotação.
- **Ciclos:** Uma série de altos picos intercalados com uma série de baixos picos. Causas: Periódica rotatividade de operadores, mudanças sistemáticas no meio ambiente como

temperatura ou fadiga do operador, flutuação de voltagem ou pressão ou alguma variação no equipamento de produção, etc.

- Misturas: Os pontos tendem a falhar nas proximidades dos picos com uma ausência de flutuações aleatórias nas proximidades dos valores médios. A mistura é uma combinação de dados de diferentes distribuições. Causas: Diferentes fornecedores, máquinas ou equipamentos, supercontrole do processo.
- Estratificação: Os pontos estão aglomerados em torno da média do processo. As observações provêm de duas populações com distribuição de probabilidades distintas. Causas: Diferentes lotes de materiais misturados na linha, diferença em padrões e equipamentos de medição e/ou pulos e instabilidade freqüentes no controle automático.

Foi pensando nestas situações que se instituíram critérios alternativos para melhorar a sensibilidade desta ferramenta, os quais consistem basicamente em traçar linhas intermediárias que servem de advertência na detecção de padrões não aleatórios que possam caracterizar-se como indícios de não conformidades. A figura a seguir exemplifica um modelo de gráfico de controle com limites de advertência sugeridos pelo Western Electric Handbook (1956) em Montgomery (1985), para a detecção de padrões não aleatórios.

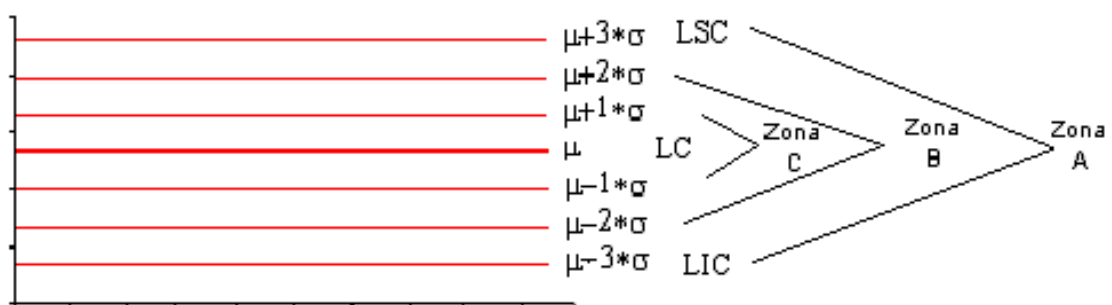


Figura 2.4: Limites de controle e advertência
Fonte: Western Electric Handbook (1956)

Baseado na figura 2.4 são sugeridas algumas regras simples fundamentadas nestes limites para a identificação de padrões não aleatórios. As mais comuns são as seguintes:

- Um ponto fora do limite de 3σ ;
- Dois de três pontos consecutivos fora dos limites de 2σ ;
- Quatro de cinco pontos consecutivos a uma distância de 1σ ou mais;
- Oito pontos consecutivos em um dos lados da linha central.

Outros critérios podem ser empregados para aumentar a sensibilidade do gráfico de controle para pequenas alterações no processo, de forma que se possa responder mais rapidamente a estas alterações. Alguns dos mais utilizados são:

- Uma seqüência de oito ou mais pontos em ordem crescente ou decrescente,
- Um padrão não usual ou aleatório de pontos;
- Um ou mais pontos próximos a um limite de advertência ou controle.

Nelson (1999) reafirma a validade destes testes para identificação de causas especiais baseado no fato de que a distribuição da média dos subgrupos é aproximadamente normal devido ao teorema do limite central.

São muitas as razões que levam uma organização a implantar os gráficos de controle como maneira de melhorar os seus processos. Dentre as principais pode-se destacar:

- Melhoria da Qualidade, através da redução de refugos e retrabalhos aumenta-se a produtividade, reduz-se os custos e aumenta-se a capacidade de produção;
- Prevenção de defeitos, mantendo-se o processo sob controle;

- Evita ajustes desnecessários ao processo;
- Diagnóstico, pois através do conhecimento do comportamento do processo melhora-se a *performance*;
- Informações sobre a capacidade do processo (associada à variabilidade).

Mesmo à luz de tantos benefícios, não há consenso sobre as reais vantagens da aplicação destes métodos, existindo inclusive pesquisadores que contestam sua eficácia. Veja por exemplo Xie et al (1999) cita que os gráficos de controle tradicionais são utilizados apenas de maneira corretiva quando se identifica a ocorrência de uma não conformidade, indicando que tais ferramentas de controle são empregadas somente como um mecanismo de reação a uma deficiência do processo.

Em síntese, mesmo com as ressalvas de alguns pesquisadores quanto a relativa limitação de ganho proporcionado por estas ferramentas, em linhas gerais pode-se afirmar que os gráficos de controle servem muito bem aos propósitos de monitorar a conformidade de um processo com relação às suas características de qualidade. De maneira geral, a aplicação de gráficos de controle tem como principais conseqüências o aumento do conhecimento sobre o processo, a diminuição das não conformidades, o auxílio à tomada de decisões e o conseqüente aumento de produtividade.

2.5.2. Planejamento de um Gráfico de Controle

Quando um gráfico de controle é planejado para utilização como mecanismo de monitoramento de processo, usualmente é necessária uma fase preliminar que envolve a coleta de dados para a estimação dos parâmetros de processo desconhecidos. Reynolds & Stoumbos (2001) diz que estes parâmetros estimados devem corresponder à situação na qual o

processo esteja inicialmente sob controle, de forma que os primeiros dados coletados satisfaçam a estes parâmetros.

Além disso, o planejamento de um gráfico de controle envolve algumas etapas simples que devem visar primeiramente a satisfação de alguns fatores teóricos e econômicos, dentre os quais pode-se destacar a escolha adequada do tamanho da amostra, o intervalo de tempo entre amostras consecutivas e a especificação dos limites de controle e, quando necessário, dos limites de advertência (MONTGOMERY, 1985).

No entanto, na grande maioria das situações isto não ocorre, sendo que o método mais utilizado para a determinação do tamanho da amostra e a frequência de coleta é geralmente baseado em informações arbitrárias ou históricas, ao passo que os limites de controle são usualmente calculados baseando-se nos três sigmas. Enquanto este método é simples de implementar, ele é facilmente passível de conter fatores indesejáveis do ponto de vista econômico e estatístico.

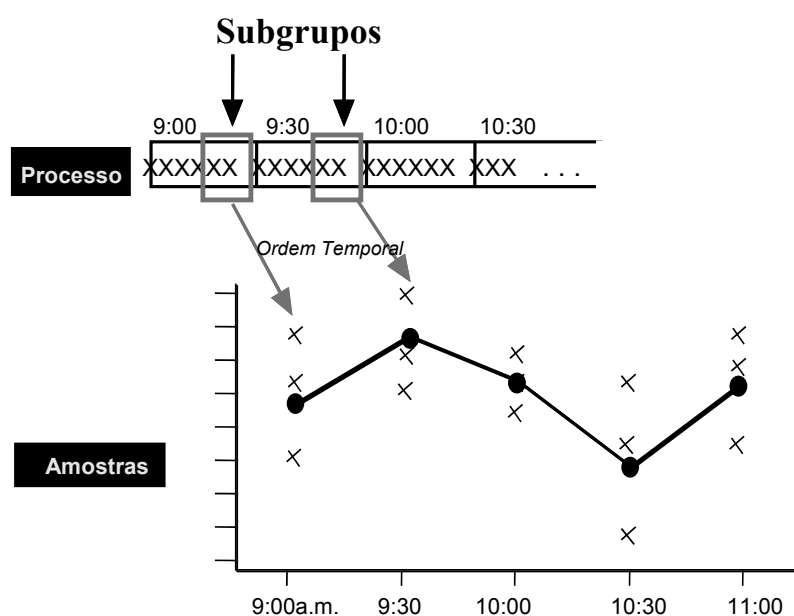


Figura 2.5: Amostragem por Subgrupos

Uma das mais importantes idéias no uso de gráficos de controle é o conceito de subgrupos racionais. Duas abordagens gerais também são sugeridas por Montgomery &

Runger (2003) com o objetivo de construir subgrupos racionais. Na primeira abordagem, cada subgrupo consiste em unidades que foram produzidas ao mesmo tempo. Essa abordagem é usada quando a finalidade primária do gráfico de controle é detectar mudança de processo. Isso minimiza a variabilidade devido às causas atribuídas dentro de uma amostra e maximiza a variabilidade entre amostras, se causas atribuídas estiverem presentes. Esse método fornece melhores estimativas do desvio padrão do processo no caso de gráficos de controle para variáveis, proporcionando um instantâneo em cada ponto no tempo onde a amostra é coletada.

Já na segunda abordagem, cada amostra consiste em unidades de produtos que são representativas de todas as unidades que foram produzidas desde a última coleta de dados. Essencialmente, cada subgrupo é uma amostra aleatória de toda a saída do processo ao longo do intervalo de amostragem. Esse método é freqüentemente usado quando o gráfico de controle for empregado para tomar decisões acerca da aceitação de todas as unidades do produto que foram produzidas desde a última amostra. De fato, se o processo mudar para um estado fora de controle e então voltar a ficar sob controle entre amostras, prova-se, algumas vezes, que o primeiro método de subgrupar, definido anteriormente, não será efetivo contra esses tipos de mudanças, tendo-se de usar o segundo método.

Quando o subgrupo racional for uma amostra aleatória de todas as unidades produzidas ao longo do intervalo de amostragem, cuidado considerável tem de ser tomado na interpretação dos gráficos de controle. Se a média do processo mudar entre vários níveis durante o intervalo entre amostra, a amplitude das observações dentro da amostra pode conseqüentemente ser relativamente grande. Sendo a variabilidade dentro da amostra que determina a largura dos limites de controle em um gráfico \bar{X} , isso resultará em limites mais largos neste gráfico.

Montgomery (1985) ainda cita que de maneira geral a melhor situação para definição do tamanho de amostra e freqüência de amostragem seria amostras grandes e freqüentes,

todavia, isto em geral não é economicamente viável. Para responder a estas perguntas ele sugere que alguns fatores devem ser levados em conta:

- Custo da amostragem;
- Perdas associadas em um processo fora de controle;
- Taxa de produção;
- Probabilidade de deslocamentos de processo.

Complementarmente a Montgomery, McWilliams et al (2001) sugere uma abordagem baseada nos projetos estatísticos, econômicos e econômico-estatísticos como mecanismos auxiliares na definição inicial destas características. Estes métodos são baseados em:

- Projetos estatístico se fundamenta no ARL (“average run length” ou tempo médio de detecção), ou equivalentemente nas probabilidades de erro tipo I e II ou no tempo médio de detecção de deslocamentos;
- Nos projetos econômicos o objetivo é achar o balanço de custo em usar os gráficos de controle contra os custos de permitir que o processo opere quando uma mudança ocorra;
- Projetos econômico-estatísticos são estabelecidos em princípios econômicos associados ao ARL (ou similarmente às probabilidades de erros tipo I e II).

Existem ainda muitas outras maneiras de se formar subgrupos racionais. Por exemplo, uma linha que recebe produtos de diferentes equipamentos e que tem como ponto de coleta a sua saída pode dificultar a detecção de não conformidades em uma determinada máquina. Uma abordagem lógica para subgrupar racionalmente aqui é implementar gráficos de controle às saídas de cada máquina individualmente. Algumas vezes, esse conceito necessita ser aplicado à diferentes estações de trabalho, a diferentes operadores e assim por diante.

Kume (1993) reforça a importância deste conceito ao dizer que a formação de subgrupos é a parte mais importante na preparação de um gráfico de controle e determina o seu desempenho. A escolha inadequada dos subgrupos pode levar à completa deterioração das informações sob análise.

Woodall (2000) afirma que o planejamento dos gráficos de controle desenvolvidos por Shewhart são bastante úteis em muitas aplicações atuais, entretanto, ele considera que a apresentação de novas idéias relacionadas ao controle estatístico da qualidade como, por exemplo, métodos multivariados e planos amostrais, tem sido muito lentamente introduzidas no ambiente industrial. Esta posição é reiterada por Calcutt (1995), que aponta problemas freqüentemente encontrados na utilização das cartas de controle convencionais e nos testes de aderência.

Em suma, o conceito de subgrupo racional é muito importante dentro do Controle Estatístico de Processo. A seleção apropriada de amostras requer consideração cuidadosa do processo, com o objetivo de obter tanta informação útil quanto possível a partir da análise do gráfico de controle.

2.5.3. Tipos de Gráficos de Controle

Os aspectos mais importantes no monitoramento de um processo produtivo são o nível (medida de posição) e a dispersão. Mudanças significativas no nível ou na dispersão do processo produtivo podem indicar alterações significativas na característica de qualidade, e por este motivo estas duas características devem ser controladas simultaneamente. Baseados nestes aspectos, os gráficos de controle são usualmente formados por dois componentes, sendo que o gráfico para a dispersão monitora a variabilidade dentro da amostra (variação “*within*”), enquanto que os gráficos para o nível monitoram a variabilidade entre as amostras (variação “*between*”).

Antes de iniciar a construção de um gráfico de controle precisa-se identificar quais são os pontos ou as variáveis relevantes para o monitoramento da qualidade, bem como caracterizá-los quanto a sua natureza quantitativa ou qualitativa. Para as variáveis qualitativas são propostos gráficos de controle para atributos, e para as variáveis quantitativas são propostos modelos de controle para variáveis. A correta identificação do tipo adequado de gráfico a ser utilizado em cada processo é de extrema importância, pois pode-se tornar os gráficos de controle mais precisos e sensíveis, além de poder trabalhar com amostras menores. Os gráficos de controle para variáveis costumam fornecer informações mais precisas a respeito da característica de interesse, no entanto, sua utilização pode ser limitada pela demora na coleta das amostras ou pelo custo da medição. Já os gráficos por atributos são obtidos mais rapidamente, porém quase sempre eles são menos precisos (MONTGOMERY, 1985). Os principais tipos de gráficos de controle por atributos e variáveis são:

Gráficos de controle para Atributos:

- Gráfico p ou para Proporção de Não Conformes: baseado na distribuição binomial, este tipo de gráfico é usado para analisar o percentual de unidades não-conformes nas amostras, que não necessitam ter o mesmo tamanho;
- Gráfico np ou do Número Total de Defeituosos: também baseado na distribuição binomial, este gráfico é usado para o número de unidades não-conformes na amostra. Seu entendimento e consequente aceitação são mais fáceis que o do gráfico p . As amostras não necessitam ser do mesmo tamanho;
- Gráfico c ou de Número de Defeitos na Amostra: é utilizado para analisar o número de não conformidade numa amostra que segue distribuição de probabilidade de Poisson. As amostras devem ter o mesmo tamanho;

- Gráfico u ou de Número Médio de Defeitos por Unidade: usado para analisar o número médio de não conformidades por amostra considerada como uma unidade. Neste caso as amostras não precisam ter o mesmo tamanho.

Gráficos de controle para Variáveis:

- Gráfico “ \bar{X} e R ” (média e amplitude): utiliza as médias amostrais, e a variabilidade do processo é estimada através da amplitude. É de longe o tipo de gráfico de controle mais empregado devido à facilidade na elaboração dos cálculos, porém, o uso da amplitude indica com menor precisão a variabilidade do processo. É geralmente indicado para casos em que o subgrupo seja menor que seis;
- Gráfico “ \bar{X} e S ” (média e desvio-padrão): sua utilização é aconselhável para subgrupos maiores que cinco. Sua obtenção leva em consideração as médias amostrais, e a variabilidade é estimada através do desvio padrão;
- Gráfico “ \bar{X} e S^2 ” (média e variância): sua construção é similar a dos gráficos \bar{X} e S , contudo é usado como estimador de variabilidade a variância;
- Gráfico “ \tilde{X} e R ” (mediana e amplitude): embora este gráfico apresente simplicidade de elaboração e análise devido a facilidade de cálculos, ele não é muito utilizado pois a mediana é uma estimativa viciada da média;
- Gráfico “ X_i e MR ” (valores individuais e amplitude móvel): quando o subgrupo $n=1$ utiliza-se este tipo de gráfico. Sua principal aplicação é em situações onde a taxa de produção é muito baixa ou com pouca variabilidade, onde esta é medida através da amplitude entre dois valores consecutivos. A variação “*within*” é construída artificialmente.

A seguir tem-se um fluxograma descritivo sobre como definir o tipo de gráfico de controle mais apropriado para as situações mais comuns dentro de um processo produtivo.

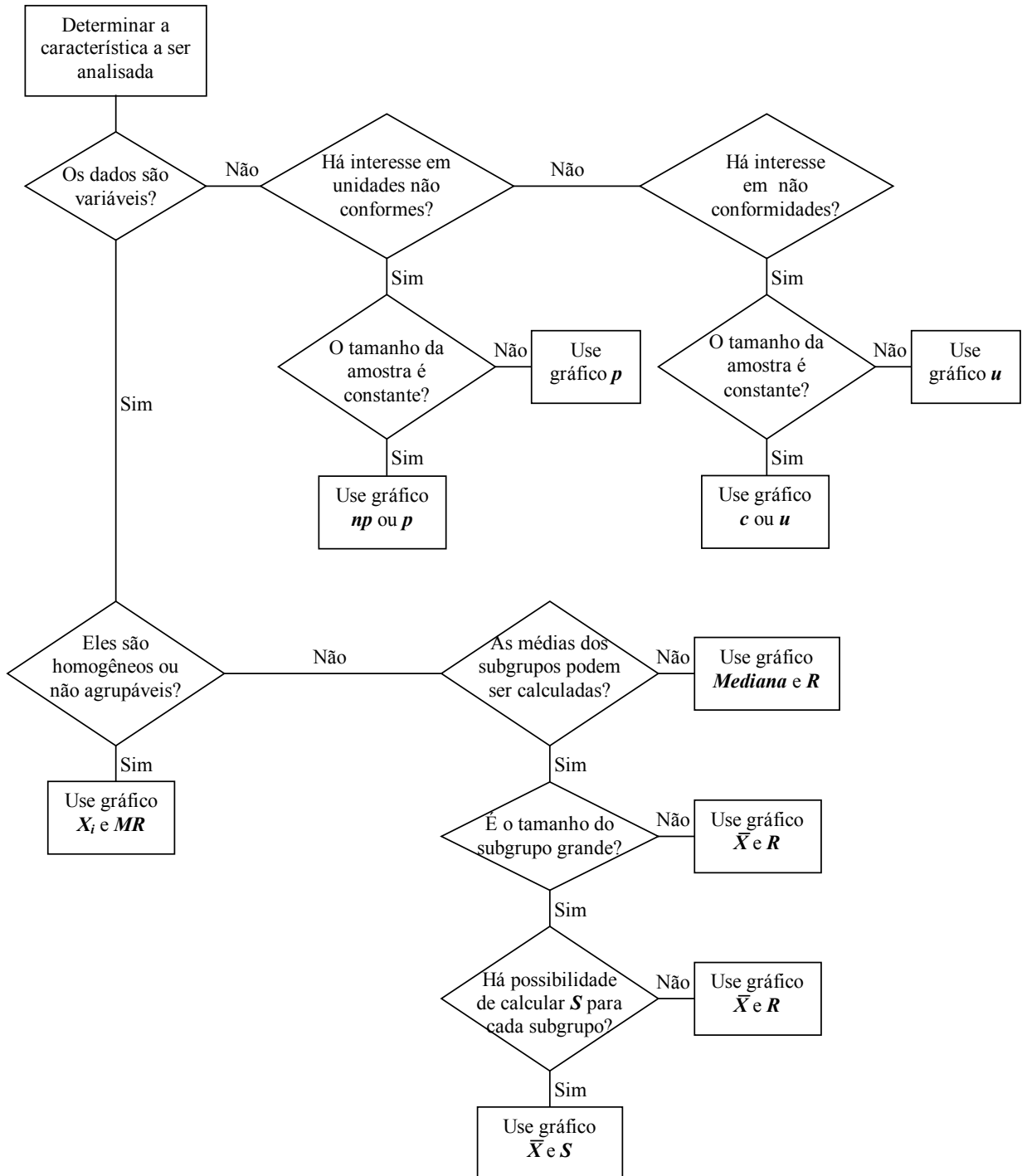


Figura 2.6: Procedimento para uso de gráficos de controle
Fonte: Adaptado de A.I.A.G. (1995)

Como o enfoque deste trabalho estará na análise de variáveis quantitativas, então são descritos mais detalhadamente apenas os principais tipos de gráficos de controle utilizados para estas situações específicas.

2.5.4. Gráficos de Controle para Variáveis

Os principais tipos de gráficos descritos a seguir supõem que a característica de qualidade em estudo é normalmente distribuída com média μ e desvio padrão σ conhecidos, no entanto, nas aplicações práticas esta restrição não tem tanta relevância pois as características qualitativas medidas em escala contínua têm, em geral, distribuição normal ou aproximadamente normal.

Todavia, mesmo sabendo-se que a constatação da normalidade da característica de qualidade não é de extrema importância, recomenda-se que ao menos se faça essa checagem durante o estabelecimento de um gráfico de controle para um novo processo que não se tenha informações prévias, pois assim será garantida maior efetividade da ferramenta na avaliação do processo. Caso os dados estejam divergindo fortemente desta distribuição, pode-se ainda lançar mão de transformações na tentativa de aproximá-los da situação de normalidade.

Esta checagem pode ser feita através da observação da forma do histograma dos dados, ou mais comumente através do teste de normalidade de Anderson Darling.

Então, se X_1, X_2, \dots, X_n é uma amostra de tamanho n , a média da amostra é dada por:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.1)$$

e como \bar{X} é normalmente distribuído com média μ e desvio padrão $\sigma_{\bar{x}} = \sigma/\sqrt{n}$, então o intervalo de probabilidade $1-\alpha$ de qualquer amostra é dado por:

$$\mu + Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{x}} = \mu + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.2)$$

e

$$\mu - Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{x}} = \mu - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Sendo que se μ e σ são conhecidos, neste caso as equações 2.2 podem ser usadas como limites inferior e superior de um gráfico de controle. Carlyle et al (2000) diz que na prática costuma-se substituir o valor $Z_{\alpha/2}$ por 3, resultando nos limites de três sigmas usualmente empregados em gráficos de controle. No entanto, geralmente μ e σ não são conhecidos e deste modo devem ser estimados a partir dos dados.

Gráficos \bar{X} e R

Supomos agora que m amostras de tamanho n e suas respectivas médias $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_m$ também são normalmente distribuídas, então um estimador não viciado de μ é dado por:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \bar{X}_j \quad (2.3)$$

E desta forma, $\bar{\bar{X}}$ pode ser usado como linha central de um gráfico de \bar{X} .

Agora para construir os limites de controle para a média utiliza-se as amplitudes das amostras n como estimador do desvio padrão σ . Assim sendo, um estimador para uma amostra X_1, X_2, \dots, X_n de tamanho n pode ser definido como:

$$R = X_{\max} - X_{\min} \quad (2.4)$$

Do relacionamento do range e do desvio padrão de uma amostra normalmente distribuída tem-se que a variável aleatória $W = R/\sigma$, chamada de amplitude relativa é uma função do tamanho da amostra n com média d_2 . Por conseqüência, um estimador de σ é dado por $\hat{\sigma} = R/d_2$ (valores tabulados de d_2 podem ser consultados no anexo).

Deste modo, tem-se que a média das amplitudes R_1, R_2, \dots, R_m pode ser dada por:

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m R_j \quad (2.5)$$

e o desvio padrão σ pode ser estimado por:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.6)$$

Este estimador é particularmente bom para amostras n de tamanhos pequenos, entre 2 e 5, perdendo eficiência rapidamente à medida que a amostra aumenta de tamanho devido ao fato de não explicar o comportamento das amostras entre X_{max} e X_{min} .

