

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Valentina de Lourdes Milani de Paula Soares**

**APLICAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE  
ESTATÍSTICO DE PROCESSO EM PINTURA  
INDUSTRIAL**

**Dissertação de Mestrado**

Florianópolis  
2003

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Valentina de Lourdes Milani de Paula Soares**

**APLICAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE  
ESTATÍSTICO DE PROCESSO EM PINTURA  
INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós Graduação em  
Engenharia de Produção da  
Universidade Federal de Santa Catarina  
como requisito parcial para obtenção  
do título de Mestre em  
Engenharia de Produção

Orientador: Professor Robert Wayne Samohyl, Ph.D.

Florianópolis  
2003

Valentina de Lourdes Milani de Paula Soares

**APLICAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE  
ESTATÍSTICO DE PROCESSO  
EM  
PINTURA INDUSTRIAL.**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de **Mestre em Engenharia de Produção no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção** da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 11 de Abril de 2003.

---

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Robert W. Samohyl, Ph.D.

---

Prof. Willy Arno Sommer, Dr.

---

Prof<sup>a</sup>. Terezinha Aparecida Guedes, Dr.

## DEDICATÓRIA

Ao meu esposo, José Maria pelo carinho, apoio, contribuição e crítica ao trabalho.

Aos meus filhos José, João Luiz e Giuliane pela torcida e incentivo constante.

A Deus, que sempre esteve tão presente, me iluminando e concedendo as forças necessárias, para superar o desanimo e os obstáculos que surgiram.

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Robert Wayne Samohyl, por sua Orientação e Supervisão ao longo do Curso de Pós Graduação e em particular no desenvolvimento desta dissertação.

Ao Professor Gonçalo M. de V. P. de Paula Soares, pela contribuição de seu tempo e conhecimento prático, bem como de seu espírito de colaboração, foram decisivos na elaboração deste trabalho.

A todos os meus Amigos e Colegas, que comigo tiveram a oportunidade de compartilhar este curso, em caráter especial às Professoras Clédina R. Lunardan Acorsi e Ângela M. Marconi de Araújo cujo apoio, estímulo e amizade, foram fundamentais, em momentos por vezes tão adversos.

Às Professoras Isolde Terezinha dos Santos Previdelli e Terezinha Aparecida Guedes, que no exercício de suas funções, souberam acolher com humildade e paciência as minhas dúvidas e incertezas, aconselhando-me e esclarecendo-me sempre que exigido.

A todos os funcionários do setor da Pintura desta Empresa, pelo enorme sentido de colaboração e participação durante todo o período da pesquisa e coleta de dados.

E a todos aqueles que, individualmente ou coletivamente não tendo sido aqui nomeados, permitiram de alguma forma a concretização deste trabalho.

## RESUMO

Soares, Valentina L. M. Paula. **Aplicação e Implantação do Controle Estatístico do Processo em Pintura Industrial**. 2003. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFSC-Florianópolis.

Este trabalho teve por objetivo a aplicação das Ferramentas do Controle Estatístico num determinado setor de uma indústria de Transformadores, situada no Noroeste do Paraná. Através da explanação de seus conceitos, características e operacionalidade, procurou-se oferecer uma melhoria sensível nos níveis de qualidade desse setor, com o objetivo de reduzir custos de produção. Para a aplicação do modelo, foi selecionado o setor de pintura industrial dos transformadores, com ênfase para uma das características do processo de pintura industrial - espessura da camada de tinta. Num primeiro passo foram revisados os conceitos relacionados com o setor da pintura industrial, viabilizando a aplicação do modelo proposto à realidade do setor. Numa segunda fase foram elaboradas planilhas de coleta de dados. Os dados foram coletados levando em consideração, as seqüências que constituem o processo da aplicação da tinta (demãos de pintura). Da análise dos dados coletados resultaram vários planos de ação de melhoria do processo que culminaram, em alguns casos com o controle estatístico do mesmo. Para a fase final de interpretação dos dados foram aplicadas os Gráficos de Controle X e AM, nas diversas partes do transformador. Para as situações nas quais foi obtido o controle estatístico do processo, estabeleceram-se os limites de controle que permitirão monitorar daqui para frente tais processos, bem como calcular os seus índices de capacidade. Para os casos onde a análise, entretanto, diagnosticou a permanência do processo fora de controle, se fará necessário dar continuidade ao estudo das causas da variabilidade do mesmo. Para tanto no final do presente trabalho são apresentadas algumas sugestões que ajudarão a encontrar as causas prováveis dessa variabilidade.

**Palavras chave:** Controle Estatístico, Transformadores, Espessura, Melhoria.

## **ABSTRACT**

Soares, Valentina L. M. Paula. **Aplicação e Implantação do Controle Estatístico do Processo em Pintura Industrial**. 2003. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

This paper aims at the application of statistical control tools in a transformer industry, located in northwestern Paraná State in Brazil. It is expected that after explaining their concepts, characteristics and how they work, they improve the quality of said sector, in order to reduce cost of production. In order to apply such a model, the transformer's industrial coating sector was chosen, emphasizing one of the industrial coating process characteristics - coating thickness. First, the industrial coating sector concepts were reviewed, making the proposed model application to the sector possible. Secondly, spreadsheets were organized to record the collected data. Data were collected taking into consideration the sequences that make part of the coating process. After the collected data were analyzed, several plans were made to improve the coating process, some of them by means of statistical control. For the last phase of data interpreting, Control Charts X bar and AM charts were used for several parts of the transformer. For those circumstances in which the statistical control of the process was obtained, the control limits were established to monitor and calculate their capacity indexes. Where the analyses diagnosed the process out of control, it will be necessary to continue the study of the process variability causes. Finally, at the end of this study, some ideas are presented in order to help find the probable causes of such variability.

**Keywords:** Statistical Control, Transformer, Thickness, Improvement.

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2. IMPORTÂNCIA DO TRABALHO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3. OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
1.3.1. Objetivo Geral .....	17
1.3.2. Objetivos Específicos.....	17
<b>1.4. DELIMITAÇÕES DO TRABALHO .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5. A ESTRUTURA DO TRABALHO.....</b>	<b>17</b>
<b>2. REVISÃO LITERÁRIA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1. PINTURA INDUSTRIAL .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. CONCEITO DE QUALIDADE. ....</b>	<b>21</b>
<b>2.3. CONCEITO DE CONTROLE DE QUALIDADE. ....</b>	<b>24</b>
<b>2.4. CONCEITO DE PROCESSO .....</b>	<b>27</b>
<b>2.5. CONCEITO DE CONTROLE DE PROCESSO .....</b>	<b>28</b>
<b>2.6. COLETA DE DADOS .....</b>	<b>31</b>
<b>2.7. REVISÃO DOS CONCEITOS ESTATÍSTICOS DE NORMALIDADE .....</b>	<b>32</b>
2.7.1. Verificação da Normalidade .....	35
2.7.2. Necessidade da Transformação nos Dados .....	37
<b>2.8. CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO .....</b>	<b>38</b>
2.8.1. Subgrupos Racionais.....	39
2.8.2. A Teoria Básica do CEP. ....	40
<b>2.9. GRÁFICOS DE CONTROLE. ....</b>	<b>42</b>
2.9.1. Conceito e Interpretação de Gráficos de Controle .....	42
2.9.2. Erros Associados aos Limites de Controle .....	45
2.9.3. Tipos de Gráficos.....	48
<b>2.10. CAPACIDADE DO PROCESSO.....</b>	<b>55</b>
2.10.1. Índices da Capacidade.....	55
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>58</b>
<b>3.1. METODOLOGIA PROPOSTA.....</b>	<b>58</b>
3.1.1. Fluxograma .....	59
3.1.2. Análise das Etapas .....	59
<b>3.2. APLICAÇÃO DOS GRÁFICOS DE CONTROLE NA PINTURA INDUSTRIAL</b>	<b>61</b>
3.2.1. Coleta de Dados .....	61
<b>3.3. MONTAGEM DOS GRÁFICOS DE CONTROLE.....</b>	<b>62</b>
<b>3.4. ANÁLISE DOS GRÁFICOS DE CONTROLE .....</b>	<b>62</b>
<b>3.5. CÁLCULO DOS ÍNDICES DE CAPACIDADE .....</b>	<b>62</b>
<b>4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....</b>	<b>64</b>
<b>4.1. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA .....</b>	<b>64</b>
4.1.1. Desenvolvimento Histórico .....	64
4.1.2. Perfil do Grupo.....	64
4.1.3. Caracterização da Unidade Objeto do Estudo .....	65