Se for utilizado $\bar{\bar{X}}$ como um estimador de μ e \bar{R}/d_2 como estimador de σ , então pode-se definir os parâmetros de um gráfico de controle para \bar{X} como:

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{\bar{X}} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}} \bar{R} \\ LC &= \bar{\bar{X}} \\ LIC &= \bar{\bar{X}} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}} \bar{R} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Pode-se ainda definir a constante tabulada A_2 (ver anexo) como sendo:

$$A_2 = \frac{3}{d_2\sqrt{n}} \quad (2.8)$$

que é uma constante dependente apenas do tamanho da amostra n , o que simplifica as expressões 2.7 para:

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \\ LC &= \bar{\bar{X}} \\ LIC &= \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Similarmente à construção do gráfico para \bar{X} , pode-se também construir um gráfico de controle para a variável R , em que a média pode ser estimada por \bar{R} e o desvio padrão pode ser estimado por $\hat{\sigma}_R$, que é uma função da amplitude relativa $W = R/\sigma$ cujo desvio padrão é definido como d_3 , também sendo uma função que depende exclusivamente do tamanho da amostra n . Então obtém-se que $R = W\sigma$ e o desvio padrão de R , o qual é obtido pela expressão $\sigma_R = d_3\sigma$, pode ser estimado por:

$$\hat{\sigma}_R = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.10)$$

Desta forma os parâmetros do gráfico R com limites de três sigmas, podem ser definidos pelas expressões:

$$LSC = \bar{R} + 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} + 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.11)$$

$$LC = \bar{R}$$

$$LIC = \bar{R} - 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} - 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

E se isolarmos novamente os termos que dependem exclusivamente do tamanho da amostra n obtém-se que:

$$D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2} \quad (2.12)$$

e

$$D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$$

O que nos permite redefinir os parâmetros do gráfico R como:

$$\begin{aligned}LSC &= \bar{R}D_4 \\LC &= \bar{R} \\LIC &= \bar{R}D_3\end{aligned}\tag{2.13}$$

Gráficos \bar{X} e S

Com a popularização do uso da calculadora e do computador, o cálculo do desvio padrão se tornou uma medida relativamente fácil de se obter, o que vem contribuindo para que os gráficos S sejam cada vez mais utilizados como gráfico de controle para medir a dispersão do processo. Na opinião de Montgomery (1985) o gráfico S é mais eficiente na estimação da dispersão, pois o desvio padrão do processo é estimado diretamente ao invés de indiretamente, como no caso do uso de R . No entanto, Paiva (2001) demonstra que o desvio padrão amostral S é um estimador viciado de σ , estimando na prática $C_4\sigma$, com desvio padrão $\sigma\sqrt{1-C_4^2}$, onde C_4 é uma constante que depende do tamanho da amostra n .

Se o desvio padrão σ não é conhecido, então ele deve ser estimado através dos dados. Supondo que m amostras estão disponíveis, cada uma delas com tamanho n e desvio padrão S_j , o desvio padrão médio das m amostras é:

$$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m S_j\tag{2.14}$$

E da suposição que \bar{S}/C_4 é um estimador não viciado de σ , conclui-se que os limites de controle para o gráfico \bar{X} podem ser dados por:

$$LSC = \bar{\bar{X}} + \frac{3\bar{S}}{C_4\sqrt{n}}$$

$$LC = \bar{\bar{X}} \quad (2.15)$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - \frac{3\bar{S}}{C_4\sqrt{n}}$$

Fazendo com que o termo $3/(C_4\sqrt{n})$ seja igual a constante tabulada A_3 (ver anexo) tem-se que:

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S}$$

$$LC = \bar{\bar{X}} \quad (2.16)$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S}$$

Da mesma forma pode-se concluir que os limites de controle para o gráfico de \bar{S} são definidos por:

$$LSC = \bar{S} + 3\frac{\bar{S}}{C_4}\sqrt{1-C_4^2}$$

$$LC = \bar{S} \quad (2.17)$$

$$LIC = \bar{S} - 3\frac{\bar{S}}{C_4}\sqrt{1-C_4^2}$$

E definindo novamente os parâmetros abaixo como funções tabeladas (ver anexo), tem-se que:

$$B_3 = 1 - \frac{3}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2} \quad (2.18)$$

$$B_4 = 1 + \frac{3}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2}$$

Com isso pode-se reescrever os limites para o gráfico de \bar{S} como:

$$LSC = B_4 \bar{S}$$

$$LC = \bar{S} \quad (2.19)$$

$$LIC = B_3 \bar{S}$$

Gráficos X_i e MR

Existem muitas situações onde o tamanho da amostra utilizada para controle do processo é $n=1$. Estas situações ocorrem freqüentemente quando inspeções automáticas são utilizadas em 100% da produção, ou quando a taxa de produção é muito baixa e este tipo de controle se faz necessário pois existe um período relativamente longo entre as medidas. Nestes casos os gráficos de controle para medidas individuais são bastante úteis.

O procedimento para estimar a variabilidade dos dados baseia-se no cálculo das amplitudes móveis entre duas observações consecutivas. Desta maneira pode-se estabelecer um gráfico de controle para a variável de interesse.

Assim sendo, a construção do gráfico de controle para a média \bar{X} é o seguinte:

$$LSC = \bar{X} + E_2 \bar{R}$$

$$LC = \bar{X} \quad (2.20)$$

$$LIC = \bar{X} - E_2 \bar{R}$$

E para construção do gráfico da amplitude móvel é:

$$LSC = D_4 \bar{R} \quad (2.21)$$

$$LC = \bar{R}$$

$$LSC = D_3 \bar{R}$$

onde $\bar{R} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n |X_i - X_{i-1}|$, $E_2=2,660$, $D_4=3,267$ e $D_3=0$

Os gráficos \bar{X} , R e \bar{X} , S descritos acima são, sem dúvida nenhuma, os mais utilizados dentre todos os tipos de cartas de controle, no entanto, estes se aplicam somente à características univariadas. Casos onde seja desejável a análise conjunta de variáveis inter-relacionadas podem ser abordados por técnicas estatísticas multivariadas. Werner (1999) sugere o uso de técnicas multivariadas partindo do modelo proposto pela Estatística T^2 de Hotelling, que supõe ao invés de gráficos independentes para o controle de cada variável, a criação de um único gráfico que sintetize o comportamento de duas ou mais variáveis. Este tipo de gráfico nos permite uma análise mais detalhada a respeito da relação entre variáveis, sendo em muitas situações mais adequado que os gráficos univariados.

Mais recentemente uma maneira alternativa para se construir gráficos de controle que contemplem várias partes de um mesmo processo foi proposta através do uso de cartas focadas. Através desta técnica pode-se observar ou monitorar a variação de um processo examinando-se várias características simultaneamente.

A construção deste gráfico consiste em “plotar” os desvios ou percentuais de variação de cada parte analisada com relação à sua especificação.

Após a obtenção destes dados, pode-se utilizar a técnica de construção de cartas X_i e MR para se determinar os gráficos, que são analisados da mesma maneira que qualquer outro

modelo de controle tradicional proposto anteriormente. O uso desta técnica permite ganhos consideráveis com relação às técnicas de controle univariadas, destacando-se além das vantagens já mencionadas a rápida coleta e análise dos pontos, o que proporciona um meio ágil e eficiente de monitorar um processo.

2.6. CAPABILIDADE DE PROCESSO

Quando se fala em gráficos de controle logo se associa a relação entre os limites de controle com a ocorrência de não conformidades, no entanto, o fato de um processo estar dentro destes limites não significa que os produtos resultantes atendem à especificação de qualidade exigida.

Com este objetivo, o estudo da capacidade trata da relação existente entre os limites de controle, que são obtidos com base nos dados de processo, com os limites de especificação, que definem o intervalo em que as medidas das características da qualidade podem variar. Kotz & Johnson (2002) salientam que tais índices devem ser empregados posteriormente à checagem de que o processo está sob controle estatístico, o que reforça o caráter complementar destas técnicas à implantação de um sistema de garantia da qualidade.

Como parte integrante das características de qualidade de um produto, a especificação geralmente é estabelecida durante o projeto pela administração ou pelo cliente. Desta maneira pode-se classificar um processo como:

- Processo capaz: os resultados das medições ou limites de controle encontram-se dentro da especificação do projeto, ou seja, não estão sendo produzidos produtos não conformes;
- Processo não-capaz: os resultados das medições ou limites de controle encontram-se fora da especificação do projeto. Neste caso podem estar sendo produzidos produtos não conformes.

Baseados nestes conceitos pode-se definir capacidade de um processo como o potencial de se produzir produtos cujos resultados atendam as especificações do projeto.

Segundo Montgomery (1985) o estudo da capacidade pode ser determinado como a análise da variabilidade relativa aos requisitos ou especificação de um produto.

Para Bayeux (2001) a análise da capacidade de um sistema produtivo é um procedimento para avaliar a condição de um processo em atender as especificações de determinada característica da qualidade do produto.

Na opinião de Kotz & Johnson (2002) os índices de capacidade de processos têm como função prover um número simples sobre a habilidade de avaliação em atender aos limites de especificação da característica de qualidade de interesse. Com esta definição, estes autores revelam que tais índices fornecem uma estimativa sobre o potencial do processo ao invés de realmente expressar a real situação em que este se encontra.

Pela sua simplicidade, uma das ferramentas mais utilizadas para avaliação da capacidade de processo é o histograma, que é uma representação gráfica da distribuição de frequência dos dados e, cujo principal objetivo é facilitar a organização e disposição destes para que se possa obter informações sobre o seu comportamento.

A inserção dos limites de especificação nestes histogramas nos permite avaliar a localização e espalhamento dos dados, fornecendo uma boa idéia sobre a capacidade do processo. O quadro a seguir exemplifica a construção e análise desta ferramenta:

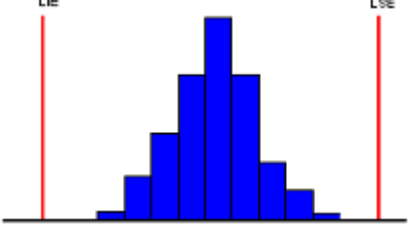
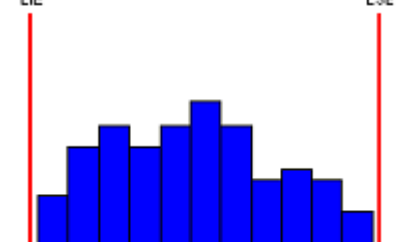
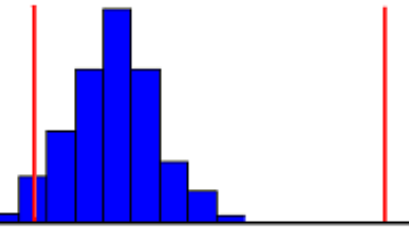
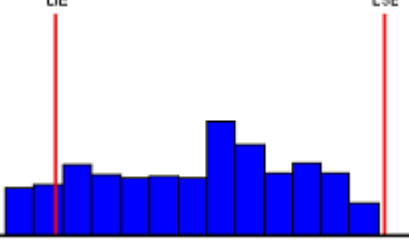
Tipo de Gráfico	Descrição
	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os pontos estão localizados internamente à especificação com boa margem de segurança de ambos os lados. Nesta situação diz-se que o processo é capaz e não se faz necessária nenhuma intervenção.
	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os pontos estão localizados internamente à especificação, porém existem pontos próximos aos limites, indicando que deve haver intervenção no processo para diminuir a variabilidade.
	<ul style="list-style-type: none"> • Os dados apresentam pequena variabilidade, no entanto os valores estão deslocados do valor médio da especificação. A atuação neste caso deve ser voltada para retornar a média do processo para a situação onde o processo esteja centrado dentro da especificação.
	<ul style="list-style-type: none"> • Existem pontos localizados fora dos limites de especificação, indicando ocorrência de não conformidades. Deve-se atuar para diminuir a variabilidade ou corrigir a média que esteja deslocada do centro da especificação ou até mesmo atuar em ambos.

Figura 2.7: Análise gráfica de capacidade de processo

A análise do perfil do histograma também nos permite verificar sua curva de distribuição, servindo como um teste empírico para a verificação da normalidade dos dados para o cálculo de índices de capacidade mais sofisticados que partem desta suposição.

A importância de se associar a dispersão dos dados à uma curva de distribuição normal reside no fato de se poder com esta suposição calcular valores de probabilidades a respeito dos dados baseados apenas na média e desvio padrão.

Apesar da facilidade da análise de capacidade através dos histogramas e da grande variedade de índices de capacidade, dois índices são mais freqüentemente utilizados para mensurar a capacidade de um processo em atender às especificações. Estes índices de capacidade, fundamentados na suposição de normalidade dos dados e de que o processo esteja sob controle, são comumente conhecidos como C_p e C_{pk} .

De maneira simplificada, estes índices são baseados na relação entre os limites de especificação e o desvio padrão dos dados, que no caso dos gráficos de controle para \bar{X} , R e \bar{X} , S são estimados por:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{ou} \quad \hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{C_4} \quad (2.22)$$

Outra maneira de se expressar capacidade em processos onde as amostras são relativamente pequenas, ou que ainda não se tenha certeza a respeito da estabilidade, é utilizar os índices P_p e P_{pk} . Diferentemente do caso anterior onde o desvio é estimado, neste caso o valor S é obtido diretamente dos dados.

Índice de Capacidade Potencial do Processo (C_p)

Este índice se preocupa com a centralização do processo, fornecendo uma medida indireta da habilidade do potencial do processo em satisfazer a especificação. Seu cálculo se dá da seguinte forma:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} \quad (2.23)$$

Onde:

LSE = Limite Superior de Especificação

LIE = Limite Inferior de Especificação

$\hat{\sigma}$ = Desvio Padrão Amostral Estimado

O numerador do C_p fornece o tamanho da amplitude sobre a qual as observações do processo podem variar. O denominador fornece a amplitude sobre a qual este está atualmente variando. Naturalmente deseja-se que o processo monitorado possua um C_p tão grande quanto possível, no entanto, vale ressaltar que nem o numerador ou o denominador referem-se ao nível médio. Isto significa que o C_p compara somente dispersões, não levando em conta a centralização do processo.

Para o processo ser considerado capaz, o índice C_p deve ser igual ou maior do que um, porém, devido a este valor ser exatamente a especificação sugere-se uma regra para garantir que este seja suficientemente capaz considerando a sua centralização:

- $C_p < 1,00$ - A capacidade do processo é inadequada à especificação exigida. Deve-se diminuir a variabilidade para reduzir o número de não conformes e garantir que o produto atenda a especificação;
- $1,00 \leq C_p \leq 1,33$ - A capacidade está dentro da especificação exigida. Todavia, ainda deve-se diminuir a variabilidade do processo, pois esta pode gerar produtos não conformes;
- $C_p > 1,33$ - A capacidade é adequada à especificação exigida. Neste caso não se faz necessária intervenção a menos que se queira reduzir a variabilidade para aumentar a qualidade dos produtos.

Em se supondo normalidade dos dados, e que o índice de capacidade C_p seja igual a 1,0 e o processo esteja centrado, assumi-se que os dados estão variando exatamente sobre a especificação, o que significa dizer que teremos cerca de 99,73% dos pontos amostrais dentro destes limites, ou analogicamente teremos a ocorrência de 0,27% ou 2700 ppm de não conformidades.

Outra possibilidade de se expressar o C_p é através da razão de capacidade de processo, chamada de *PCR* (“*Process Capability Ratio*”). Este índice é derivado do C_p e expressa percentualmente o quanto da faixa de tolerância ou especificação o processo ocupa, sendo expresso por:

$$PCR = \frac{1}{C_p} 100 \quad (2.24)$$

A análise deste índice é similar à do C_p , ou seja, se o valor percentual for próximo ou igual a 100%, tem-se que o processo está utilizando a mesma faixa de variação da especificação, o que pode gerar não conformidades.

Índice de Desempenho do Processo (C_{pk})

O índice C_{pk} foi desenvolvido para suprir algumas deficiências do C_p , principalmente com relação ao fato de que este mede a capacidade somente em termos da dispersão do processo e não leva em consideração o seu nível ou a sua centralização.

A obtenção do índice de capacidade C_{pk} se dá através do cálculo de dois índices de especificação unilaterais chamados de C_{pl} (“*lower*”) e C_{pu} (“*upper*”) que são obtidos por:

$$C_{pl} = \frac{\bar{\bar{X}} - LIE}{3\hat{\sigma}} \quad (2.25)$$

$$C_{pu} = \frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{3\hat{\sigma}}$$

Daí obtêm-se o índice C_{pk} como:

$$C_{pk} = \min\{C_{pl}; C_{pu}\}$$

Que nada mais é do que o mínimo entre os índices C_{pl} e C_{pu} .

O exame mais detalhado da composição deste índice indica que ele quantifica a capacidade em função da pior metade dos dados do processo. Com isso verifica-se que, além da variabilidade, a posição também é relacionada à especificação, fornecendo uma medida extremamente acertada sobre o comportamento do processo frente às suas características de engenharia.

Para o processo ser considerado capaz, o C_{pk} deve ser igual ou superior a um. No entanto, da mesma forma que definido para o índice C_p , as mesmas regras podem ser utilizadas para se garantir uma maior margem de segurança para a operação do processo.

A correta avaliação da capacidade, satisfazendo principalmente as suposições de normalidade, é de extrema importância para a garantia da qualidade de qualquer processo industrial, daí sua relevância na área do controle da qualidade e, especificamente, neste trabalho.

Índices P_p e P_{pk}

Analogicamente aos índices descritos anteriormente, o P_p e o P_{pk} também podem ser empregados para expressar capacidade com a vantagem de não necessitar de grandes amostras, nem tampouco da suposição de estabilidade do processo.

A construção destes índices se dá de maneira similar à dos equivalentes C_p e C_{pk} , substituindo-se apenas o desvio padrão estimado pelo desvio padrão amostral. A definição destes valores é dada abaixo:

$$P_p = \frac{LSE - LIE}{6S} \quad (2.26)$$

e

$$P_{pk} = \min \left\{ \frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{3S}, \frac{\bar{\bar{X}} - LIE}{3S} \right\} \quad (2.27)$$

onde s é o desvio padrão obtido da amostra.

Estes índices, juntamente com o C_p e C_{pk} , são amplamente utilizados pela indústria automobilística como os quatro valores básicos para expressar capacidade.

Ainda que estes índices apresentem inúmeras vantagens sobre o C_p e C_{pk} , pois o seu cálculo leva em conta tanto as causas comuns quanto as especiais de variação, o seu uso deve ser encarado como um dos indicativos da capacidade do processo. Lu e Rudy (2002) salientam que o cálculo destes índices não leva em conta toda a variação do processo, pois os dados empregados para a sua estimação geralmente são provenientes somente de um intervalo curto de tempo, indicando deste modo que os valores P_p e P_{pk} são mais restritos que os valores de C_p e C_{pk} .

Outras Maneiras de se Expressar Capacidade

Mais recentemente com o surgimento das ferramentas ou métodos de análise Seis Sigma novo enfoque foi dado à análise de processo, bem como à sua capacidade.

O princípio fundamental proposto por esta metodologia salienta que o objetivo de qualidade de qualquer processo é obtido quando o valor sigma de curto prazo (sem influência de causas especiais de variação) for igual a 6, o que implica em uma probabilidade de ocorrência de falhas de 3,4 ppm.

Através da tabela da distribuição normal padrão, pode-se observar que o nível seis sigma corresponde a aproximadamente dois defeitos por bilhão de oportunidades, e o valor de 3,4 defeitos por milhão, que normalmente é definido como seis sigma corresponde realmente ao valor 4,5. Esta diferença de 1,5 sigma, segundo estudos da Motorola, é advinda da variação e mudanças do processo ao longo do tempo, que é chamada de variação dinâmica da média de

longos períodos (“*long-term dynamic mean variation*”). Esta variação tipicamente está entre 1,4 e 1,6 desvios.

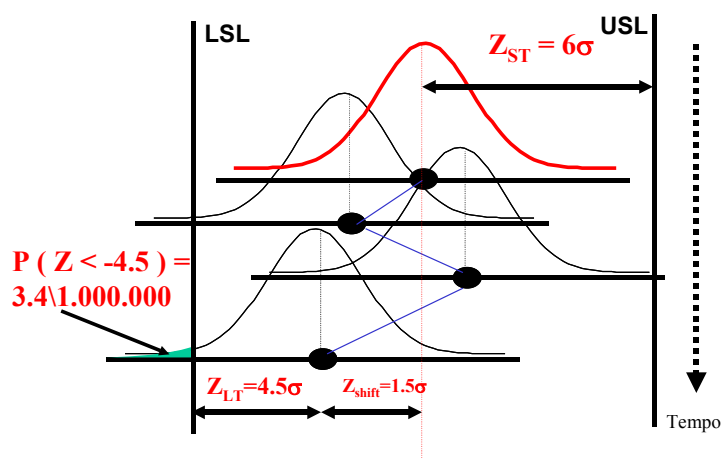


Figura 2.8: Deslocamento de um processo ao longo do tempo

Deste conceito é definido que o valor sigma obtido através dos dados iniciais coletados em um intervalo curto de tempo, e que portanto não contém causas especiais de variação, é chamado de “*short term*”. Por outro lado os dados de “*long term*”, que normalmente são coletados em intervalos de meses ou até anos, contém causas comuns e especiais de variação. Devido aos dados utilizados para o cálculo do índice “*short term*” não conterem causas especiais de variação, ele tipicamente apresentará uma capacidade maior que os dados de “*long term*”. Esta diferença é exatamente o 1,5 sigma. Dada a natureza dos dados, você pode determinar o fator mais apropriado para o seu processo.

Swinney (2003) reporta que as técnicas de Seis Sigma requerem que a capacidade do processo seja avaliada em termos do “*short term*” sigma, sem a presença de causas especiais de variação.

Com o objetivo de verificação desta característica, são propostos alguns índices de desempenho que traduzam de forma clara e simples o conceito da metodologia seis sigma. O principal destes índices é o Z_{bench} , que segundo Muir (2001) é obtido calculando-se o número

real predito de defeitos para os limites de especificação superior e inferior de um processo. Seu cálculo se dá desta forma:

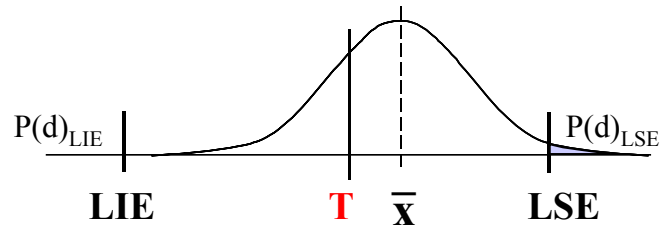


Figura 2.9: Representação gráfica do cálculo do Z_{bench}

$$\begin{aligned}
 Z_{LIE} &= \frac{\bar{X} - LIE}{S} & Z_{LSE} &= \frac{LSE - \bar{X}}{S} & (2.28) \\
 \downarrow & & \downarrow & & \\
 P(d)_{LIE} &= f(\text{Normal}) & P(d)_{LSE} &= f(\text{Normal}) &
 \end{aligned}$$

E através da tabela Z se obtém os valores de $P(d)_{LIE}$ e $P(d)_{LSE}$ de modo que:

$$P(d)_{total} = P(d)_{LIE} + P(d)_{LSE} \quad (2.29)$$

e

$$Z_{bench} = \text{obtido da tabela Z}$$

Na prática um processo é considerado capaz quando o valor de Z_{bench} for igual ou superior a 4,5, o que implica em afirmar que serão esperados no máximo 3,4 ppm de defeituosos dentro da variável em estudo. Se este valor é menor que 4,5, então a probabilidade de ocorrência de defeitos é maior que 3,4 ppm e pode-se dizer que existem indícios de que a média ou o desvio do processo precisam ser ajustados.

Deste modo, pode-se obter o nível sigma do processo através das formula abaixo:

$$\text{Nível Sigma} = Z_{bench}(LT) + 1,5$$

ou

$$\text{Nível Sigma} = 3P_{pk} + 1,5 \quad (2.30)$$

ou

$$\text{Nível Sigma} = \sqrt{0,8406 + 29,37 - 2,221 \cdot \ln(\text{ppm})}$$

2.7. TEMPO MÉDIO DE DETECÇÃO OU ARL

Com os gráficos de controle o conceito de erro estatístico pode ser utilizado para monitorar a variável de análise de forma similar a testes de hipóteses, cuja função é de detectar mudanças de processos. No entanto, ainda levando em consideração a suposição de normalidade dos dados, existe uma maneira alternativa de se expressar a performance em termos do tempo médio de detecção ou ARL (do inglês “Average Run Length”).

A interpretação deste índice nos fornece uma medida da confiabilidade do processo em produzir itens dentro dos limites de controle, desejando-se que este número seja grande, o que indicaria uma baixa incidência de não conformidades.

Para Carlyle et al (2000) o ARL é definido como a soma do número de pontos coletados até a ocorrência de uma falha. O autor afirma que um ARL grande é desejável quando somente causas comuns de variação são presentes, porém, caso haja causas especiais, é desejável que este valor seja pequeno.

Seu cálculo se dá através da seguinte expressão:

$$ARL = \frac{1}{\text{Probabilidade de amostrar pontos fora de controle}} \quad (2.31)$$

Assim sendo, o ARL nos mostra para uma dada situação, quantos pontos sucessivos em média são necessários antes do gráfico de controle detectar um valor fora dos limites. Para um gráfico \bar{X} normalmente distribuído e sem mudança de processo, serão necessários em média $1/p$ pontos antes da ocorrência de uma não conformidade.

Supondo que os limites de controle definidos experimentalmente para um processo sejam de 6σ , e que a probabilidade de ocorrência de pontos fora dos limites é $p=0,0027$, tem-se que o tempo médio de detecção é $1/0,0027$ que fornece um valor de ARL de aproximadamente 371 pontos até a ocorrência da primeira falha.

Capítulo 3: Roteiro Proposto para Implantação do CEP

A implementação de sistemas de qualidade tem sido um dos métodos mais empregados atualmente pelas empresas com intuito de se adaptarem aos novos padrões de concorrência e às crescentes exigências dos consumidores, sendo que o uso de técnicas estatísticas vem se tornando cada vez mais uma prática comum para esse fim. Prova disso pode ser encontrado em NYSE (2003), que menciona que na lista das 1.000 maiores empresas do mundo, atualmente 20% delas utilizam especificamente a metodologia Seis Sigma como ferramenta para melhoria de processo, ou ainda na revista Fortune (2003), que diz que 60% das 10 maiores empresas do mundo também utilizam esta metodologia.

A evolução dos sistemas de informática e dos softwares também vem proporcionando uma crescente popularização dos métodos estatísticos, de maneira que hoje estes são encarados como parte fundamental da maioria dos programas recentes de qualidade. Estes métodos baseiam-se principalmente no estudo da variabilidade e suas conseqüências para a característica de qualidade em análise, fornecendo métodos eficazes para se avaliar pontos críticos internos e externos ao processo.

Antes de colocar em prática os conceitos e métodos do controle estatístico de processos na UNIFI do Brasil Ltda., é sugerido neste capítulo um modelo de projeto para a implementação destas técnicas visando maximizar as chances de sucesso deste projeto. É adaptada para isso a metodologia DMAIC (*“Define, Measure, Analyse, Improve and Control”*), que consiste do modelo mostrado na figura a seguir:

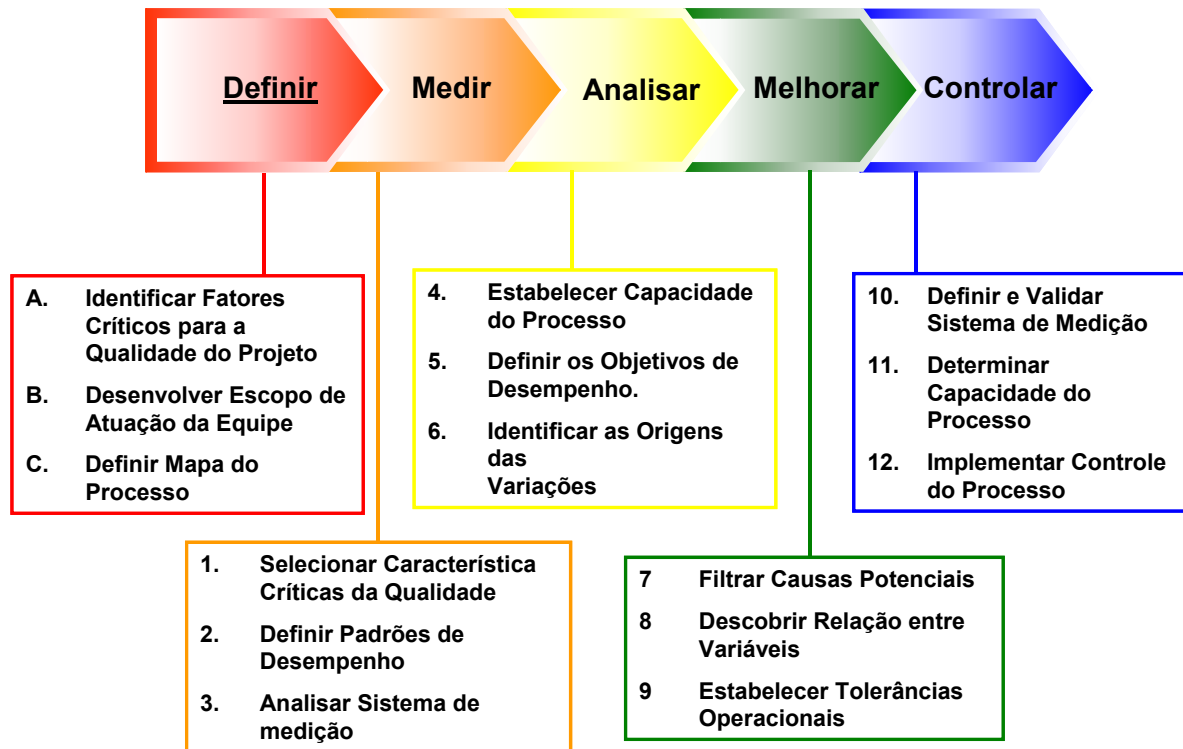


Figura 3.1: Modelo de Implementação da Metodologia DMAIC
Fonte: Adaptado de MUIR (2001)

Estas etapas foram baseadas no conhecimento prévio da estrutura da organização, de modo a adaptar um modelo que gerasse o mínimo impacto inicial nas atividades corriqueiras da empresa e que causasse ampla aceitação por todos os envolvidos.

O fluxograma a seguir procura adaptar a proposta de implantação do controle estatístico de processos e da metodologia DMAIC a realidade da empresa, aproveitando seus aspectos culturais e peculiaridades, com o objetivo de diminuir o tempo de implantação e maximizar a probabilidade de sucesso.

A figura a seguir apresenta a metodologia proposta separada em 11 etapas, divididas da seguinte forma:

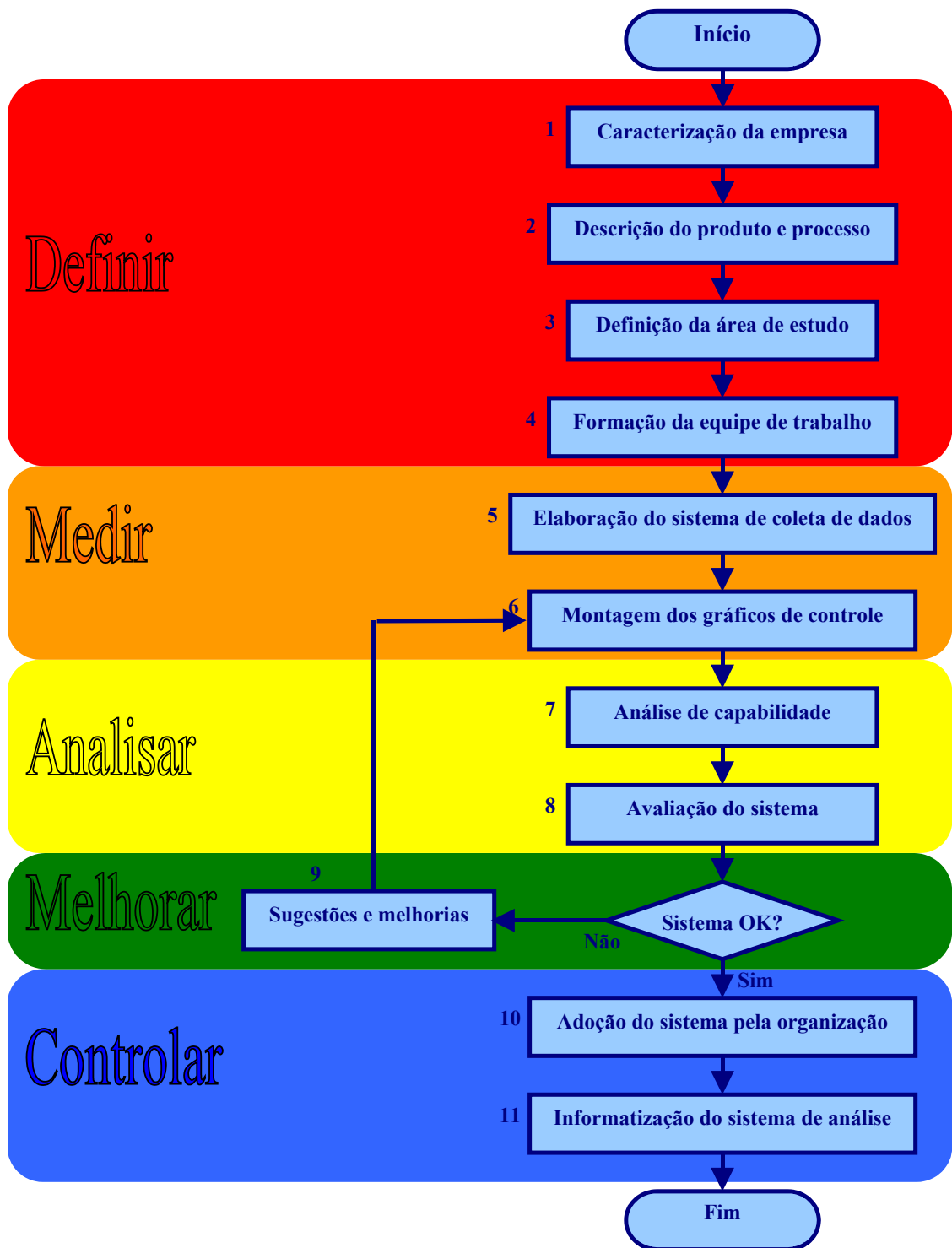


Figura 3.2: Fluxograma para aplicação do projeto proposto

Fase de Definição:

1. ***Caracterização da Empresa:*** apresenta a empresa a ser estudada, descrevendo sucintamente a sua história no Brasil e no mundo, o ramo de atividade, os mercados alvos, suas capacidades produtivas e funcionários.
2. ***Descrição do Produto e Processo:*** caracteriza os processos de transformação pelos quais os derivados de petróleo passam até que se obtenha o poliéster na forma de filamentos. Introduce conceitos elementares sobre polimerização e fiação que antecedem o processo de texturização, bem como descreve a etapa de beneficiamento chamado de texturização, que prepara o poliéster para as aplicações têxteis.
3. ***Definição da Área de Estudo:*** descreve o local onde será realizado o estudo para implantação do Controle Estatístico de Processo, caracterizando-o frente ao fluxo produtivo e discutindo os principais aspectos que levaram à sua escolha. Ainda são apresentadas as variáveis de análise que são utilizadas neste estudo, bem como descritos brevemente os métodos para obtenção dos resultados.
4. ***Formação da Equipe de Trabalho:*** define quais os funcionários que serão envolvidos no projeto de implantação, apresenta a distribuição destes na área da empresa em estudo (ex. funções, responsabilidades, número de funcionários, turnos, grau de escolaridade, etc.), analisa e define o programa de treinamento dos funcionários selecionados.

Fase de Medição:

5. ***Elaboração do Sistema de Coleta de Dados:*** definidas as características críticas para a qualidade que serão avaliadas, decide-se o modelo do sistema de coleta de dados informatizado a ser utilizado para a entrada dos resultados de análise, atentando-se aos aspectos didáticos e de simplicidade para não causar grandes alterações nos padrões usuais a que os funcionários estão acostumados. É verificada a adequabilidade dos equipamentos de medição e dos analistas para checar se estes atendem os níveis de qualidade exigidos. Antes da implantação formal do sistema de coleta serão realizadas simulações para constatar a sua eficácia e o treinamento operacional.

6. ***Montagem dos Gráficos de Controle:*** nesta etapa os dados coletados são analisados, modelados e formatados para a elaboração das cartas de controle e cálculo de estatísticas correlacionadas. Baseado na necessidade dos operadores e das áreas que utilizarão estas informações é definido o padrão da apresentação gráfica. A informatização desta etapa que envolve gráficos e cálculos numéricos facilitará não só o uso do sistema por parte dos operadores, como também tornará mais rápida a análise dos dados coletados. O desenvolvimento destas cartas é realizado integralmente por intermédio de software baseado no aplicativo Excel[®], com auxílio do programa estatístico MINITAB[®] para a checagem dos resultados, bem como para a verificação de normalidade e curvas características de operação das variáveis.

Fase de Análise:

7. ***Análise de Capabilidade:*** ainda durante o desenvolvimento da apresentação gráfica definida na etapa anterior, são implementados índices e histogramas que auxiliarão na análise da capacidade do processo. A interpretação das informações obtidas tanto nos

gráficos de controle como na análise de capacidade, fundamentadas no referencial teórico apresentado no capítulo 2, serão de extrema importância para a definição dos objetivos de desempenho do processo e identificação das fontes de variação.

8. ***Avaliação do Sistema:*** durante todas as etapas de desenvolvimento e implementação do Controle Estatístico de Processo deve-se testar os conceitos estatísticos aplicados e a sua interação com o sistema de produção em estudo, porém nesta etapa o processo todo deve ser avaliado do ponto de vista técnico e operacional. Se alterações forem necessárias, elas deverão ser identificadas até esta fase para que o sistema possa ser melhorado e novamente avaliado até que esteja adequado aos objetivos do estudo. É importante que se defina um referencial de controle que possa ser medido antes, durante e depois da implantação.

Fase de Melhoria:

9. ***Sugestões e Melhorias:*** caso o sistema implantado não seja aprovado, deve-se procurar identificar quais as causas potenciais do não sucesso através do estabelecimento de relação entre as variáveis e as tolerâncias operacionais para a proposição de soluções que venham a melhorar o sistema.

Fase de Controle:

10. ***Adoção do Sistema pela Organização:*** depois de chegadas e validadas pela equipe todas as fases anteriores, a capacidade deve ser estabelecida e o sistema será formalizado à organização. É definido o padrão visual da apresentação gráfica que se implementará na etapa de informatização do sistema.

11. ***Informatização do Sistema de Análise:*** a informatização do sistema que elaborará os gráficos de controle e cálculos numéricos através dos dados obtidos facilitará não só o uso do sistema por parte dos operadores e interessados de outras áreas da organização, como também tornará mais rápida a análise dos dados coletados. O aplicativo de análise é desenvolvido na mesma plataforma do sistema de coleta de dados, utilizando o aplicativo Excel[®], que é conhecido pela grande parte do corpo operacional da empresa. Além desta ferramenta que executará os cálculos rotineiros, o software Minitab[®] também é utilizado para os cálculos mais específicos.

Neste capítulo foram descritas e analisadas as principais etapas que serão seguidas para a implementação do controle estatístico de processos na UNIFI do Brasil Ltda. O envolvimento da equipe é de suma importância para o correto desenvolvimento das atividades, bem como para a obtenção das metas estabelecidas. Todos os envolvidos devem ter conhecimento de suas funções e responsabilidades.

O próximo capítulo mostrará de forma detalhada o desenvolvimento das atividades para a aplicação do modelo proposto.

Capítulo 4: Aplicação do Modelo

4.1. A EMPRESA

A história da UNIFI iniciou-se em 1971 na Carolina do Norte, Estados Unidos, pela união de vários pequenos produtores de fios texturizados que se juntaram para formar uma empresa maior e mais forte. Hoje ela é a maior produtora mundial de fios texturizados de náilon e poliéster, respondendo por aproximadamente 5% da produção global destes produtos, que são destinados principalmente às aplicações têxteis, automobilísticas, vestuário e móveis. A empresa conta mundialmente com oito centros produtivos, dezessete fábricas, quarenta e um escritórios de venda e cerca de 4.500 funcionários.

No Brasil, a UNIFI iniciou suas atividades em 1999, com a aquisição de uma unidade produtora localizada na cidade de Alfenas, no Estado de Minas Gerais, e de um escritório de vendas em São Paulo – S.P.

Desde então a empresa vem investindo continuamente no aumento da capacidade produtiva, melhoria de qualidade e atendimento ao cliente, de forma a estabelecer localmente a mesma imagem de excelência e qualidade que seus produtos e serviços já possuem em diversos países da América do Norte e Europa.

Sua principal atividade no Brasil é a texturização de filamentos têxteis de poliéster. Com uma capacidade de processamento estimada em 3.400 ton./mês, a UNIFI do Brasil Ltda., segundo dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT), é responsável por aproximadamente 18% da produção de filamentos sintéticos de poliéster consumidos no país.

A unidade produtora de Alfenas possui atualmente a média de 400 funcionários divididos entre as áreas de produção, controle de qualidade, desenvolvimento, planejamento, manutenção, embalagem, armazenagem, administrativa, compras e informática. O escritório de vendas de São Paulo conta com estimadamente 50 funcionários distribuídos principalmente entre as áreas de vendas, logística, assistência técnica e financeira.

4.2. O PRODUTO

O poliéster, como a grande maioria dos polímeros, é obtido por procedimentos de síntese de derivados de petróleo. Seu processo de polimerização se dá pela reação do Etileno Glicol com o Ácido Tereftálico ou do Etileno Glicol com o Dimetil-tereftalato.

Deste processo, o poliéster é extrudado na forma de pequenos grãos chamados de “chips”, que são facilmente armazenados e transportados.



Figura 4.1: “Chips” de poliéster

Para a obtenção dos filamentos de poliéster, estes “chips” são novamente fundidos e extrudados em um dispositivo com micro-orifícios conhecido por fiação. Imediatamente após a fiação, os filamentos são resfriados e uma camada de óleo lubrificante é adicionada ao fio para garantir a sua performance nas etapas posteriores de processamento.



Figura 4.2: Fieira

A vazão do polímero na fieira, associada à velocidade de enrolamento destes filamentos, define o padrão de orientação molecular da fibra. No caso do poliéster, geralmente é utilizado um padrão de orientação molecular parcial, daí o nome POY (“Partially Oriented Yarn”) pelo qual este produto é comumente conhecido.



Figura 4.3: bobina de POY

Mesmo já estando na forma de filamentos este POY ainda é um produto intermediário, pois mesmo que já tenham sido definidas características importantes como espessura dos filamentos, quantidade de filamentos, secção transversal, matricidade e até mesmo cor, ele ainda não apresenta grau de orientação molecular adequado nem tampouco aspecto e toque necessários às aplicações têxteis.

É utilizando o POY como matéria prima com a qual a grande maioria das unidades texturizadoras de poliéster iniciam as suas atividades, transformando-o por intermédio de ações térmicas e mecânicas para a obtenção do fio texturizado, cujas características físicas, de volume e toque se adaptam às aplicações têxteis.

O produto final deste processo, também no formato de bobinas e com o acréscimo de aditivo antiestático e antiatrito, já se encontra em condições de uso na maioria das aplicações têxteis conhecidas como tecelagens e malharias.



Figura 4.4: Bobina de fio texturizado

Diferentemente dos fios provenientes de fibras naturais como o algodão ou o linho, que são obtidos pela soma de fibras de tamanho relativamente curto, unidas pela coesão proporcionada por processos de torção, o poliéster texturizado é obtido através de fibras contínuas, o que lhe garante características únicas de resistência, toque e elasticidade.



Figura 4.5: Aspecto de fios liso e texturizado

Como pode ser observado na figura 4.5, os fios texturizados possuem como principal característica o alto volume causado pela deformação dos filamentos através do processo de texturização.

A evolução dos métodos de produção da matéria prima, bem como dos processos de acabamento, como a texturização, fazem com que o poliéster seja hoje a fibra têxtil com maior perspectiva de crescimento no Brasil e no mundo, substituindo principalmente os produtos tradicionalmente feitos de algodão e náilon.

4.3. O PROCESSO

Para este estudo, é definido por processo produtivo todo o conjunto de atividades executadas para a transformação da matéria prima POY desde a sua chegada até o envio do produto texturizado aos clientes. Para melhor entender o fluxo produtivo da UNIFI, são descritas as principais etapas do processo de texturização no fluxograma a seguir:

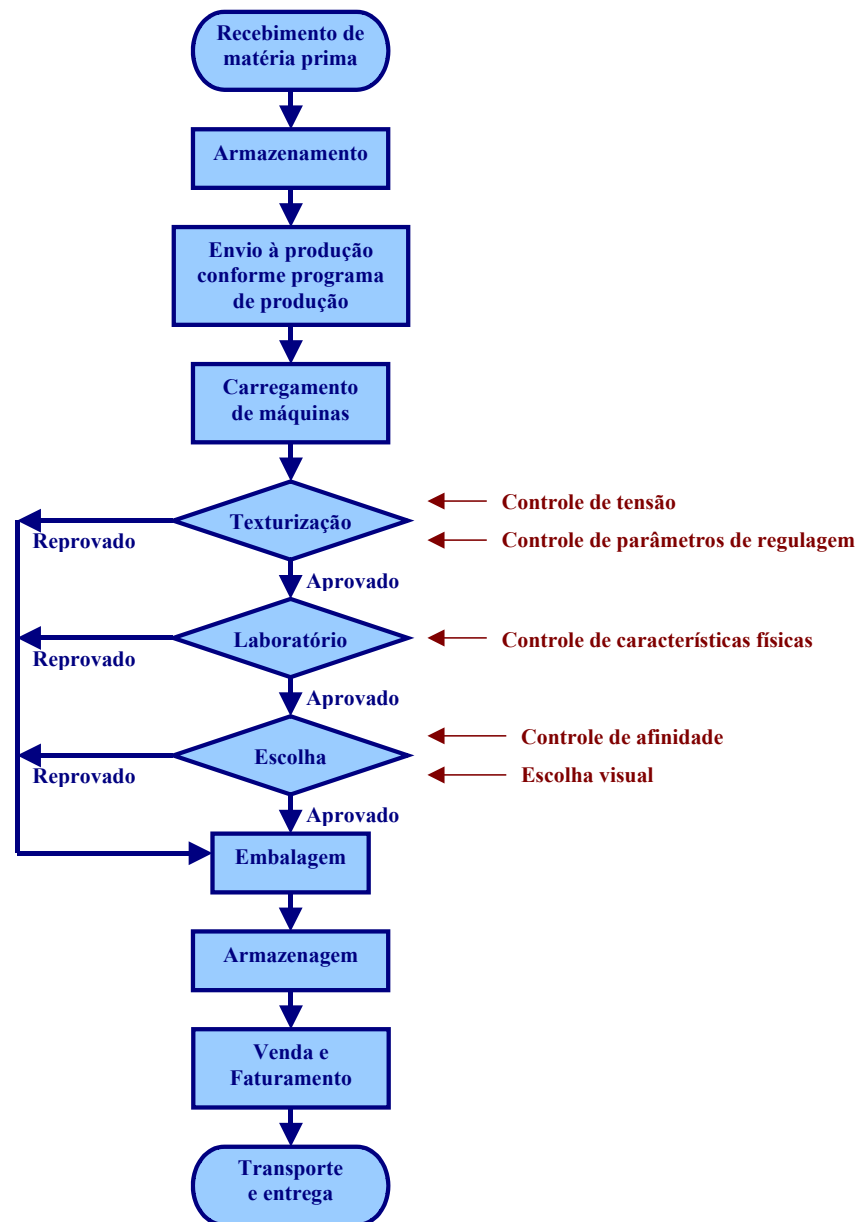


Figura 4.6: Fluxograma simplificado do processo produtivo

4.3.1. O processo de texturização

Como já mencionado anteriormente, o processo de texturização por falsa torção, ou simplesmente texturização, é realizado em equipamentos chamados texturizadoras, que transformam a matéria prima POY por meio de ação mecânica e térmica. Esta técnica consiste basicamente em deformar de uma maneira controlada e contínua os filamentos do POY para

conferir-lhe aspecto e toque adequados. O diagrama abaixo mostra as etapas básicas deste processo:

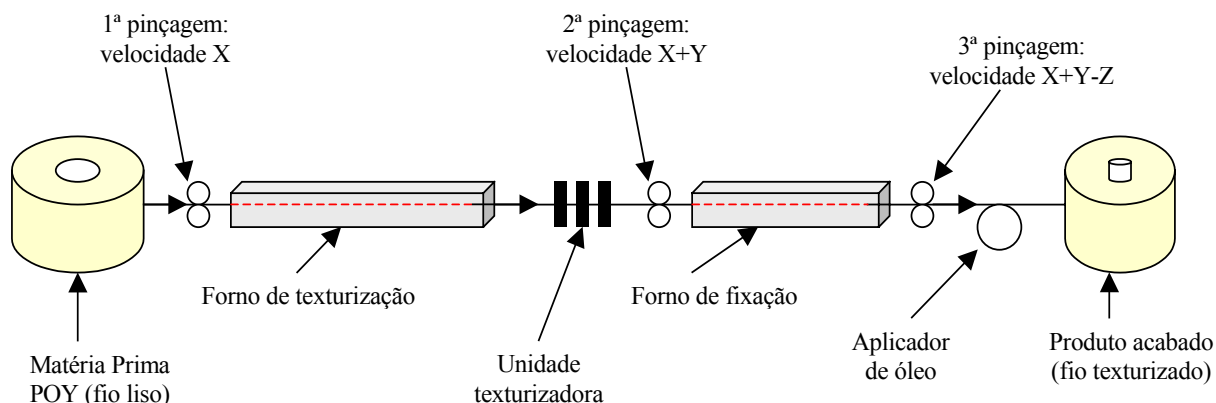


Figura 4.7: Diagrama simplificado do processo de texturização

A figura mostra de modo simplificado o processo de texturização convencional por falsa torção, onde o fio de poliéster é pinçado pelo primeiro eixo, que determina a velocidade de desenrolamento da matéria prima. A segunda pinçagem acontece a uma velocidade mais alta que a primeira, que facilitada pela temperatura do forno de texturização, proporciona a estiragem e a consequente orientação molecular do fio. Ainda nesta etapa acontece o processo de texturização, executado pela unidade texturizadora, cujo procedimento consiste em torcer e destorcer os filamentos por meio de discos de fricção. Em seguida o fio é fixado no forno de fixação, que controla a estabilidade da torção aplicada pela unidade texturizadora, bem como o volume do fio. Após a fixação, o fio já estabilizado recebe uma aplicação de óleo com características antiestáticas e antiatrito e é novamente enrolado em bobinas já em condições de uso nas aplicações têxteis mais comuns. Na opinião de Ali & Behery (1997), através deste processo o fio recebe volume, tenacidade, entre outras características imprescindíveis para a confecção de tecidos.