4.1.4.	Fluxograma da construção do Transformador .....	65
4.1.5.	Análise das etapas da construção do Transformador .....	66
<b>4.2.</b>	<b>SELEÇÃO DA LINHA PILOTO .....</b>	<b>67</b>
4.2.1.	Caracterização da Linha Piloto .....	67
4.2.2.	Fluxograma original da Empresa .....	68
4.2.3.	Reestruturação do Fluxograma.....	70
4.2.4.	O Diagrama de Ishikawa.....	72
<b>4.3.</b>	<b>FORMAÇÃO DA EQUIPE DE TRABALHO.....</b>	<b>74</b>
<b>4.4.</b>	<b>ESCOLHA DAS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DO PRODUTO .....</b>	<b>76</b>
<b>4.5.</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>76</b>
4.5.1.	Espessura da Pintura no Radiador .....	76
4.5.2.	Espessura da Pintura no Corpo .....	85
4.5.3.	Espessura da Pintura na Tampa.....	88
4.5.4.	Espessura da Pintura no Suporte .....	92
<b>4.6.</b>	<b>CONCLUSÕES NO PROCESSO DE PINTURA .....</b>	<b>96</b>
<b>4.7.</b>	<b>SUGESTÕES PARA A EMPRESA .....</b>	<b>97</b>
<b>4.8.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>98</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>100</b>
5.1.	LIMITAÇÃO DO TRABALHO .....	100
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>102</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>107</b>
	<b>APÊNDICE A - Folha de Verificação da Coleta de Dados .....</b>	<b>107</b>
	<b>APÊNDICE B – DADOS COLETADOS.....</b>	<b>108</b>
	<b>APÊNDICE C - VERIFICANDO A NORMALIDADE DOS DADOS EM TODAS AS PARTES DO TRANSFORMADOR.....</b>	<b>111</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Caracterização de um processo através do Diagrama de Ishikawa.	28
Figura 2.2: Detalhamento do ciclo PDCA nos ciclos de manutenção e melhorias	31
Figura 2.3: Relação entre a distribuição normal e os gráficos de controle	34
Figura 2.4: Relacionamento da Curva Normal c/ gráfico de controle de qualidade.	34
Figura 2.5: Gráfico verificando a Normalidade dos dados	35
Figura 2.6: Gráfico de controle típico com pontos fora do limite de controle.	43
Figura 2.7: Exemplo de 2 em 3 pontos, além das linhas de 2-sigmas.	44
Figura 2.8: Exemplo de 4 em 5 pontos consecutivos além dos limites 1-sigma.	44
Figura 2.9: Exemplo de sucessão de 8 pontos consecutivos.	44
Figura 2.10: Fluxograma da construção e utilização dos gráficos de Controle	53
Figura 2.11: Fluxograma com a forma sugerida conforme (SAMOHYL, 2001).	54
Figura 3.1: Fluxograma da metodologia proposta.	59
Figura 4.1: Esquema Operacional da Unidade	65
Figura 4.2: Fluxograma a partir da construção do transformador.	66
Figura 4.3: Fluxograma original da Empresa.	69
Figura 4.4: Fluxograma proposto do controle de processo	71
Figura 4.5: Diagrama de Ishikawa para a Identificação de Interferências na Qualidade da Pintura de Transformadores	73
Figura 4.6: Distribuição dos Funcionários com suas funções e equipamentos	75
Figura 4.7: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no radiador do transformador na coleta 1.	77
Figura 4.8: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no radiador do transformador na coleta 1.	77
Figura 4.9: Diagrama de Causa e Efeito nos prováveis fatores da variação.	79
Figura 4.10: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no radiador do transformador na coleta 2.	81
Figura 4.11: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no radiador do transformador na coleta 2.	81
Figura 4.12: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no radiador do transformador na coleta 3.	82
Figura 4.13: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no radiador do transformador na coleta 3.	83
Figura 4.14: Gráfico da CCO	84
Figura 4.15: Apresentação gráfica da perda na Pintura do radiador no transf.	85
Figura 4.16: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no corpo do transformador na coleta 1	85
Figura 4.17: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no corpo do transformador coleta 1.	86
Figura 4.18: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no corpo do transformador na coleta 2.	86
Figura 4.19: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no corpo do transformador na coleta 2.	86
Figura 4.20: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no corpo do transformador na coleta 3.	87
Figura 4.21: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no corpo do transformador na coleta 3.	87
Figura 4.22: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta na tampa do transformador na coleta 1.	88