4.4. DEFINIÇÃO DE ÁREA DE ESTUDO E ESCOLHA DE VARIÁVEIS

Através da análise do fluxograma do processo produtivo (figura 4.6), é possível identificar que as etapas do processo onde são executados os controles são a texturização, o laboratório e a escolha. São justamente estas áreas que tem maior impacto nas características definidas como a voz do cliente.

De acordo com o objetivo proposto de descrever técnicas de controle estatístico de processos, o estudo é focado nestas etapas de controle cujas descrições são as seguintes:

- **Controle de tensão “on-line”:** como o próprio nome indica, trata-se de um dispositivo instalado nas máquinas que tem a função de analisar em tempo real a qualidade do produto em processo. Esta análise se dá por intermédio do monitoramento da tensão do fio sob um dispositivo de leitura. Por se tratar de um dos mais importantes parâmetros de controle sobre o produto, todas as máquinas possuem este dispositivo instalado e atuando. Desta maneira, é possível identificar e segregar qualquer distúrbio ou variação que possa caracterizar-se como não conformidade;
- **Controle de parâmetros de regulação:** estas análises estão intimamente relacionadas ao monitoramento dos parâmetros de *setup* das máquinas texturizadoras, tais como temperaturas, velocidades e pressões de ar. Estes procedimentos são executados rotineiramente pelo departamento de controle de processos como forma de garantir que variações destes parâmetros não causem problemas ao produto;
- **Controle de características físicas:** é composto por um conjunto de análises laboratoriais que tem por objetivo principal a caracterização técnica do produto, bem como a sua manutenção ao longo do tempo. Através destes ensaios é que se identifica o perfil do produto quanto as suas principais características e especificações

comerciais. Pela alta necessidade de mão de obra intensiva para a realização de tais testes, estes são executados sistematicamente e de forma amostral, e a partir destes resultados infere-se sobre os resultados populacionais destas importantes variáveis de processo;

- **Controle de afinidade tintorial:** ainda que o fio já tenha passado por várias etapas de controle, este ainda não tem definido uma característica de extrema importância aos clientes e à própria UNIFI, que é a garantia de que o produto se comportará de maneira uniforme durante um processo de tingimento. Esta análise consiste na coleta de uma pequena amostra de fio de cada uma das bobinas produzidas, que são transformadas em uma meia de malha de formato tubular que posteriormente são tingidas e comparadas contra um padrão. Por ser uma variável não identificável pelo cliente até que se tenha a confecção e o tingimento do tecido, os eventuais problemas desta natureza que ocorrem nos clientes geralmente comprometem grandes quantidades de material, e na maioria das vezes são acompanhadas de grandes perdas e indenizações;
- **Inspeção visual:** como último ponto de controle, o produto é submetido a checagens de peso, diâmetro e a uma inspeção visual rigorosa por busca de defeitos como sujeira, deformações, filamentos rompidos, entre outros. É nesta etapa de controle que o produto é subdividido e classificado em famílias cujo principal objetivo é atender às necessidades específicas de clientes quanto as principais aplicações têxteis.

Embora todas estas etapas de controle desempenhem papel importante na definição da qualidade do produto, para os objetivos propostos por este trabalho foi estabelecido que somente os resultados do laboratório de controle de qualidade serão analisados. A definição em prol desta área é justificada pelo alto nível de especialização e treinamento dos funcionários, garantindo que os resultados de análises sejam confiáveis quanto a vícios ou

erros de medição. Também pesa na decisão por esta área a estrutura de coleta e armazenamento de dados, que estão dispostos em bancos de dados que facilitarão bastante o trabalho computacional de análise e determinação dos sistemas de controle.

4.5. AS VARIÁVEIS DE ANÁLISE

Antes de se iniciar a descrição dos métodos de análise algumas definições devem ser consideradas:

Dtex – Medida em gramas da massa de 10.000 metros de fio

Tex – Medida em gramas da massa de 1.000 metros de fio

cN (centinewton) – medida de força, onde 1,0 grama \approx 1,02 cN

A maioria das análises realizadas pelo laboratório são de natureza física envolvendo a coleta de amostras de fio. Diante deste fato e da elasticidade natural que a maioria dos fios têxteis possuem, faz-se necessária a definição de uma unidade de tensão que estabeleça um referencial para estas medidas. Com este objetivo, internacionalmente são definidos padrões de pré-tensionamento usados como referencial para a determinação destas medidas, sendo que para o poliéster texturizado este referencial de pré-tensionamento é de 2 cN/Tex.

Os principais resultados de análise utilizados neste estudo estão descritos de forma resumida a seguir:

Título:

A análise de titulação tem por objetivo a determinação de um padrão que esteja relacionado com a espessura do fio. Esta medida é obtida através da pesagem de uma amostra de comprimento determinado, que no caso do Dtex é equivalente a 10.000 metros de fio. Geralmente as indústrias têxteis utilizam como padrão a coleta de uma amostra de 100 metros de fio, e a medida de referência baseada nos 10.000 metros é estabelecida por relação direta.

Tenacidade:

Está relacionada à resistência do fio. A tenacidade é obtida pelo quociente entre a resistência do fio, medida nominalmente em cN (centinewton) pelo título do fio, medido em “Tex”. O seu valor é expresso em cN/tex, que é uma medida de força invariável quanto a unidade de título.

Alongamento:

Esta análise é realizada pelo mesmo equipamento que calcula o título e a tenacidade. Esta medida representa o quanto um comprimento de referência, que no nosso caso é de 50 cm tensionado inicialmente a 2 cN/tex, pode ser esticado até que ocorra o seu rompimento. O valor é medido percentualmente comparando-se o comprimento inicial da amostra com relação ao comprimento máximo atingido antes do rompimento do fio. Como esta análise é executada pelo mesmo equipamento que calcula a tenacidade, ambos os valores são obtidos conjuntamente como exemplificado na figura abaixo:

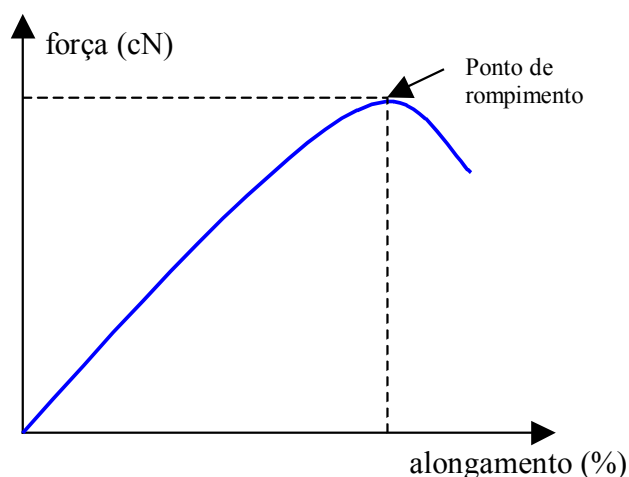


Figura 4.8: Diagrama força versus alongamento

A figura acima exemplifica o comportamento de um fio texturizado de poliéster diante da aplicação de carga. A inflexão da curva determina o ponto de maior resistência e alongamento que o fio pode ser submetido antes do rompimento.

Encolhimento:

O poliéster, assim como a maioria dos polímeros, possui a tendência de reagir a estímulos térmicos, o que o torna um material sensível a processos de acabamento que envolvam esta variável. A análise de encolhimento tem por objetivo principal determinar o comportamento do material quanto a processos de acabamento visando aspectos relacionados à elasticidade e toque do tecido. Para este fim, é simulado laboratorialmente como uma amostra padrão se comporta quando exposta à água aquecida. O valor desta análise é medido percentualmente considerando-se o comprimento da amostra após o tratamento térmico comparado ao seu comprimento inicial.

Percentual de óleo:

O poliéster, assim como a quase totalidade dos fios têxteis, necessita da aplicação de um aditivo com características antiatrito e antiestática. Este produto, à base de óleos minerais e aditivos, tem como principais características:

- Diminuir o atrito do fio com os órgãos de contato das máquinas, diminuindo o seu desgaste;
- Facilitar o processo de tecelagem, permitindo altas velocidades de desenrolamento do fio e de processamento;
- Evitar o acúmulo de eletricidade estática.

O percentual de óleo sobre o fio é determinado percentualmente com relação à massa do poliéster em análise. Esta normalmente é realizada por métodos de extração com solventes pesando-se a amostra antes e após a retirada do óleo.

Torque:

Como consequência natural do processo de texturização por falsa torção, os filamentos que compõem o fio de poliéster apresentam após a finalização do processo uma tendência de destorcerem-se. A análise de torque é aplicada com o objetivo de determinar esta força por intermédio da medição da velocidade e do tempo que um comprimento específico de fio gasta para desfazer totalmente este resíduo de torção. Após a determinação destas medidas, é obtido o resultado que é expresso pela razão de torções por metro por segundo.

Entrelaçamento:

Certas aplicações, além de necessitarem do aditivo antiatrito e antiestático, exigem que os filamentos que compõem o fio sejam unidos com o objetivo de melhorar ainda mais a performance do produto. A técnica de entrelaçar os fios consiste em, através de uso de ar comprimido, embaraçar os filamentos que compõem o fio aumentando a sua coesão. A análise de entrelaçamentos determina o número de pontos de embaraçamento que o fio apresenta por metros.

Retenção 3% e 5%:

Como consequência negativa à aplicação dos pontos de entrelaçamento aos fios texturizados, os tecidos confeccionados a partir destes produtos tendem a apresentar um aspecto de toque e volume menor que os confeccionados com fios sem estes pontos. Além disso, em níveis elevados estes podem ainda causar efeitos visuais indesejáveis nos tecidos. A maneira de analisar o impacto destes pontos no aspecto de um tecido é através da análise de retenção de entrelaçamentos, a qual identifica com que coesão ou força os pontos foram formados. O método consiste em aplicar um esticamento padrão a estes fios, sendo 3% para fios destinados à confecção de malhas e 5% para fios destinados a tecidos, e medir a quantidade de pontos de entrelaçamento que se mantêm após esta tensão. Os valores desta

análise são expressos em percentual de pontos remanescentes comparados aos pontos originais.

Densidade:

A análise desta variável está relacionada com a dureza da bobina. Ela é de extrema importância principalmente para bobinas de fio destinadas a tingimento, pois variações destes resultados implicam em problemas de fluxo de banho durante este processo, que podem ocasionar variação na absorção do corante. Para as bobinas não destinadas a tingimento, esta variável também pode ser correlacionada com a performance de desenrolamento. Seu cálculo se dá através da relação entre a massa e o volume da figura a seguir:

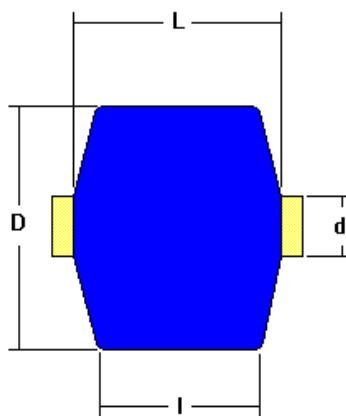


Figura 4.9: Dimensões de uma bobina de fio poliéster texturizado

Daí obtém-se a densidade através da fórmula:

$$\rho = \frac{0,9549297 * \text{Peso Líquido (g)}}{\frac{D-d}{2} * \left(\left(L * \frac{D-d}{2} \right) + \left(2 * l * \frac{D-d}{2} \right) + (1,5 * L * d) + (1,5 * l * d) \right)} \quad (4.1)$$

Esta formula utilizada internamente pela UNIFI foi obtida através da simplificação da formula original do cálculo de densidade através da razão da massa sobre o volume da figura 4.9.

Peso:

Certas aplicações exigem que as bobinas de fio apresentem pequena variação de peso, o que significa dizer que a variação da quantidade de fio em metros entre cada uma das bobinas que o cliente esteja utilizando deve ser pequena. Esta característica é importante para aplicações onde o equipamento de confecção utiliza muitas bobinas ao mesmo tempo e o término de qualquer bobina antes das demais significa perda de produtividade ou saldos desnecessários.

Diâmetro:

Devido principalmente a restrições de equipamentos muitos clientes solicitam que seus produtos possuam características determinadas de diâmetro. Para este fim, os diâmetros dos produtos são ajustados durante o processo de desenvolvimento e monitorados constantemente para garantir que não haja desvios das especificações originais.

4.6. FORMAÇÃO DA EQUIPE DE TRABALHO

Devido à necessidade de envolvimento operacional a definição da equipe de trabalho, bem como sua correta preparação e treinamento para a execução das tarefas são, sem dúvida nenhuma, fatores de suma importância para o desenvolvimento do trabalho, visto que falhas ou despreparo da equipe podem comprometer completamente todo o estudo.

Como a pretensão deste estudo está focada na implementação de ferramentas de qualidade em uma área específica da empresa, cuja localização física, área de influência e conjunto de funcionários são bem definidos, optou-se pelo envolvimento total da equipe no processo. Isto significa que os doze analistas e os dois supervisores da área recebem o devido treinamento, estando aptos a executar as análises, coletar e digitar os resultados no banco de dados.

Sob o ponto de vista prático e teórico, a escolha do laboratório da empresa parece ser adequada sob vários aspectos, dos quais pode-se citar como de maior relevância os seguintes:

- Esta área da empresa é a que possui o menor nível de rotatividade de funcionários, o que na prática significa que estes apresentam os maiores níveis de experiência operacional dentro da organização;
- Por ser uma área fundamental na análise de determinação das características de qualidade do produto, estes funcionários passam constantemente por treinamentos e reciclagens visando a melhoria contínua;
- A maioria dos funcionários possui grau de escolaridade intermediário e conhecimento em informática;
- O alto nível de automação dos equipamentos de análise auxilia na diminuição de variações ocasionadas por diferenças entre os analistas, não sendo necessária a realização de estudos de R&R;
- O grau de relação existente entre alguns resultados de análise torna mais fácil a identificação de erros advindos de medições incorretas ou falhas operacionais.

Como pode ser observado, o laboratório da empresa apresenta algumas peculiaridades que fazem dele a escolha natural para a fase inicial de implantação do controle estatístico de processos. Estes diferenciais fazem com que os riscos de insucesso nesta área sejam comparativamente menores que os oferecidos por outras.

4.7. ELABORAÇÃO DO SISTEMA DE COLETA DE DADOS

A grande maioria das análises executadas pelo laboratório são automatizadas, o que confere um grau de confiabilidade elevado aos resultados, eliminando causas especiais de variação que normalmente resultam em problemas de reprodutividade. No entanto, a empresa

não possui um sistema informatizado que colete, sumarie, armazene e analise estes resultados automaticamente.

Em face desta característica e ao grande volume de dados gerados pelo laboratório da UNIFI, faz-se necessário o desenvolvimento de um sistema de coleta e armazenagem informatizado, que além de tornar mais rápido o registro da coleta, também o tornará mais confiável. O sistema prevê algumas rotinas de segurança com avisos para valores suspeitos, fora dos limites ou erros de digitação que venham a ser lançados. O programa também fornecerá valores de referência histórica do produto em análise que servirão como referência comparativa para checar a consistência dos dados lançados.

Outra função determinada para o sistema de entrada de dados é que este, devido aos métodos de segurança e a comparação dos valores coletados com o histórico de produção, poderá ser utilizado como ferramenta de melhoria da qualidade da empresa. O relatório gerado no momento da entrada dos dados fornecerá indícios sobre a possibilidade de erros de análise ou produtos que estejam desviando-se dos valores de referência de produção. Com isso a empresa contará com um sistema “on-line” preliminar de identificação de produtos suspeitos ou fora de especificação.

Após a checagem dos dados pelo sistema, estes são armazenados em um banco que é utilizado para alimentar as fases seguintes de montagem dos gráficos de controle e índices de capacidade.

O sistema informatizado de coleta e análise preliminar dos dados criado pelo autor foi desenvolvido na plataforma do programa Excel[®], apoiado em rotinas desenvolvidas em Visual Basic e conjuntos de fórmulas estatísticas.

A seguir é apresentada a tela de entrada de dados:

Imprimir e Gravar

Fio 167f96 - BE - TBD produzido em V900

Relatório de Análise

Lote: I204	Virada: 598	Máqu.: C08	Data: 2/10/2003
Título: 167f96	Entrel.: BE	Apres.: TBD	T.Máq.: V900

Posição	13	45	52	67	72	96	106	Média	Desvio	Média Especificação	Limite Média	Limite Obs.		
Título	Dtex	172,0	172,3	172,8	171,3	172,1	173,0	173,6	172,4	0,8	171,8	±2,9	±5,2	
Tenacidade	cN/tex	38,5	39,9	40,7	40,7	38,0	38,2	40,8	39,5	1,3	37,1	±3,8	±7,1	
Alongamento	%	15,2	15,3	16,0	15,2	14,7	15,8	15,1	15,3	0,4	14,4	±3,4	±6,3	
Óleo	%	1,7	1,8	1,8	1,6	1,9	1,8	1,7	1,8	0,1	1,9	±1,0	±1,5	
Encolhimento	Pré-medida	49,7	49,2	49,9	48,8	48,6	48,5	49,0	49,1	13,8	0,8	14,0	±1,6	±2,8
		49,5	49,1	49,9	48,5	48,9	48,9	49,0	49,1					
	49,6	49,1	49,8	48,4	48,4	49,0	49,3	49,1						
	42,0	42,8	43,6	42,2	41,6	41,9	42,5	42,4						
Pós-medida	42,1	42,6	43,2	42,2	41,8	42,5	42,6	42,4						
	42,0	42,6	43,1	42,1	41,7	42,0	42,2	42,2						
%		15,3%	13,2%	13,2%	13,2%	14,3%	13,7%	13,6%						
Encolhimento Residual	Pré-medida													
	Pós-medida													
	%													
Torque	Torções / metro	-22,00	-25,10	-22,30	-19,30	-22,50	-20,50	-24,90	-22,37	-3,47	0,2	-3,3	±0,7	±0,4
		-22,50	-24,80	-22,00	-20,30	-22,00	-20,00	-25,10	-22,39					
	-23,00	-24,20	-23,00	-20,10	-21,90	-20,20	-25,60	-22,57						
	6,50	7,00	6,80	5,70	6,00	6,30	6,50	6,40						
	6,80	7,30	6,70	5,60	5,90	6,50	7,10	6,56						
	6,70	7,30	6,50	5,60	6,00	6,20	6,90	6,46						
T/m/s		-3,38	-3,43	-3,37	-3,53	-3,71	-3,19	-3,69						
Entrelaçamento	Nós/m	35,2	38,5	42,6	45,3	40,1	39,4	41,5	40,4	3,2	40,3	±40,8	±16,0	
Retenção 3%	%	62,0	58,4	49,3	59,1	62,8	65,3	69,7	60,9	6,4	57,2	±69,0	±24,2	
Retenção 5%	%	40,8	39,2	42,1	37,7	43,1	35,5	37,9	39,5	2,7	43,0	±90,3	±20,0	
Peso	C. Maior	25	24,7	24,6	24,8	24,9	24,8	24,8	24,8	5214,3	50,7	0,62	±0,05	±0,07
	C. Menor	22	21,7	21,5	22	22,2	21,3	22,1	21,8					
g		5280	5230	5220	5180	5255	5210	5125						
Diâmetro	cm	22,8	22,4	23,0	21,6	22,8	21,9	22,6	22,4	0,5				
Densidade	g/cm³	0,607	0,633	0,600	0,674	0,602	0,669	0,601	0,626	0,033				
Peso do tubete: 145								Analista:		Luzia				
Observações:														

Figura 4.10: Tela de entrada de dados

Pode-se observar na figura 4.10 os campos circulos em azul onde são digitados os dados de análise. O campo superior contém informações sobre a identificação e a rastreabilidade do produto analisado, que são de extrema importância no momento da

automatização do sistema de análise. Assim que é inserido o número do lote os valores circulados em verde, que correspondem à especificação do produto, são trazidos à tela facilitando a quantificação e a comparação de cada um dos resultados da análise. Os demais campos marcados em azul são utilizados exclusivamente para entrada de resultados de análises.

A especificação do produto é composta por três colunas cujas definições são as seguintes:

- **Média da Especificação:** trata-se do valor médio obtido para o lote em questão durante a sua fase de desenvolvimento e aprovação formal;
- **Limite da Média:** refere-se ao intervalo de confiança a 99,73% de probabilidade para uma distribuição normal padrão (ou mais ou menos três desvios padrão), para a média das médias das análises arquivadas;
- **Limite das Observações:** é obtido calculando-se o intervalo de confiança a 99,73% para a média dos desvios.

Pela correspondência existente entre intervalos de confiança e testes de hipóteses, pode-se estabelecer um mecanismo de checagem que, à medida que os valores de análise são digitados, estes são comparados com a especificação do produto. Além destes valores, também a média e desvio padrão de cada uma das análises são calculados e comparados com a especificação do produto. São estes valores de médias e desvios juntamente com as informações de identificação, ambos marcados em vermelho na figura acima, que são arquivados no banco de dados para a montagem dos gráficos de controle.

Para iniciar a digitação de uma nova análise o analista tem que checar se o sistema aceitou todos os valores digitados, e gravar os resultados no banco de dados. Caso o sistema identifique algum erro de digitação especialmente nos campos de identificação do produto

não é permitida a gravação e impressão dos resultados. Desta forma, garante-se que os dados que ingressarão no banco de dados estejam livres de erros de digitação ou identificação.

A figura a seguir ilustra alguns tipos comuns de problemas ou erros de digitação identificados pelos procedimentos de checagem:

Imprimir e Gravar		Fio 167f96 - BE - TBD produzido em V900											
		Informações do artigo não correspondem ao Lote											
Relatório de Análise													
UNIFI		Lote: I204			Virada: 598			Máqu.: C08			Data: 2/10/2003		
		Título: 167f48			Entrel.: BE			Apres.: TBD			T.Máq.: V900		
Posição		13	45	52	67	72	96	106	Média	Desvio	Média especificação	Limite Média	Limite Obs.
Título	Dtex	172,0	172,3	172,8	179,0 <i>Fora</i>	172,1	173,0	173,6	173,5	2,5 <i>Aleria</i>	171,8	±2,9	±5,2
Tenacidade	cN/tex	38,5	39,9	40,7	40,7	38,0	38,2	40,8	39,5	1,3	37,1	±3,8	±7,1
Alongamento	%	15,2	15,3	16,0	23,0 <i>Fora</i>	14,7	15,8	15,1	16,4	2,9 <i>Aleria</i>	14,4	±3,4	±6,3
Óleo	%	1,7	1,8	1,8	1,6	1,9	1,8	1,7	1,8	0,1	1,9	±1,0	±1,5
Encolhimento	Pré-medida	49,7	49,2	49,9	48,8	48,6	48,5	49,0	49,1				
		49,5	49,1	49,9	48,5	48,9	48,9	49,0	49,1				
		49,6	49,1	49,8	48,4	48,4	49,0	49,3	49,1				
	Pós-medida	42,0	42,8	43,6	42,2	41,6	41,9	42,5	42,4				
		42,1	42,6	43,2	42,2	41,8	42,5	42,6	42,4				
		42,0	42,6	43,1	42,1	41,7	42,0	42,2	42,2				
	%	15,3%	13,2%	13,2%	13,2%	14,3%	13,7%	13,6%	13,8	0,8	14,0	±1,6	±2,8
Encolhimento Residual	Pré-medida												
	Pós-medida												
	%												
Torque	Torções / metro	-22,00	-25,10	-22,30	-19,30	-22,50	-20,50	-24,90	-22,37				
		-22,50	-24,80	-22,00	-20,30	-22,00	-20,00	-25,10	-22,39				
		-23,00	-24,20	-23,00	-20,10	-21,90	-20,20	-25,60	-22,57				
	Tempo	6,50	7,00	6,80	5,70	6,00	6,30	6,50	6,40				
		6,80	7,30	6,70	5,60	5,90	6,50	7,10	6,56				
		6,70	7,30	6,50	5,60	6,00	6,20	6,90	6,46				
	T/m/s	-3,38	-3,43	-3,37	-3,53	-3,71	-3,19	-3,69	-3,47	0,2	-3,3	±0,7	±0,4
Entrelaçamento	Nós/m	35,2	38,5	42,6	45,3	40,1	39,4	41,5	40,4	3,2	40,3	±40,8	±16,0
Retenção 3%	%	62,0	58,4	49,3	59,1	62,8	65,3	69,7	60,9	6,4	57,2	±69,0	±24,2
Retenção 5%	%	40,8	39,2	42,1	37,7	43,1	35,5	37,9	39,5	2,7	43,0	±90,3	±20,0
Peso	C. Maior	25	24,7	24,6	24,8	24,9	24,8	24,8	24,8				
	C. Menor	22	21,7	21,5	22	22,2	21,3	22,1	21,8				
	g	5280	5230	5220	5180	5255	5210	5125	5214,3	50,7			
Diâmetro	cm	22,8	22,4	23,0	21,6	22,8	21,9	22,6	22,4	0,5			
Densidade	g/cm³	0,607	0,633	0,600	0,674	0,602	0,669	0,601	0,626	0,033	0,62	±0,05	±0,07
Posições 2ª qualidade: 67,		Peso do tubete: 145						Analista:		Luzia			
Observações:													
Informações do artigo não correspondem ao Lote													

Figura 4.11: Mecanismos de Detecção de Falhas

A figura 4.11 ilustra alguns dos mecanismos de identificação de erros ou produtos fora de especificação (marcados em rosa) implementados para avisar o digitador sobre valores fora dos padrões estabelecidos.

Este sistema contém regras simples estabelecidas com base no conhecimento histórico da organização, que auxiliam na identificação de padrões ou tendências que sinalizem para um possível falta de controle de processo ou para o descumprimento da especificação. Tais padrões são descritos abaixo:

- **Crítérios de Alerta:** são utilizados para mostrar valores que não estejam fora de especificação, mas que apresentam fortes indícios de irregularidades. Para a checagem de pontos individuais é proposta a distância de dois terços do “Limite Obs.” da média da análise, para a checagem da média da análise é proposta a distância de dois terços do “Limite Média” da média de especificação e para o desvio padrão é proposto que este não deve exceder dois terços do “Limite Obs.”;
- **Crítérios de Desclassificação:** neste caso as posições fora de especificação são desclassificadas e é requerida imediata atuação do controle de processos na tentativa de identificar e resolver a causa do desvio.

Juntamente com os critérios de análise de desvios do processo, também foi implementado um mecanismo de checagem das informações de identificação do produto (valores circulados em verde na figura 4.11). O sistema compara as informações de identificação do lote que estão arquivadas no sistema com as informações entradas pelo digitador. No caso de alguma inconsistência entre os dados, o sistema emite um alerta informando que as informações de identificação não conferem. Deste modo, grande parte das possíveis falhas de digitação são suprimidas, pois o operador tem que se certificar que tanto as informações arquivadas do banco de dados como as informações digitadas sejam as mesmas.

Para validar o sistema informatizado de coleta de dados, os resultados coletados durante o período de um mês foram checados manualmente para confirmar os cálculos executados internamente no programa.

Outro ponto fundamental para garantir a confiabilidade dos dados é que os equipamentos de medição utilizados na análise das características dos produtos estejam calibrados. Para este propósito, além das aferições sistemáticas executadas por laboratórios credenciados, foram coletadas amostras padrão que também são analisadas sistematicamente para garantir maior confiabilidade às medições.

É importante ressaltar também que como as análises são executadas por equipamentos aferidos, a questão da reprodutividade das amostras está garantida, ficando como principais fontes de variação somente a matéria prima e o equipamento de texturização. Com isso, não haverá a necessidade de estudos de R&R para determinar os componentes de variação dos resultados.

4.8. MONTAGEM DO SISTEMA DE CONTROLE

No momento da realização deste trabalho, o banco de dados do laboratório contém um total de 11.451 registros de análises distribuídos por 1.095 diferentes lotes. Como o intuito deste trabalho é estabelecer um sistema que possa ser utilizado para cada um destes produtos, algumas suposições foram checadas para garantir a adequabilidade do sistema a todos os possíveis produtos que compõem o “mix” de produção da empresa, sem a necessidade de se checar características como a suposição de normalidade dos dados ou a análise de capacidade para cada um dos produtos individualmente. Assim, pode-se adotar o modelo de CEP em um único lote e inferir que os resultados são similares para qualquer outro produto. As seguintes suposições foram checadas:

- Os mesmos métodos de análise são empregados para todos os produtos;

- Todos os produtos apresentam características físicas similares;
- O processo de transformação usado para todos os produtos do “mix” de produção é o mesmo;
- Todas as máquinas apresentam características similares;
- A matéria prima utilizada pela empresa vem principalmente de alguns poucos fornecedores que garantem a estabilidade de seus produtos;
- Todos os equipamentos texturizadores passam pelos mesmos procedimentos de manutenção periódica e ciclos de limpeza e aferição;
- A amostragem coletada e analisada de diversos produtos apresentou resultados de normalidade e capacidade similares.

Com a verificação destas suposições, consegue-se inferir que os resultados e conclusões obtidos somente para o lote I200 poderão ser expandidos aos demais produtos sem maiores restrições.

Para a elaboração dos gráficos de controle e cálculos foi utilizado o programa Excel[®]. Trata-se de um programa de planilha de cálculo que em seu módulo de gráficos permite-se montar os gráficos que são utilizados neste trabalho. Para este fim, foi criado um módulo adicional ao programa de coleta de dados, de modo a formar um único sistema informatizado, permitindo que os dados necessários sejam analisados diretamente do Banco de Dados montado no próprio programa.

Como todas as variáveis de interesse são contínuas, os gráficos de controle mais adequados a essas características são os gráficos de controle por variáveis, e dentre estes, o mais adequado é o gráfico \bar{X} e S pois, além da disposição dos dados arquivados já conterem o valor do desvio padrão amostral, o tamanho da amostra é seis, o que já permite a aplicação deste método com bons resultados.

A Figura a seguir mostra a tela de acesso ao sistema informatizado de controle estatístico de processos:

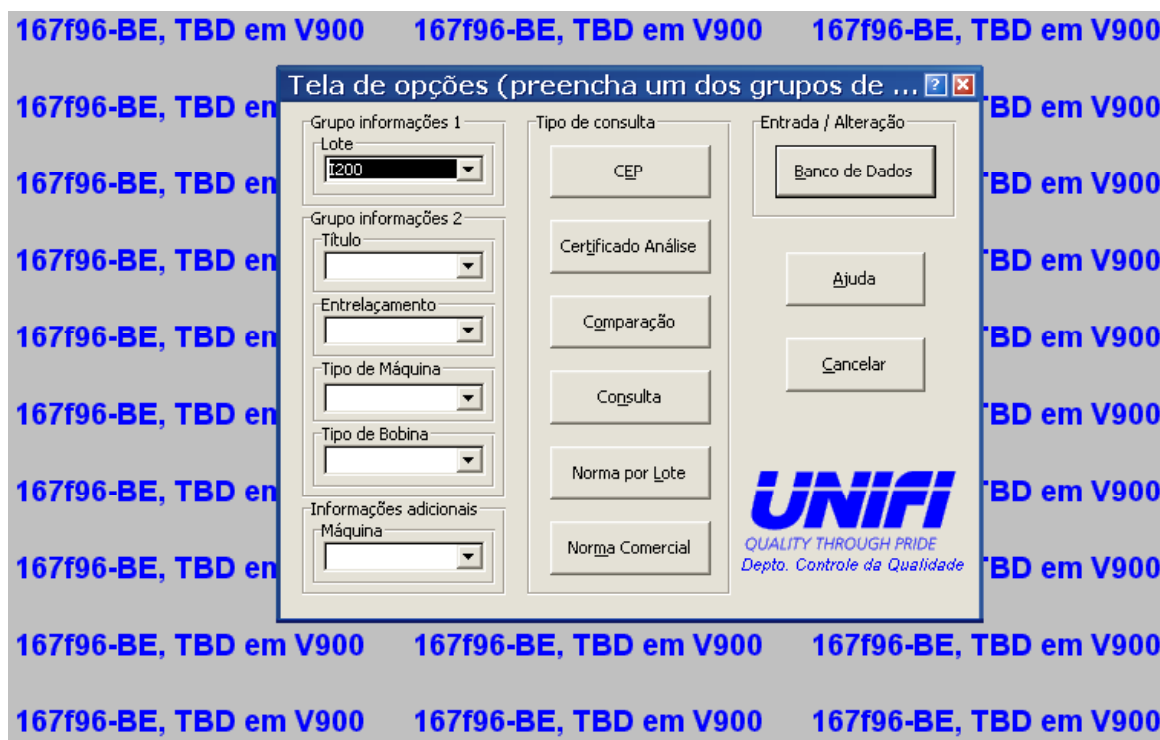


Figura 4.12: Tela de acesso aos gráficos de controle

Pode-se verificar na tela de consulta que além do relatório de CEP também existem algumas outras opções implementadas especialmente para suprir requisitos de clientes que possuem sistemas de qualidade como a ISO ou a QS ou para uso interno. Porém, como estes relatórios não são pertinentes a este trabalho, eles não serão abordados.

Pode-se observar também que existem vários filtros de consulta, divididos de acordo com critérios de necessidade adotados pela organização. Estes filtros são descritos da seguinte forma:

- **Lote:** é a unidade básica de identificação de um produto. Produtos com o mesmo lote apresentam as mesmas características e portanto podem ser comparados ao longo do tempo;

- **Título:** está relacionado ao nome comercial do produto. É possível a existência de vários produtos com o mesmo nome comercial, porém com características diferentes;
- **Entrelaçamento:** existem níveis de entrelaçamento que determinado produto pode apresentar. Por definição os produtos são classificados como OT: sem entrelaçamento, SB: entrelaçamento super baixo, BE: entrelaçamento baixo, ME: entrelaçamento médio, AE: entrelaçamento alto, SE: super entrelaçamento e AR: fios texturizados a ar;
- **Tipo de Máquina:** a unidade produtiva de Alfenas dispõe de diversos tipos de equipamentos texturizadores, sendo que cada família apresenta características peculiares que são apropriadas à produção de determinados produtos;
- **Tipo de Bobina:** os fios produzidos pela UNIFI podem ser enrolados em diversos tipos de tubos com diferentes características para diferentes aplicações;
- **Máquina:** é o número do equipamento utilizado para produção. Como existem várias famílias de máquinas iguais na fábrica, pode-se produzir um mesmo produto (lote) em diversos equipamentos, daí a necessidade de utilização deste filtro, pois muitas vezes é desejável a comparação entre mesmos produtos produzidos em diferentes equipamentos.

Como o lote, e complementarmente à máquina, são as únicas variáveis que podem se referir a um mesmo produto, então somente estes filtros são disponibilizados para a execução dos gráficos de controle e cálculos estatísticos do módulo de CEP. Todos os demais filtros poderão conduzir a resultados inconsistentes.

Pode-se observar ainda na figura 4.12 que imediatamente após a escolha do lote para consulta as informações elementares de identificação do produto são trazidas à tela (título

167f96, entrelaçamento *BE*, tipo de bobina *TBD*, tipo de máquina *V900*), facilitando a sua identificação. Após a escolha adequada do produto para consulta, basta clicar no botão “CEP” e os gráficos e cálculos são executados para as últimas trinta análises realizadas para o produto.

Para garantir que o CEP somente seja realizado com os filtros adequados, foi implementado um mecanismo de aviso que desvia a rotina de início de cálculos impedindo que se obtenha relatórios de dados inadequados. Abaixo temos a tela de aviso:

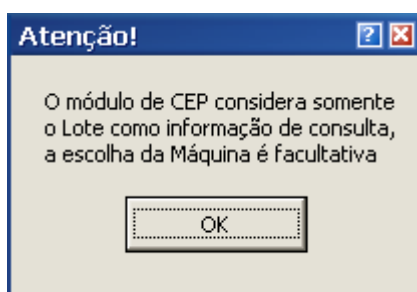


Figura 4.13: Mensagem de alerta sobre restrições do módulo de CEP

Como a análise de CEP só se justifica para os dados de um único produto (mesmo lote), caso haja a intenção por parte do usuário de executar o módulo de CEP para alguma outra combinação de variáveis, esta mensagem avisa que só é permitida a montagem dos gráficos de CEP a partir destas informações.

No caso da escolha adequada do produto, os cálculos são executados e os seguintes gráficos e índices são fornecidos:

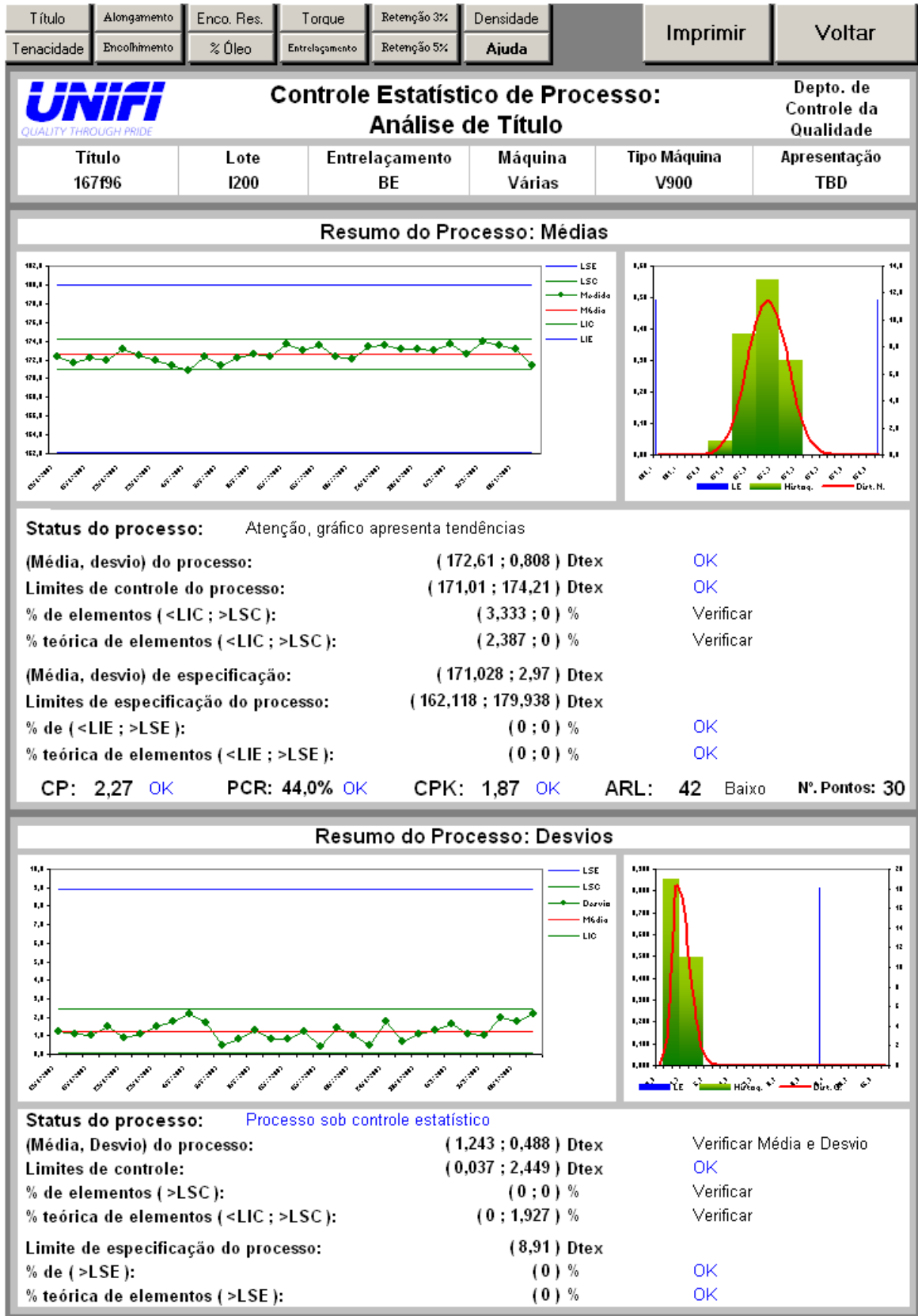


Figura 4.14: Relatório informatizado de análise de CEP

Pode ser observado na parte superior do relatório mostrado na figura 4.15 uma série de botões, de onde se é possível alternar entre os resultados obtidos para cada uma das análises que o laboratório da empresa realiza. Além dos gráficos de controle \bar{X} e S , vários outros cálculos e índices que podem auxiliar na análise do processo são mostrados nesta folha, sendo que em alguns, além dos testes padrão propostos pela literatura, são utilizados também o conhecimento e os padrões estabelecidos pela organização para a checagem dos resultados. A interpretação dos itens do relatório é dada a seguir:

- **Gráficos de controle para média e desvio:** a montagem destes gráficos é baseada na metodologia proposta no capítulo 2, utilizando-se o método das cartas \bar{X} e S ;
- **Histogramas:** sua principal função é auxiliar na análise gráfica do comportamento dos dados com relação à sua curva de distribuição (normal para o gráfico \bar{X}) e na análise visual da capacidade do processo;
- **Status do Processo:** neste campo é verificado se o processo está sob controle estatístico ou se existem tendências ou pontos fora de controle;
- **(Média, desvio) do processo:** são fornecidos os valores de média e desvio do processo. Também é checada se a média do processo está dentro do intervalo da especificação média $\pm 10\%$ de variação, que é um valor referencial interno de controle;
- **Limites de controle do processo:** são fornecidos os limites de controle de processo e é verificado se estes estão contidos nos limites de especificação;

- **% de elementos (<LIC;>LSC):** apresenta o percentual de pontos amostrados que encontra-se fora dos limites de controle. Se este valor de probabilidade for diferente de zero é emitido um aviso, pois o gráfico apresentará pontos fora de controle;
- **% teórica de elementos (<LIC;>LSC):** apresenta o percentual teórico de pontos fora dos limites de controle baseados na suposição de que os dados apresentam distribuição normal. Se o percentual teórico de pontos fora dos limites for maior que 0,27% o sistema emitirá aviso para verificar os dados;
- **(Média, desvio) de especificação:** fornece o valor médio e o desvio padrão histórico de todos os lotes produzidos para este produto;
- **Limites de especificação do processo:** fornece os limites de especificação do processo. Sua obtenção se dá através da média de especificação mais ou menos três desvios padrão;
- **% de elementos (<LIE;>LSE):** apresenta o percentual de pontos amostrados que encontra-se fora dos limites de especificação. Se este valor de probabilidade for diferente de zero é emitido um aviso para indicar que algum ponto encontra-se fora de especificação;
- **% teórica de elementos (<LIE; >LSE):** apresenta o percentual teórico de pontos fora dos limites de especificação baseados na distribuição normal. Se o percentual teórico de pontos fora destes limites for maior que 0,27% o sistema emitirá aviso para indicar o fato;

- **Cp e Cpk:** são fornecidos os valores de capacidade, bem como é checado se algum destes valores é maior que a referência de 1,33 proposta no capítulo 2;
- **PCR:** é obtido através do índice Cp, expressando a capacidade em termos percentuais. É emitido aviso se este valor for maior que 75%;
- **ARL:** também obtido segundo cálculo proposto no capítulo 2. O sistema emitirá aviso se o valor for menor que 370.

4.9. ANÁLISE DOS GRÁFICOS DE CONTROLE

Como já mencionado anteriormente, são apresentados somente os resultados da análise dos gráficos de controle das variáveis do lote de produção I200.

O resultados a seguir fornecem uma boa indicação de como está situado o processo da empresa quanto a aspectos importantes como a variabilidade. Foram tomados alguns cuidados na escolha deste produto específico como, por exemplo, todas as análises deste produto foram realizadas coletando-se um número fixo de seis amostras, além da checagem da suposição de normalidade, que pode ser verificada no anexo deste trabalho.

A Figura 4.15 apresenta os gráficos de controle para a variável Título elaborados a partir das médias das trinta amostras coletadas e do desvio padrão destes sub-grupos:

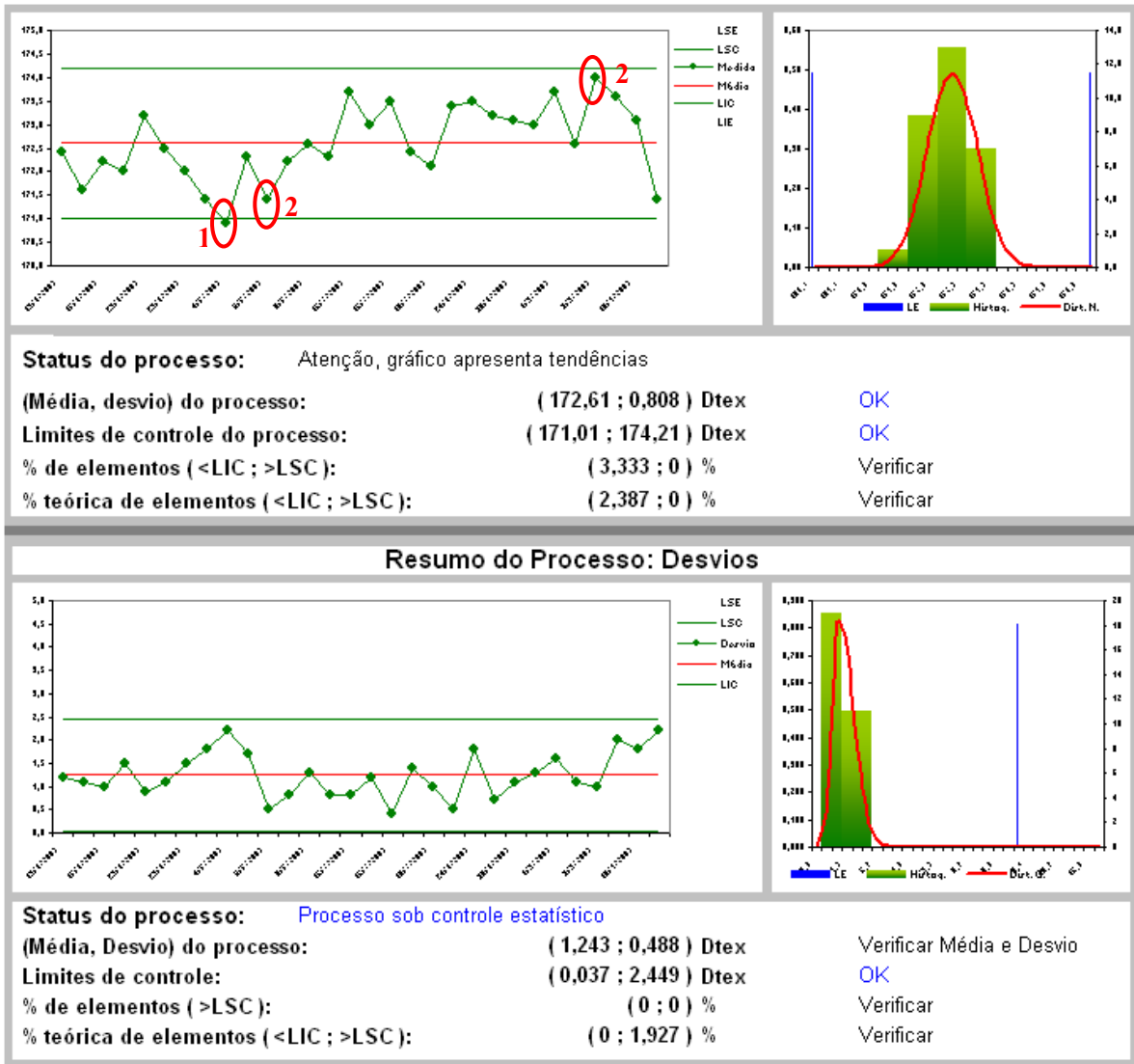


Figura 4.15: Gráficos \bar{X} e S para a variável Título

A análise do relatório acima indica que o gráfico \bar{X} não está sob controle estatístico. Pode-se observar um ponto aquém dos limites (1) e outras duas situações onde são observados dois entre três pontos consecutivos acima de dois terços dos limites de controle (2).

É importante ressaltar que este comportamento nas primeiras trinta amostras coletadas neste lote representam realmente a condição de produção da empresa, e que a variabilidade identificada entre as amostras e evidenciada pelos pontos fora de controle já era prevista. No caso específico da análise de título, a alta variabilidade pode ser explicada pelo desgaste natural de alguns componentes da máquina, que fazem com que pequenas variações nas taxas de estiragem e níveis de torção afetem os resultados ao longo do tempo.

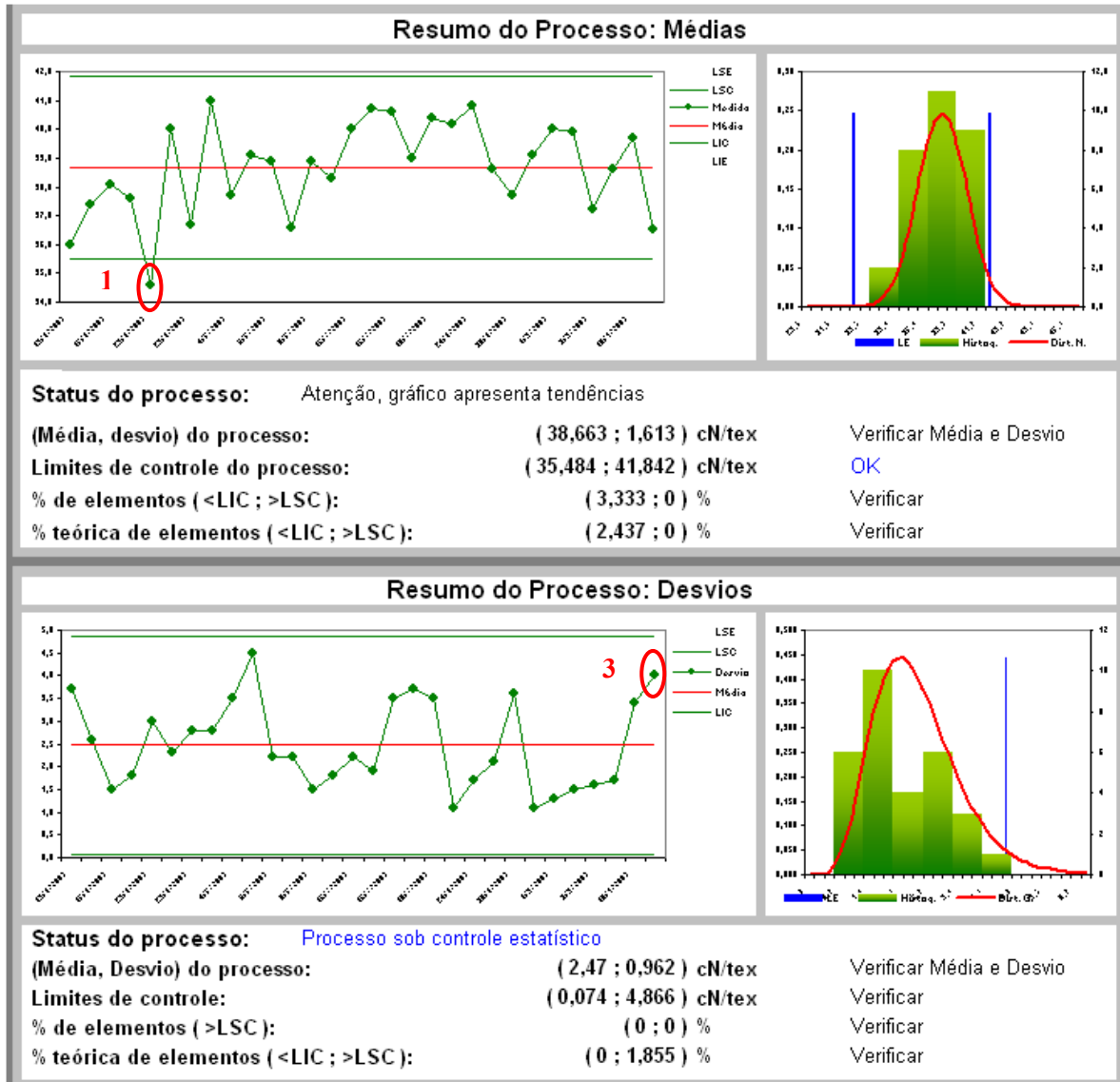


Figura 4.16: Gráficos \bar{X} e S para a variável Tenacidade

A análise do relatório acima indica que o gráfico \bar{X} apresenta um ponto aquém dos limites de controle (1). Pode-se observar também que o gráfico S apresenta uma tendência de sete pontos consecutivos em ordem crescente, o que caracteriza uma tendência (3).

O levantamento das causas dos pontos fora de controle indica que eles estão relacionados aos ciclos de limpeza periódica das máquinas. Nos dias anteriores a este processo os fornos por onde o fio é aquecido e estirado tornam-se sujos, afetando sua resistência e conseqüentemente sua tenacidade.

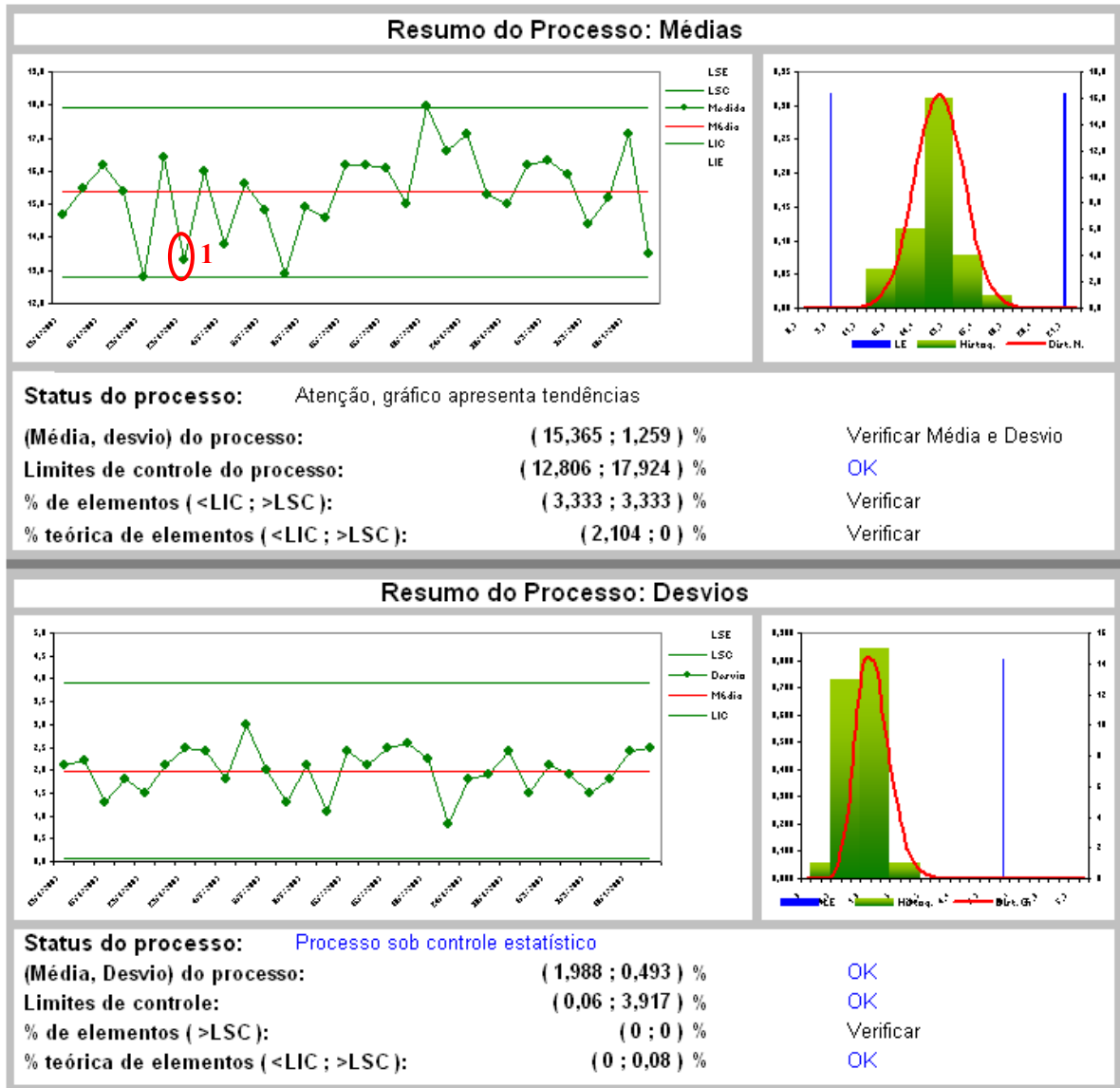


Figura 4.17: Gráficos \bar{X} e S para a variável Alongamento

O relatório acima indica que o gráfico \bar{X} não apresenta nenhum ponto fora dos limites de controle, no entanto os testes de tendência indicaram que dois entre três pontos consecutivos apresentam-se acima de dois terços dos limites de controle (1).

Neste caso, as mesmas causas atribuídas aos desvios dos valores de tenacidade também podem ser utilizadas para explicar a variação nos valores de alongamento.

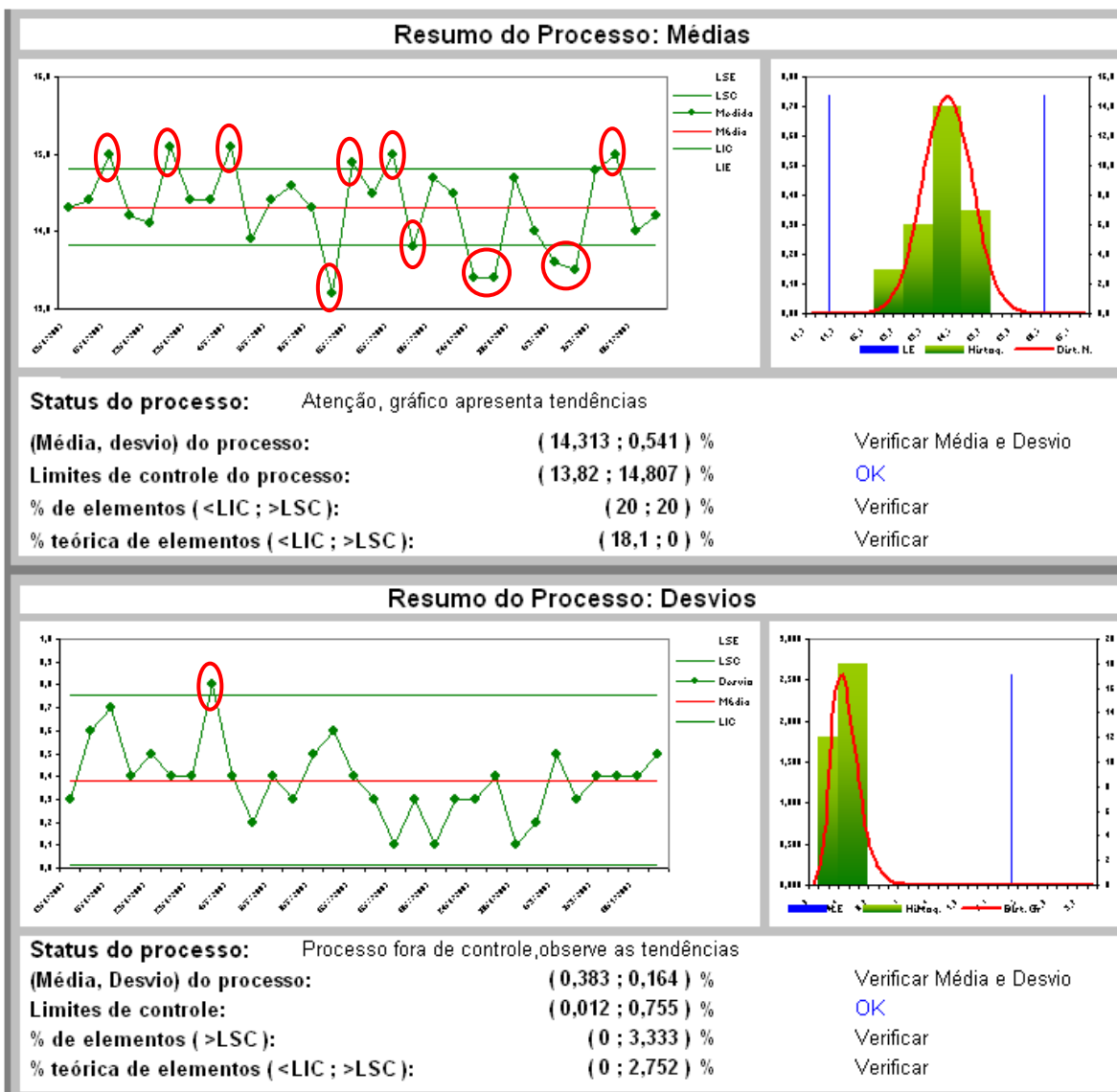


Figura 4.18: Gráficos \bar{X} e S para a variável Encolhimento

Neste relatório pode-se observar uma ocorrência bastante alta de pontos fora de controle no gráfico \bar{X} , além da ocorrência de um ponto fora de controle no gráfico S .

A excessiva ocorrência de pontos fora dos limites é explicada pela baixa variabilidade detectada dentre as amostras quando comparada com a variabilidade entre as análises. Neste caso suspeita-se que esta variabilidade excessiva entre análises pode estar relacionada a interferências causadas pelo equipamento de medição ou até mesmo por variações de temperatura que ocorrem quando a matéria prima está acondicionada.

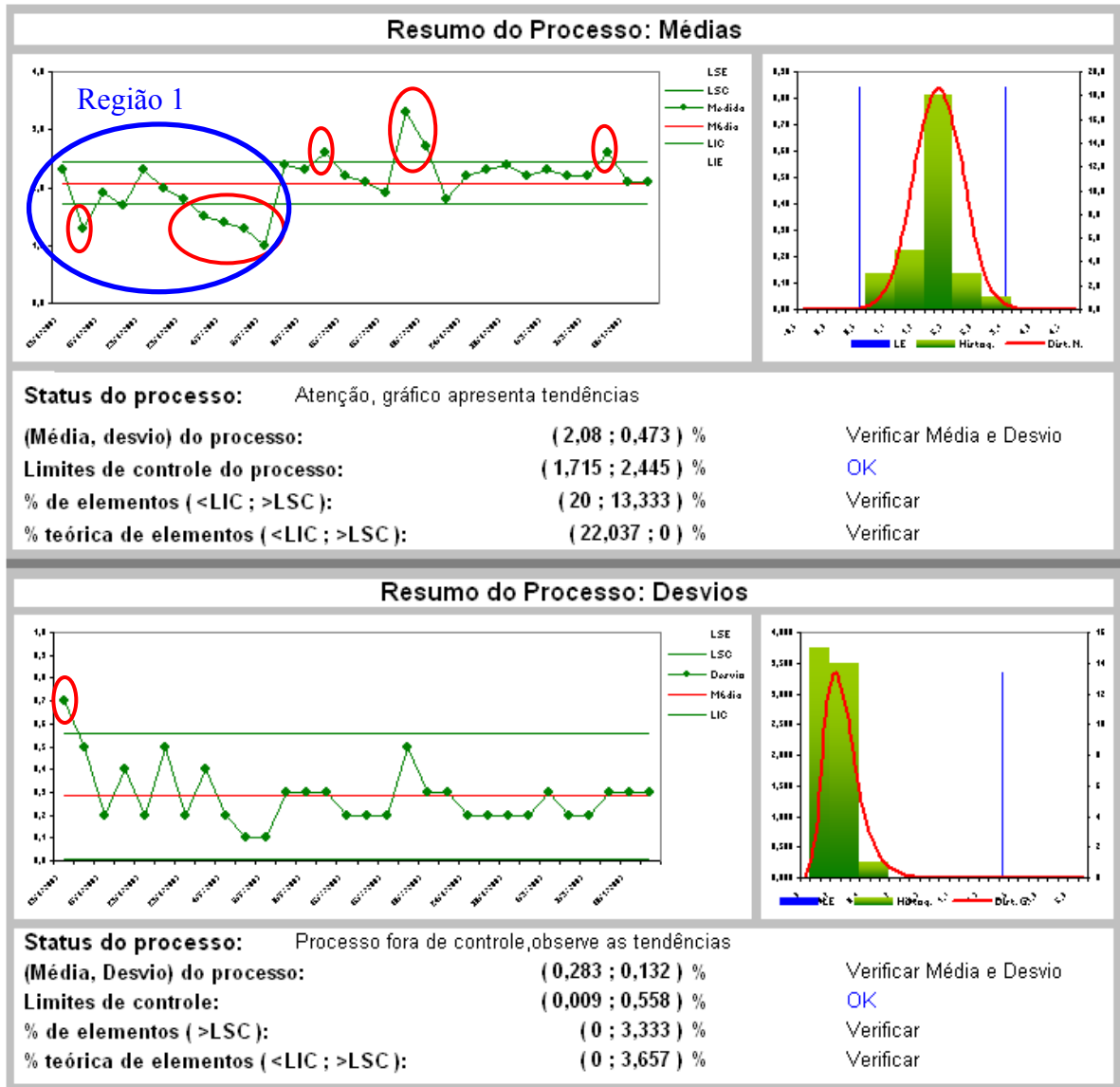


Figura 4.19: Gráficos \bar{X} e S para a variável Percentual de Óleo

Aqui pode-se observar uma elevada ocorrência de pontos fora de controle no gráfico \bar{X} , além da ocorrência de um ponto fora de controle também no gráfico S .

Os resultados das análises de percentual de óleo entre o período de 15/06/2003 e 06/08/2003 (região 1) foram afetados devido à substituição do produto padrão por outro de menor viscosidade, que causou diminuição do percentual de óleo aplicado sobre o fio. Após este período, os resultados ainda apresentaram irregularidades devido aos ajustes que foram necessários tanto no processo como no equipamento de análise.

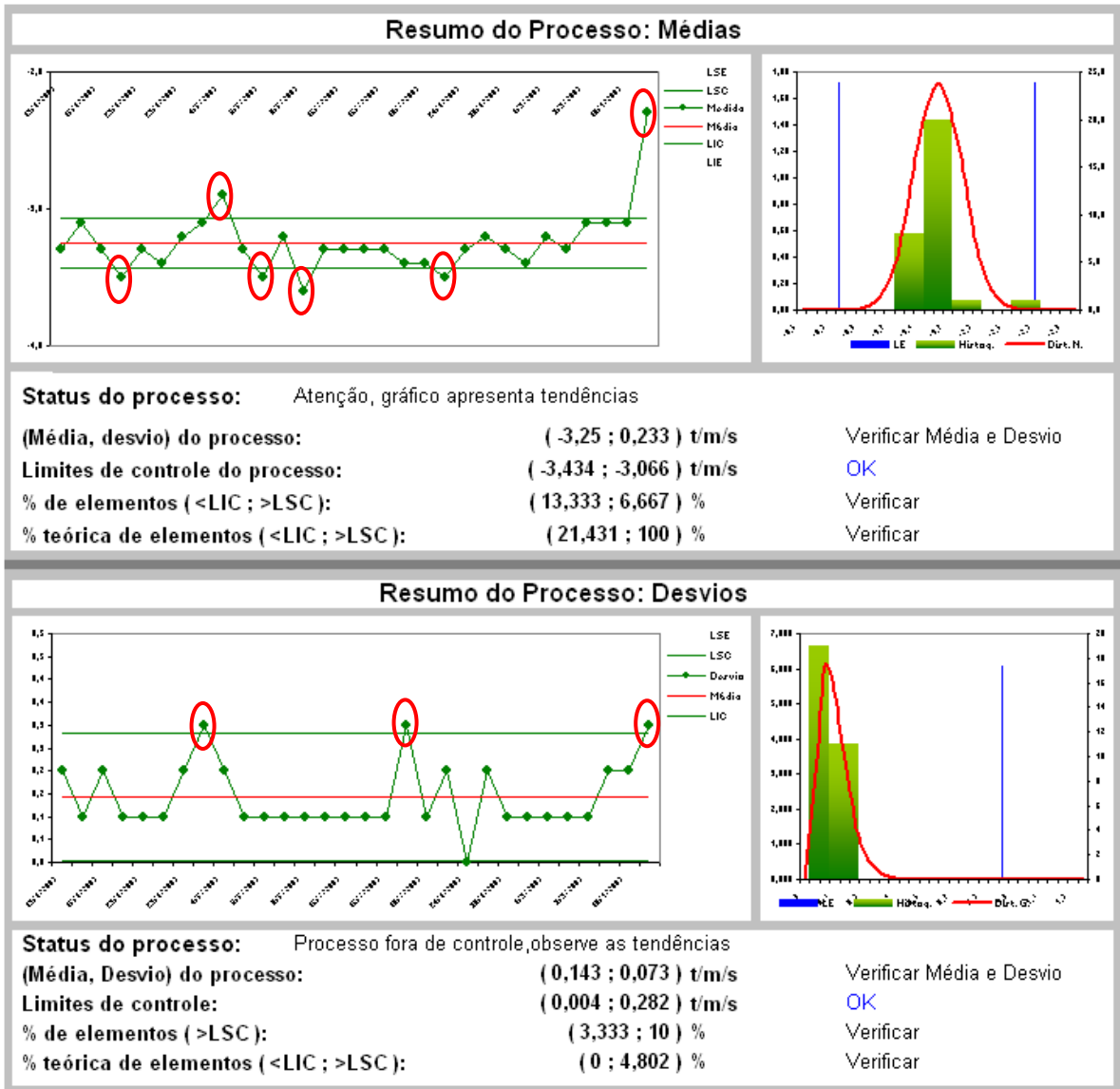


Figura 4.20: Gráficos \bar{X} e S para a variável Torque

Novamente é observada uma elevada incidência de pontos fora de controle nesta variável. Com exceção do último ponto do gráfico, que está fora de controle devido a uma amostra que apresentou problemas e contaminou o resultados, todos os demais pontos que estão fora de controle são devido às análises apresentarem alta variabilidade entre as médias, ao passo que dentro das análises esta variabilidade é pequena.

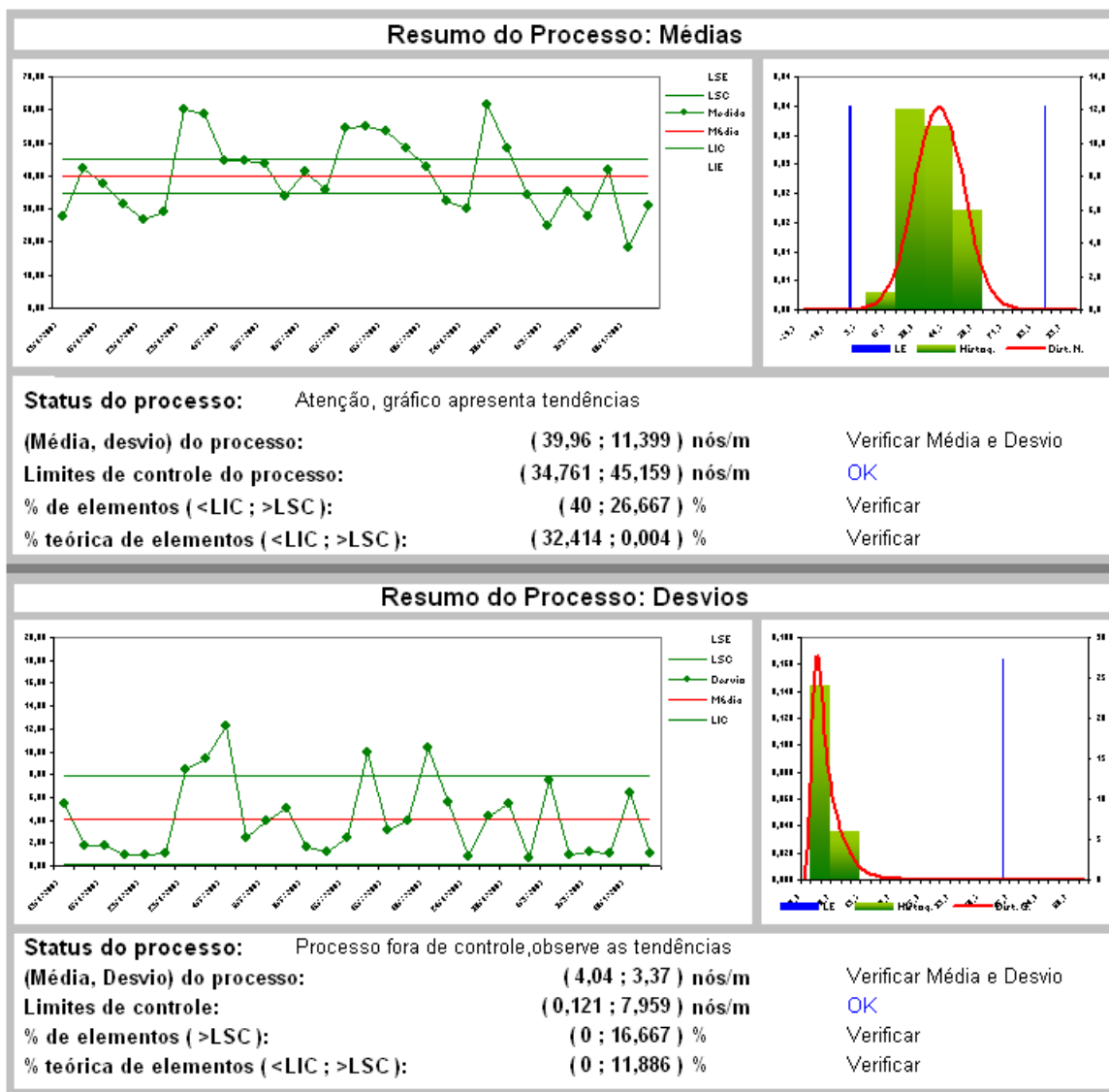


Figura 4.21: Gráficos \bar{X} e S para a variável Entrelaçamento

Historicamente os resultados de entrelaçamento sempre apresentaram grandes variações. Isto pode ser verificado nas especificações destes produtos que permitem grandes diferenças de resultados. Os gráficos mostrados acima comprovam esta informação ao apontarem uma infinidade de pontos fora de controle.

Nesta variável pode ser observada uma infinidade de fatores que interferem nos resultados de análise, sendo que os de maior destaque são a temperatura, a umidade, o tempo de estocagem, a alta sensibilidade do aparelho de medição.

Como os resultados de entrelaçamento são altamente correlacionados com os de retenção 3% e 5%, então serão omitidos estes relatórios pois as conclusões são as mesmas.

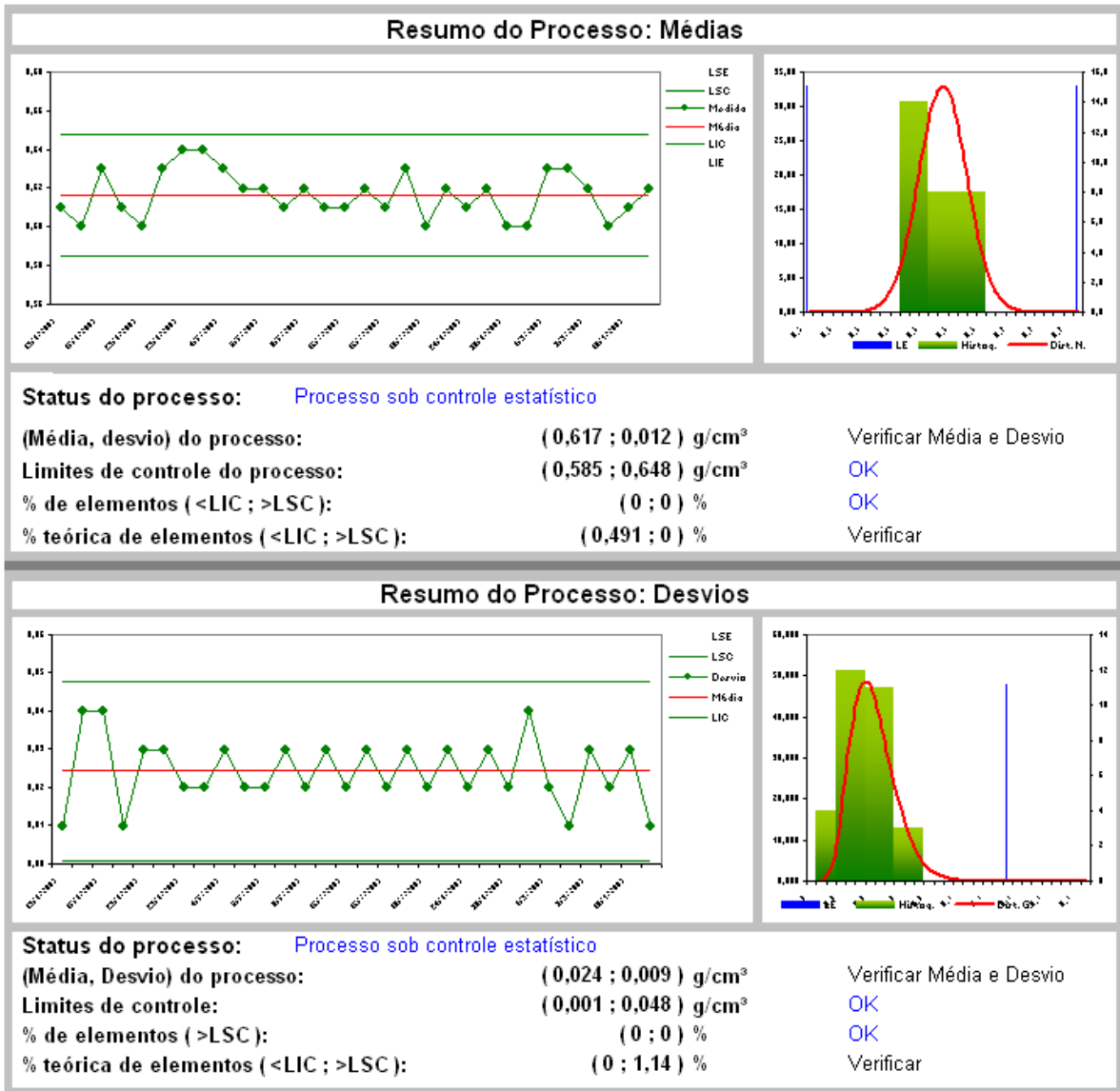


Figura 4.22: Gráficos \bar{X} e S para a variável Densidade

O relatório acima mostra que esta variável está sob controle estatístico, mesmo que alguns dos valores teóricos indiquem probabilidade significativa de ocorrência de pontos fora de controle. Este fato se deve principalmente à pouca interferência que esta variável sofre do equipamento de texturização, bem como de outros fatores externos. Outro ponto que auxilia na diminuição de variabilidade destes resultados é que a densidade deste produto específico é relativamente alta, o que contribui também na manutenção da estabilidade dos resultados.

Mesmo estando sob controle estatístico, observa-se um padrão não aleatório no gráfico dos desvios. Este fato se justifica pela perda de precisão causada pelo arredondamento com duas casas decimais dos valores dos desvios de análise.

4.10. ANÁLISE DA CAPABILIDADE DO PROCESSO

A análise de capacidade é executada conjuntamente aos gráficos de CEP, e desta maneira pode-se ter uma visão completa sobre o produto em um único relatório de fácil interpretação.

Embora tenha sido mencionado no item 2.6 que para a determinação dos índices de capacidade é desejável que o processo esteja sob controle, foi adotada a análise conjunta da capacidade e dos gráficos de controle mesmo sabendo-se que podem ocorrer situações onde o processo pode estar fora de controle. A justificativa para essa conclusão é que em primeira instância a variabilidade entre as análises é bastante significativa quando comparada com a variação dentro das análises, o que causará uma ocorrência de pontos fora de controle maior que o normal. Em segunda instância justifica-se esta análise pelo fato de que para a organização e para os clientes a característica de qualidade que realmente importa é a especificação do produto, e através destes índices pode-se ter uma idéia de como o processo está se comportando. A comprovação de que, mesmo o processo não estando sob controle, os índices de capacidade apresentam boa performance, pode ser vista na figura a seguir:

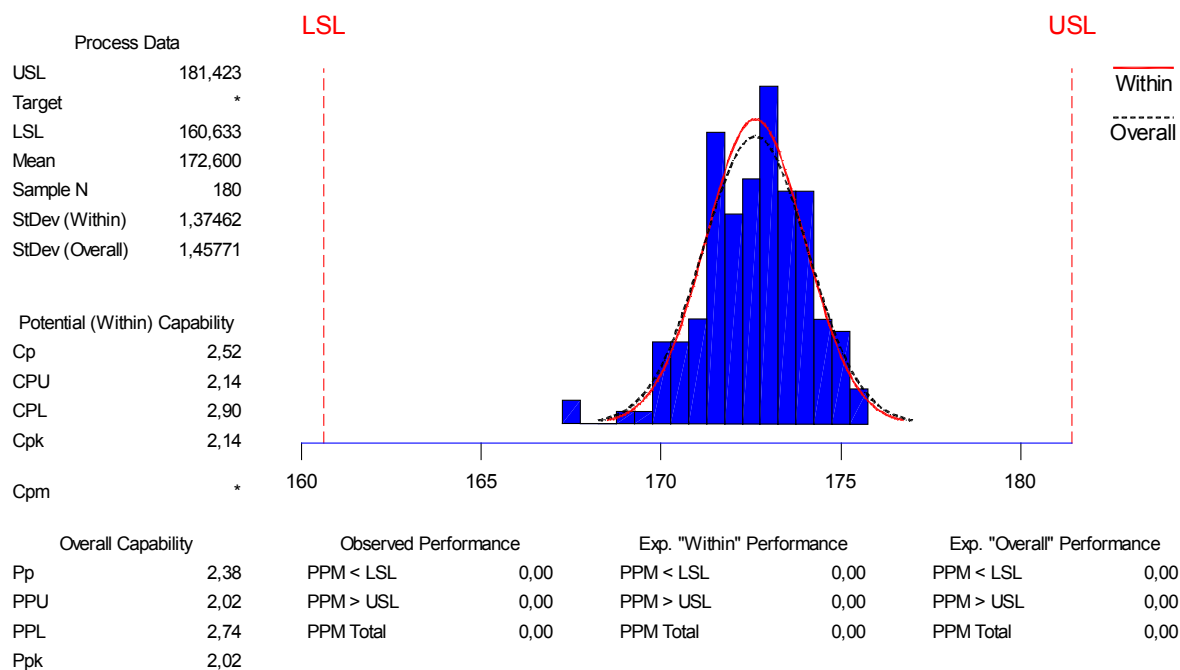


Figura 4.23: Análise de capacidade da variável Título – Módulo de Capacidade do Minitab®

A análise do histograma mostrado anteriormente, bem como dos demais criados para as mesmas variáveis analisadas no item 4.9, revela que os pontos estão localizados internamente à especificação com boa margem de segurança de ambos os lados, indicando que o processo é capaz e não se faz necessária nenhuma intervenção do ponto de vista da especificação para diminuir a variabilidade ou deslocar a média do processo.

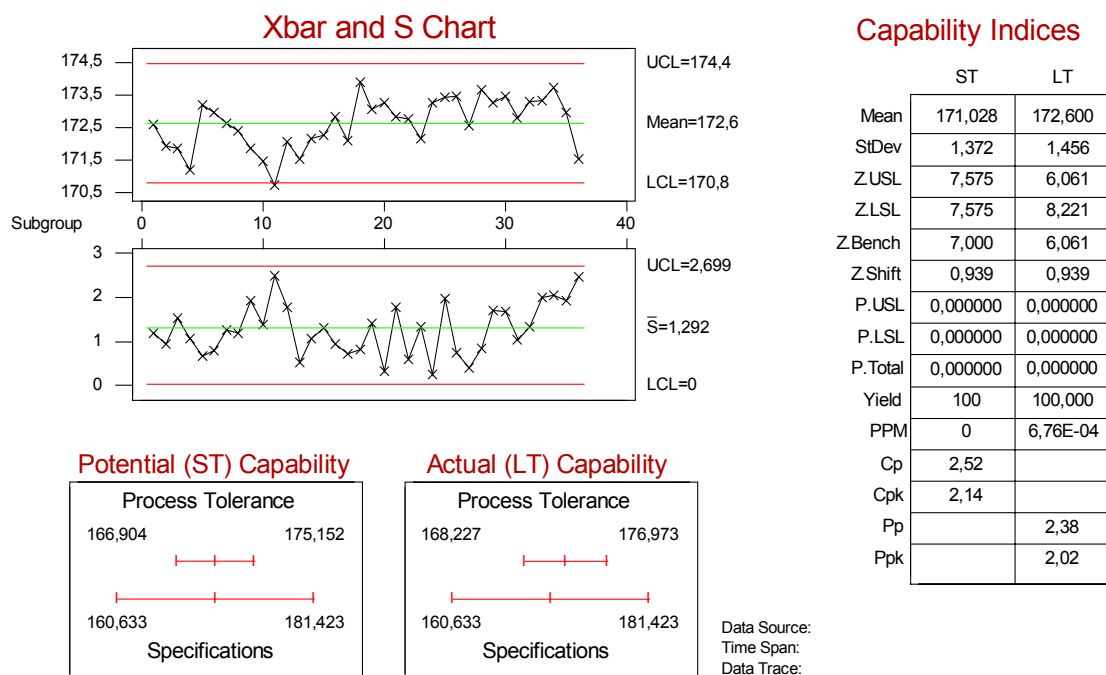


Figura 4.24: Análise de Capacidade da Variável Título – Módulo Seis Sigma do Minitab®

As figuras acima ilustram bem o fato de que mesmo o processo estando fora de controle estatístico, tanto os índices C_{pk} como o P_{pk} e Z_{bench} apresentam boa performance, a ponto de ser possível afirmar que o processo pode ser considerado como Seis Sigma.

4.11. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE

A implantação do sistema de coleta informatizado, juntamente com os mecanismos de testes e checagem de desvios e os mecanismos de identificação de erros de digitação proporcionou melhorias significativas no nível de confiabilidade dos dados armazenados. Além disso, a possibilidade de identificação prematura de resultados de análise suspeitos introduziu uma nova maneira de visualizar e atuar nos problemas potenciais causadores de variabilidade.

Já a implementação do sistema de gráficos de controle mostrou que na maioria das variáveis analisadas existem fontes de variação importantes que interferem nos resultados e

que portanto merecem ser investigadas e se possível eliminadas do sistema. Baseado nesta característica, a análise do sistema através desta ferramenta poderá levar a conclusões equivocadas.

A análise dos gráficos de controle motivou a empresa a estabelecer um grupo de trabalho que traçou um plano de melhorias, visando principalmente minimizar ou eliminar parte das principais causas de variação dos resultados ao longo do tempo.

Mesmo com os problemas identificados nos gráficos de controle, a análise de capacidade, de maneira geral, mostrou que o processo é capaz em satisfazer as especificações, indicando que a ocorrência de não conformidades é bastante baixa.

Como parte do sistema de melhoria contínua da empresa o programa informatizado, que além de módulo de CEP também contém outros tipos de consultas e relatórios, foi disponibilizado a toda a organização contribuindo para criar uma visão mais crítica a respeito do processo.

Capítulo 5: Conclusões e Sugestões

5.1. CONCLUSÕES

Um dos principais desafios colocados por este trabalho foi levar a teoria do Controle Estatístico de Processos à prática do laboratório de controle de qualidade da empresa têxtil UNIFI do Brasil Ltda., de modo a identificar, através do uso de cartas de controle e análise de capacidade, os problemas existentes no processo produtivo da empresa.

A escolha do laboratório da empresa para iniciar o processo levou em conta, além dos aspectos técnicos e operacionais, a estrutura de coleta e arquivamento de dados que já havia sido implementada nesta área há algum tempo. Deste modo, chances de falhas na implantação do processo foram minimizadas.

A definição da carta de controle utilizada para análise da qualidade baseou-se na estrutura de dados já montada, na unidade de medida das variáveis e no grau de desvio apresentado pelo conjunto de dados. Assim sendo, utilizou-se as cartas \bar{X} e S para verificar se a variabilidade do processo apresentava-se sob controle, e se o método proposto era eficiente na detecção de problemas.

O sistema de coleta e análise de dados desenvolvido pelo autor, baseado no programa Excel[®], se mostrou adequado pela praticidade e segurança na digitação e armazenamento dos valores coletados pelos analistas, visto que os produtos escolhidos para análise não apresentaram nenhum erro de digitação. Também o sistema de análise das cartas de controle e índices de capacidade se mostrou eficiente, uma vez que os testes implementados computacionalmente, mesclando a teoria estatística com o conhecimento da organização, tornaram bastante simples a identificação de problemas potenciais e tendências do processo. Sob o ponto de vista operacional, a criação do sistema integrado permitiu que as operações de

entrada e análise de dados se tornassem ágeis e fáceis de serem executadas pelos próprios colaboradores.

A análise dos relatórios do lote I200 mostrou que a maioria dos gráficos apresentaram tendências ou pontos fora dos limites de controle, indicando que a variabilidade medida entre os resultados de uma mesma análise não representavam bem a variabilidade entre análises, demonstrando assim uma fragilidade muito grande no que diz respeito a precisão do método utilizado. Uma avaliação mais aprofundada dos pontos assinalados pelas cartas apontou diversos problemas oriundos de causas especiais que ocorriam sempre, mas que até então não haviam sido identificados e interpretados corretamente. Complementarmente também foi identificada a ocorrência de *outliers* que interferiam similarmente na ocorrência de pontos fora de controle. Isto motivou a empresa a adotar um sistema de melhoria de processo cujas ações visam principalmente a redução da variabilidade. Além destas ações em execução, são propostas algumas recomendações (ver item 5.2) que visam a melhoria contínua da empresa.

A análise de capacidade apresentou índices com bom desempenho, pois o processo opera com relativa folga quanto a especificações de produtos. Isto sugere que se a variação devido a causas especiais for resolvida, as especificações poderão ser revistas e os seus limites diminuídos, contribuindo assim para a melhoria do produto e potencial aumento da satisfação do cliente.

Deve-se creditar uma grande parte do sucesso da implantação do sistema de análise e controle à equipe, que se mostrou comprometida e aberta às mudanças. As ações e reações da equipe fluíram rapidamente, resultando em respostas e conclusões mais rápidas, tornando o processo mais dinâmico. O apoio incondicional a este projeto por parte da direção da empresa também foi condição fundamental para o desenvolvimento e viabilização do mesmo.

O sucesso deste trabalho, traduzido nos resultados apresentados, reforça todas as opiniões dos especialistas e divulgadores do CEP como sendo uma ferramenta imprescindível

para todas as empresas que visam o melhoramento de seus processos produtivos e redução de custos dos seus produtos. Contudo, um aspecto importante que merece ser lembrado é que o uso do CEP fornece apenas informações e dados sobre o que precisa ser melhorado num processo, e que ele por si só não garante a qualidade de uma empresa.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista que o modelo proposto por este trabalho aborda basicamente a utilização de uma única ferramenta de melhoria, tanto as técnicas descritas como a análise dos resultados obtidos não esgotam o assunto. Deste modo, algumas recomendações para trabalhos futuros podem ser sugeridas:

Reaplicar o modelo proposto ao laboratório da empresa

Os resultados apresentados neste trabalho mostraram que existem fontes de variação que interferem nos gráficos de controle, ocasionando em muitos deles excessiva ocorrência de pontos fora de controle ou tendências. Assim que estas fontes de variação forem eliminadas recomenda-se que o mesmo modelo seja executado novamente para daí então avaliar a real precisão e capacidade do processo.

Utilizar técnicas de identificação de *Outliers*

Testes para a identificação de *outliers*, como por exemplo o teste de Tukey, poderiam ser realizados anteriormente a construção das cartas de controle, excluindo-se deste modo a influência negativa de tais pontos nos cálculos para a obtenção dos limites e índices de capacidade.

Avaliar novos tipos de cartas de controle

Partindo-se do pressuposto que as características de processo identificadas que interferem na variabilidade não serão eliminadas, observa-se a necessidade de um estudo

estatístico mais aprofundado a respeito de todo o processo avaliado, aplicando outros tipos de cartas de controle mais sofisticadas, ou até mesmo através da utilização de técnicas de séries temporais.

Implantar o modelo em outros departamentos da empresa

O trabalho aqui apresentado referiu-se apenas ao processo de implantação de CEP aplicado ao laboratório de controle de qualidade da empresa. Seria interessante que fosse desenvolvido um trabalho semelhante nas demais áreas ou etapas de controle da empresa, a fim de se cobrir todos os aspectos qualitativos envolvidos no processo de produção.

Utilizar métodos multivariados para análise conjunta de variáveis

Como a quantidade de variáveis e diferentes produtos é bastante grande, uma maneira de facilitar a análise e interpretação dos resultados seria aplicar métodos multivariados para a construção das cartas de controle. Como sugestão poderia ser utilizado o método proposto por Hotelling baseado na estatística T^2 , que sintetiza em um único gráfico univariado o comportamento de um conjunto de variáveis, ou até mesmo a técnica de cartas focadas. Deste modo pode-se analisar, além da ocorrência de pontos fora de controle, a relação existente entre as variáveis.

Implementar novos métodos de análise ao software

Como parte do processo de melhoria do software desenvolvido para análise estatística dos dados do laboratório, novos testes de identificação de tendências nos gráficos de controle e o cálculo de índices de capacidade auxiliares como por exemplo, o P_{pk} , poderiam ser implementados para melhorar o potencial de interpretação dos resultados.

Referências Bibliográficas

ABIT, Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. Disponível na Internet via www.abit.org.br/dados/producao.shtml#1 em 05/05/2003

A.I.A.G., Statistical Process Control, Chrysler Corporation, Ford Corporation, and General Motors Corporation, 2nd edition, March 1995

ALI, D., BEHERY, H. M., Synthetic Filament Yarn: Texturing Technology, Prentice Hall, 1997

BALESTRASSI, P. P., Identificação de Padrões em Gráficos de Controle Estatístico de Processos, em Tempo Real, Utilizando Séries Temporais e Redes Neurais Artificiais, Tese de Doutorado pela Universidade Federal de Santa Catarina, 2000

BAYEUX, C., Análise de Capabilidade de Processos, Revista Banas Qualidade, Maio de 2001

CALCUTT, R. The Rights and Wrongs of Control Charts. Applied Statistics, vol.44, No 3 279-288, 1995

CAPLEN, R. H., A Practical Approach to Quality Control, Brandon/Systems Press, 1970

CARLYLE, W. M., MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G. C., Optimization Problems and Methods in Quality Control and Improvement, Journal of Quality Technology, vol. 32, nº 1, January 2000

DALE, B. (1994) Managing Quality, Prentice-Hall, UK, 1994

DEMING, E. W., Qualidade: A Revolução da Administração, editora Marques-Saraiva, Rio de Janeiro, 1990

DOES, R. J. M. M., SCHIPPERS, W. A. J., TRIP, A., A framework for Implementation of Statistical Process Control, International Journal of Quality, vol. 2, Nº 3, 1997

EISENHARDT, K. M., Building Theories from Case Study Research, Academy of Management, vol. 14, Nº 4, 532-550, 1989

FEIGENBAUM, A. V., Controle da Qualidade Total, Makron Books, São Paulo, 1994

FORTUNE MAGAZINE, Global 500, Time Inc., 2003

GALUCH, L. Modelo para Implementação das Ferramentas Básicas de Controle Estatístico de Processo – CEP em Pequenas Empresas Manufatureiras, Dissertação de Mestrado pela Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Março de 2002

GIL, A.C., Como Elaborar Projeto de Pesquisa, 3^a edição, São Paulo, Atlas, 1993

GOH, T. N., Operating Frameworks for Statistical Quality Engineering, International Journal of Quality & Reliability Management, vol. 17, nº 2, 180-188, 2000

HARE, L., SPC: From Chaos to Wiping the Floor, Quality Progress, July 2003

JURAN, J. M., Planejando para a Qualidade, 3ª Edição. São Paulo, Livraria Editora Pioneira, 1995.

KOTZ, S., JOHNSON, N. L., Process Capability Indices – A Review, 1992 – 2000, Journal of Quality Technology, vol. 34, nº 1, January 2002

KUME, H., Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade, Editora Gente, 5ª edição, 1993

LINNA, K. W., WOODALL, W. H., Effect of Measurement Error on Shewhart Control Chart, Journal of Quality Technology, vol. 33, nº 2, April 2001

LU, M. W., RUDY, R. J., Discussion: Process Capability Indices – A Review, 1992 – 2000, Journal of Quality Technology, vol. 34, nº 1, January 2002

MASON, B. & ANTONY, J. Statistical Process Control: An Essential Ingredient for Improving Service and Manufacturing Quality, Managing Service Quality, vol. 10, 2000

MASON, R., TRACY, N., YOUNG, J., Decomposition of T^2 for Multivariate Control Chart Interpretation. Journal of Quality Technology, vol. 27, nº 2, April, 1995

MCWILLIAMS, T. P., SANIGA, E. M., DAVIS, D. J., Economic-Statistical Design of \bar{X} and R or \bar{X} and S Charts, Journal of Quality Technology, vol. 33, nº 2, April 2001

MILLER, H., Variation, Innovation and Dynamic Quality, The Total Quality Management Magazine, vol. 10, nº 10, 447-451, 1998

MINITAB Statistical Software, User's Guide, Release 13, February, 2000

MONTGOMERY, D. C. Introduction to Statistical Process Control, John Wiley & Sons, New York, 1985

MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G. C., Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros, LTC Livros Técnicos e Científicos Editora, 2ª edição, 2003

MUIR, A. K., Book of Knowledge, General Electric, version 4, March 2001

NELSON, L. S., Notes on the Shewhart Control Chart, Journal of Quality Technology, vol. 31, nº 1, January 1999

NYSE, Magazine, Six Sigma Enters a New Generation, March 2003, Disponível na Internet via <http://www.nyse.com/events/1048955282880.html> em 20/09/2003

OHSHIMA, M., TANIGAKI, M. Quality Control of Polymer Production Processes, Journal of Process Control, vol. 10, 135-148, 2000

PAIVA, A. P., Uma Investigação sobre os Coeficientes C4 e C5 das Cartas de Controle Shewhart X-barra e S, Enegep, 2001

- RAMOS, E. M. L. S., Aperfeiçoamento e Desenvolvimento de Ferramentas do Controle Estatístico da Qualidade – Utilizando Quartis para Estimar o Desvio Padrão, Tese de Doutorado pela Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Abril de 2003
- RESENDE, R. A., CARPINETTI, L. C. R., Um Estudo da Qualidade do Processo de Fiação por Meio de Técnicas de Controle Estatístico de Processos, Enegep, 1999
- REYNOLDS, M. R. JR., STOUMBOS, Z. G., Monitoring the Process Mean and Variance Using Individual Observations and Variable Sampling Intervals, Journal of Quality Technology, vol. 33, nº 2, April 2001.
- RIBEIRO, J. L., CATEN, C. S., Desdobramento dos Processos de uma Empresa do Setor Coureiro-Calçadista. Relatório Técnico do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFRGS, 1996
- RIBEIRO, J. L. D., LEITÃO, F. B., ECHEVESTRE, M. E., CATEN, C. S., Identificação de Processos Críticos e Implantação de CEP, 1996
- ROES, K. C. B., DORR, D., Implementing Statistical Process Control in Service Processes, International Journal of Quality Science, vol. 2, Nº 3, pp. 149-166, 1997
- RUNGTUSANATHAM, M., The Quality and Motivational Effects of Statistical Process Control, Journal of Quality Management, vol. 4, Nº 2, pp. 243-264, 2000
- SILVA, L. S. C. V., Aplicação do Controle Estatístico de Processos na Indústria de Laticínios Lactoplasa: Um Estudo de Caso, Dissertação de Mestrado pela Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Dezembro de 1999
- SWINNEY, Z., 1.5 Sigma Process Shift Explanation, Disponível na Internet via <http://software.isixsigma.com/library/content/c010701a.asp> em 25/09/2003
- XIE, M., GOH, T. N., CAI, D. Q., An Integrated SPC approach for Manufacturing Processes, MCB University Press, 1999
- WERNER, L., Controle Estatístico de Processo: Abordagem Multivariada para Medidas Individuais, Enegep, 1999
- WESTERN ELECTRIC, Statistical Quality Control Handbook, AT&T, Indianápolis, IN, 1956
- WOODALL, W. H., Controversies and Contradictions in Statistical Process Control, Journal of Quality Technology, vol. 32, Nº 4, 2000
- YIN, R. K., Case Study Research: Design and Methods. Sage. Newbury Park, 1989

A.1. FATORES PARA CONSTRUÇÃO DOS GRÁFICOS DE CONTROLE

Appendix VI Factors for Constructing Variables Control Charts

Observations in Sample, <i>n</i>	Chart for Averages			Chart for Standard Deviations						Chart for Ranges						
	Factors for Control Limits			Factors for Central Line		Factors for Control Limits				Factors for Central Line		Factors for Control Limits				
	<i>A</i>	<i>A</i> ₂	<i>A</i> ₃	<i>c</i> ₄	1/ <i>c</i> ₄	<i>B</i> ₃	<i>B</i> ₄	<i>B</i> ₅	<i>B</i> ₆	<i>d</i> ₂	1/ <i>d</i> ₂	<i>d</i> ₃	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>D</i> ₃	<i>D</i> ₄
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.04230	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541

For $n > 25$

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}}, A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}}, c_4 = \frac{4(n-1)}{4n-3},$$

$$B_3 = 1 - \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}}, B_4 = 1 + \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}},$$

$$B_5 = c_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}, B_6 = c_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}.$$

Tabela A.1.: Fatores para Construção dos Gráficos de Controle para Variáveis

Fonte: Montgomery (1985)

A.2. GRÁFICOS DE NORMALIDADE

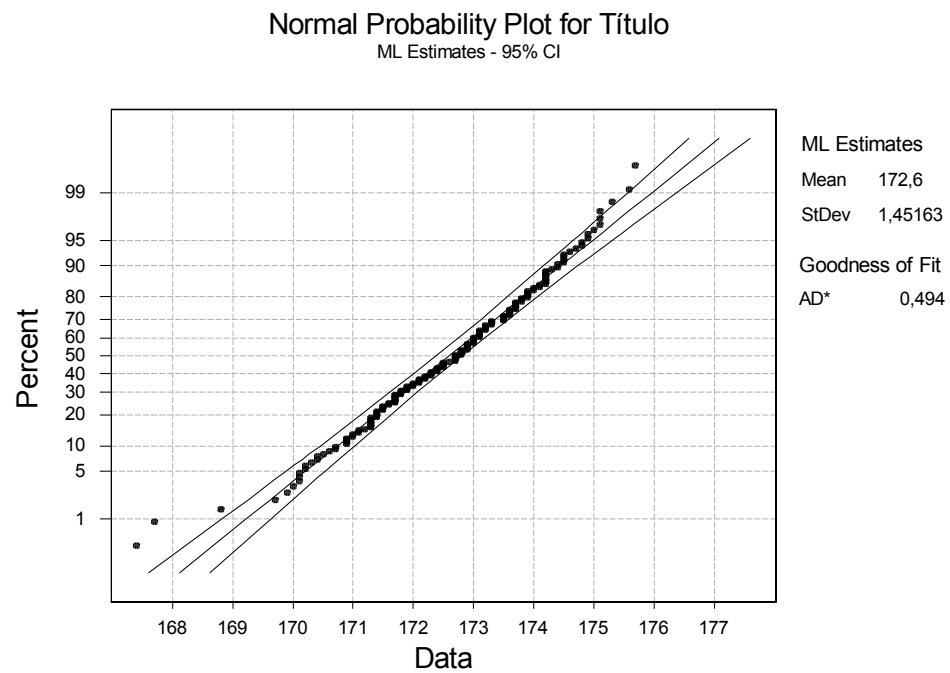


Figura A.1: Gráfico Normal Probabilístico para a Variável Título – Minitab®

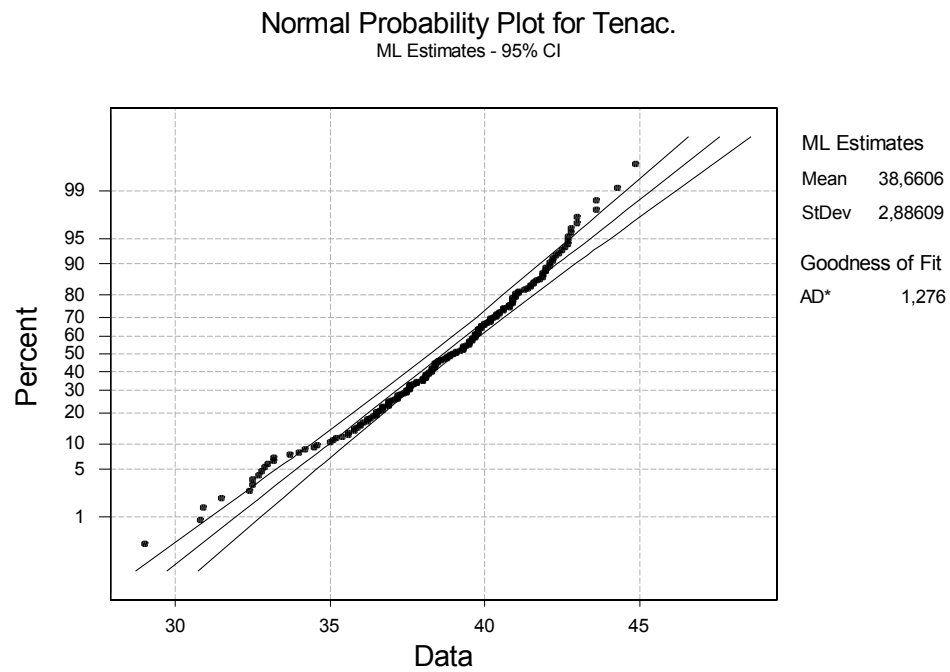


Figura A.2: Gráfico Normal Probabilístico para a Variável Tenacidade – Minitab®

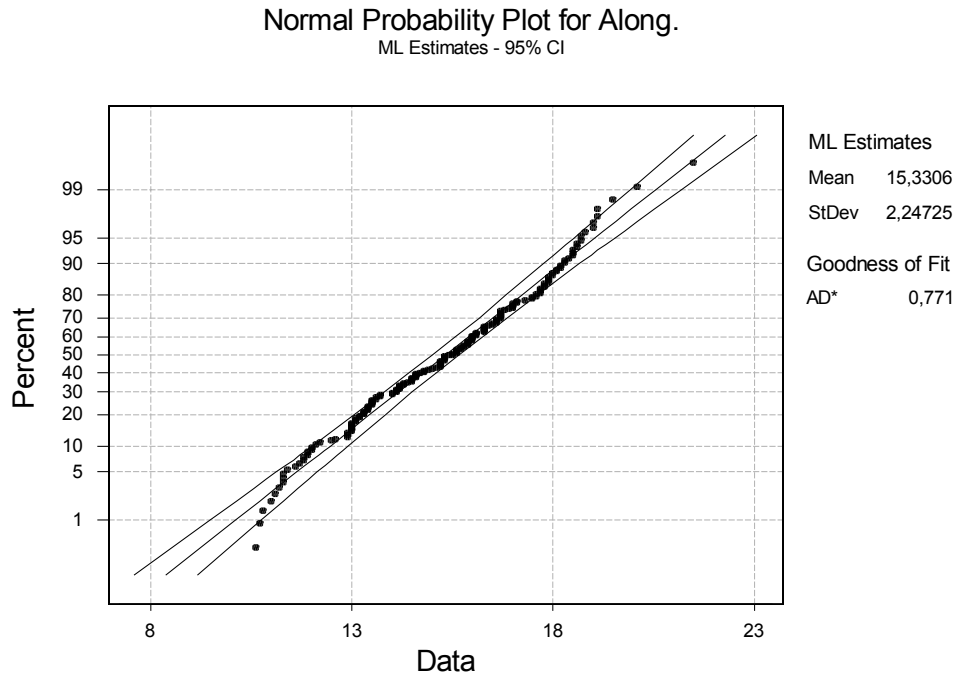


Figura A.3: Gráfico Normal Probabilístico para a Variável Alongamento – Minitab®

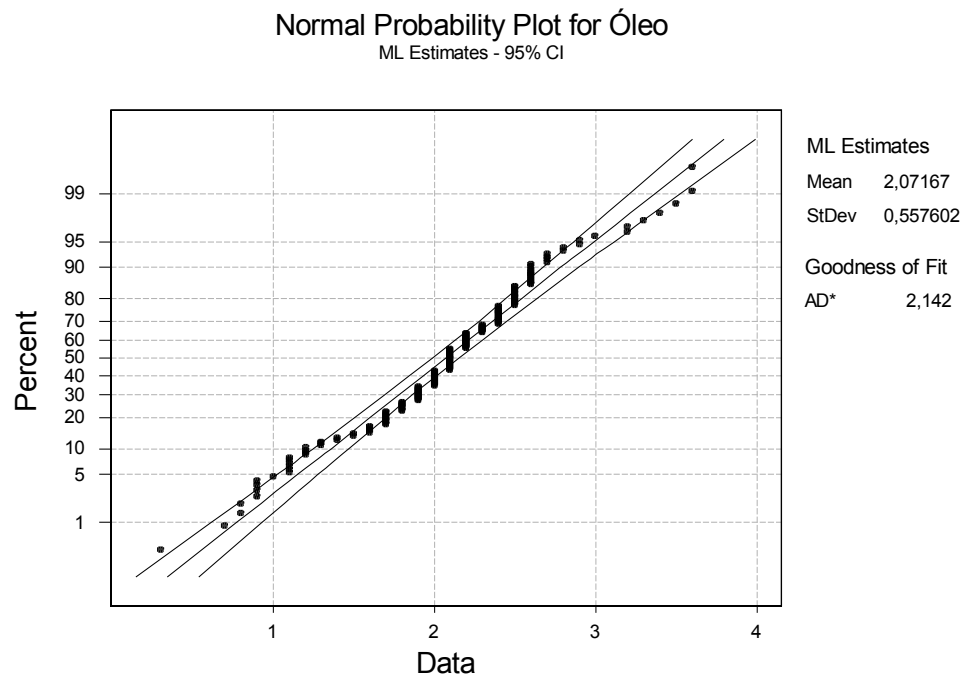


Figura A.4: Gráfico Normal Probabilístico para a Variável Percentual de Óleo – Minitab®

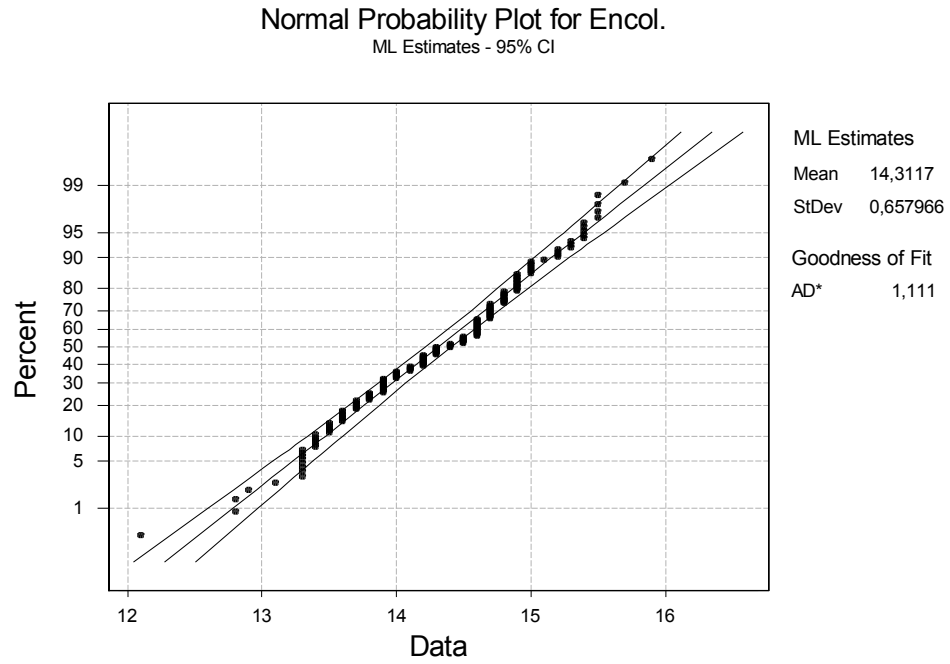


Figura A.5: Gráfico Normal Probabilístico para a Variável Encolhimento – Minitab®

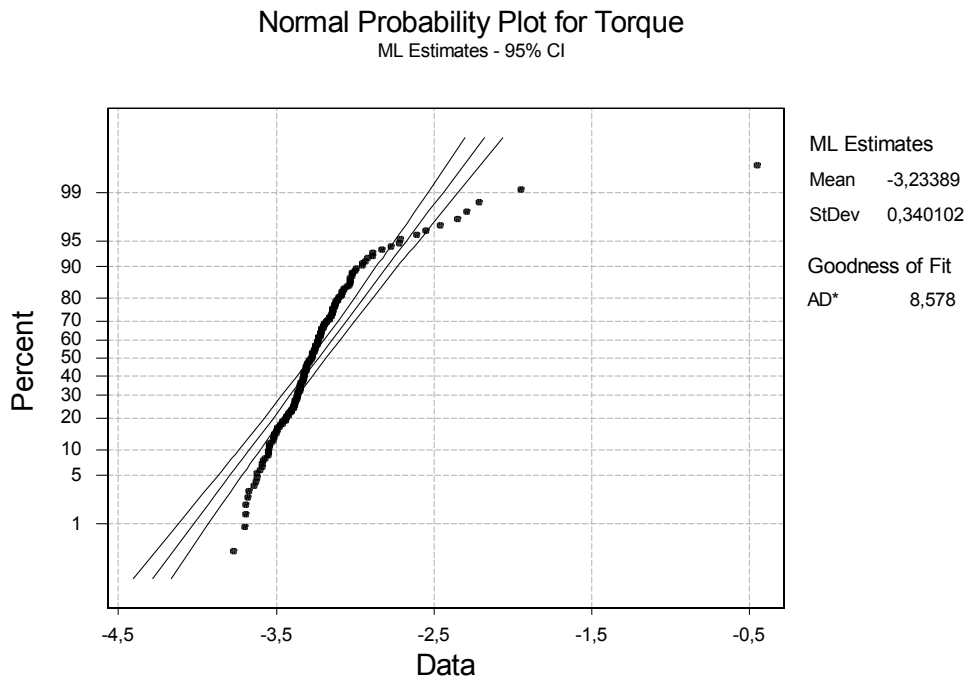


Figura A.6: Gráfico Normal Probabilístico para a Variável Torque – Minitab®

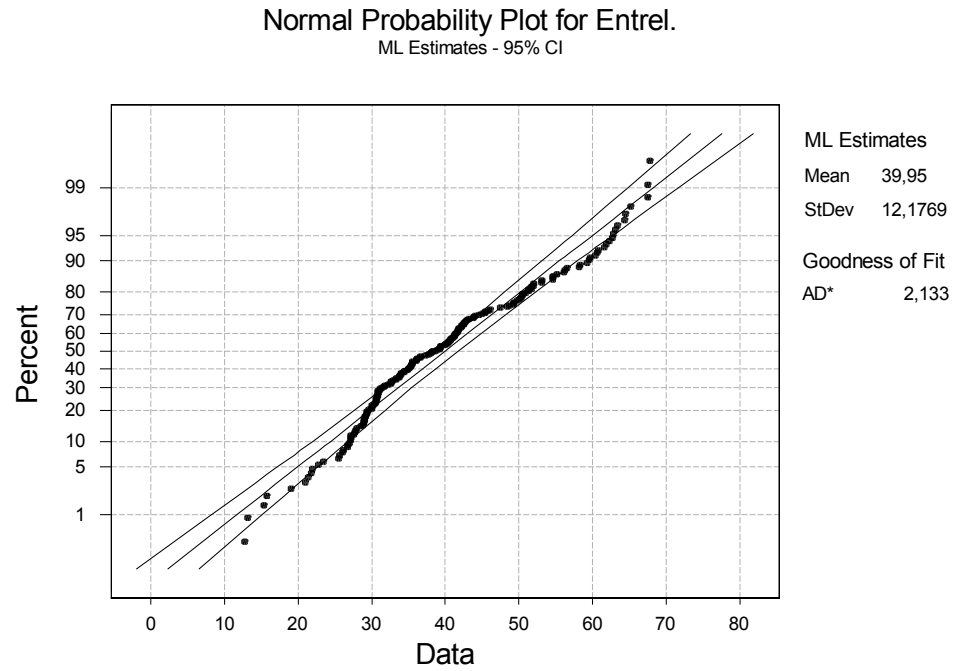


Figura A.7: Gráfico Normal Probabilístico para a Variável Entrelaçamento – Minitab®

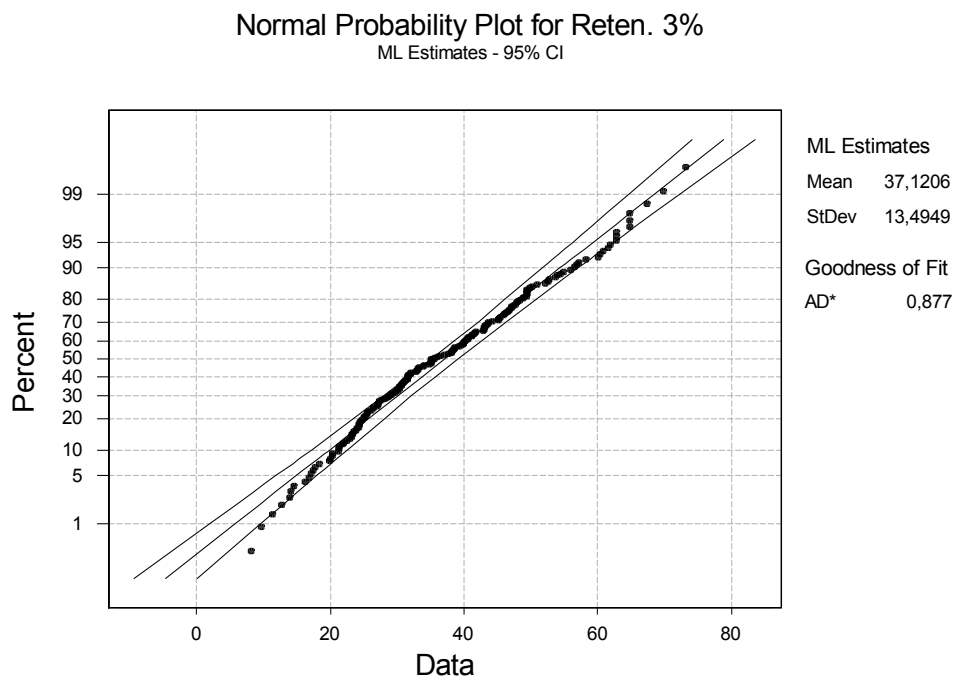


Figura A.8: Gráfico Normal Probabilístico para a Variável Retenção 3% – Minitab®

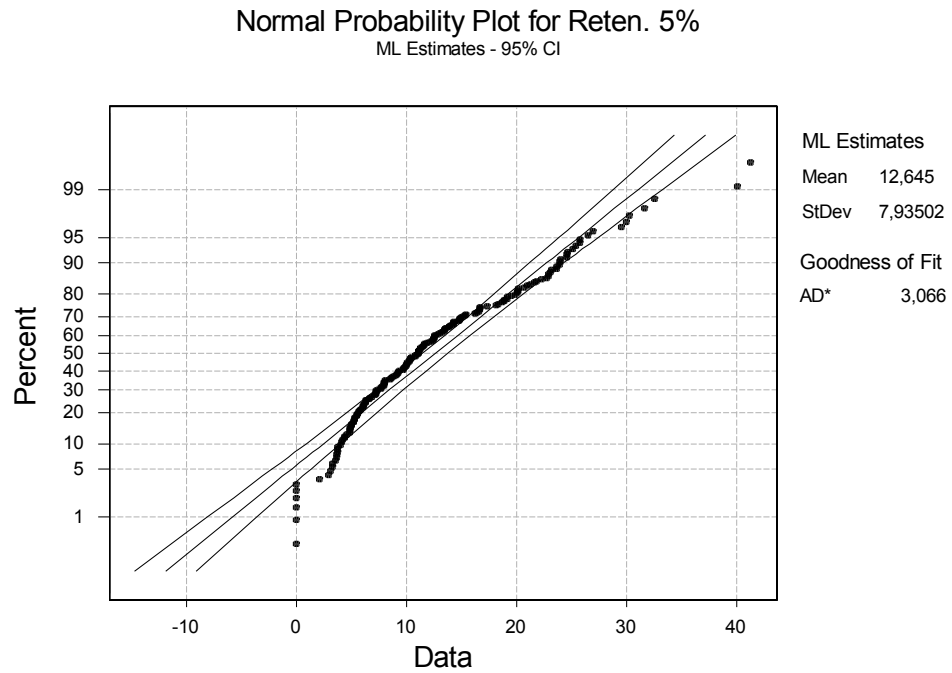


Figura A.9: Gráfico Normal Probabilístico para a Variável Retenção 5% – Minitab®

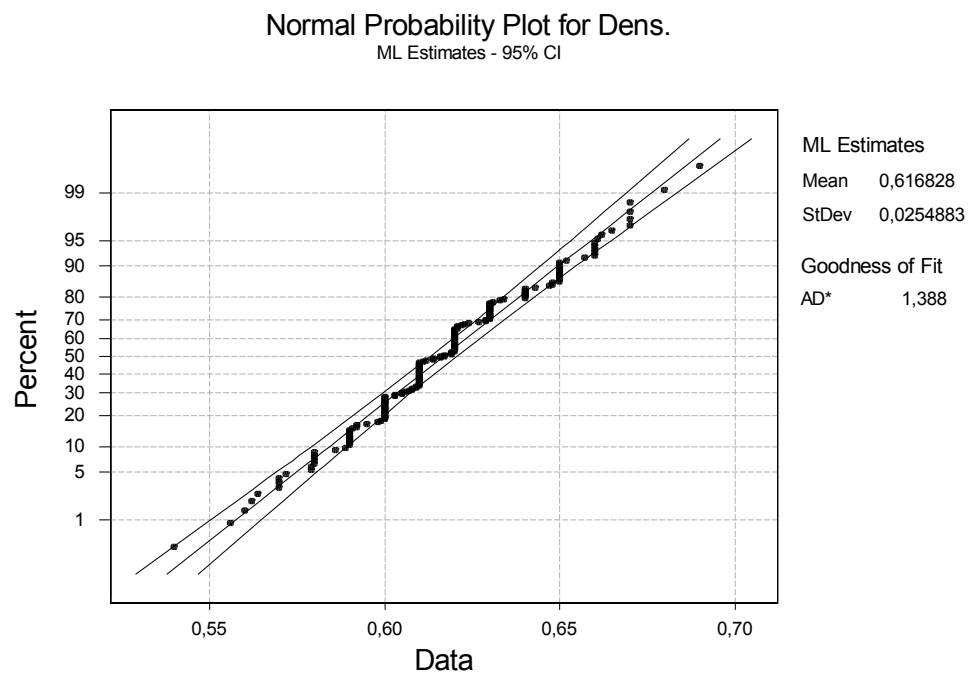


Figura A.10: Gráfico Normal Probabilístico para a Variável Densidade – Minitab®