Figura 4.23: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta na tampa do transformador na coleta 1.	88
Figura 4.24: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta na tampa do transformador na coleta 2.	89
Figura 4.25: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta na tampa do transformador na coleta 2.	89
Figura 4.26: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta na tampa do transformador na coleta 3.	90
Figura 4.27: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta na tampa do transformador na coleta 3.	90
Figura 4.28 : Apresentação gráfica da perda na Pintura da tampa do transf.	92
Figura 4.29: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no suporte do transformador na coleta 1.	93
Figura 4.30: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no suporte do transformador na coleta 1.	93
Figura 4.31: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no suporte do transformador na coleta 2.	94
Figura 4.32: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no suporte do transformador na coleta 2.	94
Figura 4.33: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no suporte do transformador na coleta 3.	95
Figura 4.34 Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no suporte do transformador na coleta 3.	95
Figura R1: Gráfico Normal de probabilidade na 1ª coleta no Radiador.	111
Figura R2: Gráfico Normal de probabilidade na 2ª coleta no Radiador.	111
Figura R4: Gráfico Normal de probabilidade na 3ª coleta no Radiador.	111
Figura C1: Gráfico Normal de probabilidade na 1ª coleta no Corpo.	112
Figura C2: Gráfico Normal de probabilidade na 2ª coleta no Corpo.	112
Figura C3: Gráfico Normal de probabilidade na 3ª coleta no Corpo.	112
Figura T1: Gráfico Normal de probabilidade na 1ª coleta na Tampa.	113
Figura T2: Gráfico Normal de probabilidade na 2ª coleta na Tampa.	113
Figura T3: Gráfico Normal de probabilidade na 3ª coleta na Tampa.	113
Figura S1: Gráfico Normal de Probabilidade na 1ª Coleta no Suporte.	114
Figura S2: Gráfico Normal de Probabilidade na 2ª Coleta no Suporte.	114
Figura S3: Gráfico Normal de Probabilidade na 3ª Coleta no Suporte.	114

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 2.1: Método de Solução de Problemas – “QC STORY”.	29
----------------------------------------------------------	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Funções dos funcionários da Pintura dos Transformadores.	74
Tabela 4.2: Limites de Controle dos Gráficos X e AM fixados para a variável Espessura – Radiador do Transformador.	83
Tabela 4.3 Limites de Controle dos Gráficos X e AM fixados para a variável Espessura – Tampa do Transformador.	91

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ARL –	Average Run Length
CCO –	Curva Característica de Operações
CEP –	Controle Estatístico de Processo
CMC –	Comprimento Médio de Corrida
FCP -	Faixa Característica do Processo
ISO –	International Organization for Standardization
PDCA –	Plan, Do, Check, Act (Planejar – Fazer – Verificar – Agir)
QC Story –	Método de análise e solução de problemas
SOP –	Standard Operation Procedure
AM –	Amplitude media
$C_{pk}$ –	Índice de capacidade real do processo
$C_p$ –	Índice da capacidade potencial do processo
LIC –	Limite inferior de Controle
LSC –	Limite Superior de controle
LIE –	Limite inferior especificado
K.S. -	Kolmogorov Smirnov
S.W. -	Shapiro-Wilk

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Considerações Iniciais

As necessidades humanas pela qualidade existem desde o crepúsculo da história. Entretanto, os meios para obter essas necessidades nos processos de gerenciamento para a qualidade, sofreram imensas e contínuas mudanças (JURAN, 1973).

A abordagem americana para esse gerenciamento, seguiu a prática dos países europeus colonizadores no continente norte-americano. Com a Revolução Industrial originada na Europa, acelerou-se o crescimento do número de estratégias tais como:

- Especificações escritas para materiais, processos, bens acabados e testes.
- Mensurações juntamente com instrumentos de medição e laboratórios para testes.
- Padronizações de várias formas.

A partir de 1990 as empresas brasileiras começaram a enfrentar a competição de produtos importados, desenvolvidos e produzidos em quantidade econômica, aportando num mercado brasileiro em que na sua maioria, ainda não se preocupava com a competitividade. Fez-se necessário então buscar idéias e recursos para continuar a sobreviver, criando condições necessárias para que houvesse um despertar por parte das empresas, e dos executivos, em relação à qualidade (JURAN, 1993). De qualquer forma, a qualidade no futuro, se manifestará de forma diferenciada conforme o tipo de indústria e a própria empresa. Para algumas empresas, o futuro será a consolidação de um simples "5S" (deriva de cinco palavras japonesas: Seiri-(arrumação), Seiton-(ordenação), Seisoh-(limpeza), Seiketsu-(asseio), Shitsuke-(autodisciplina) (CAMPOS F, 1994), é uma nova maneira de conduzir uma empresa com ganhos de produtividade); e para outras será a gestão da qualidade mais o montante de produção e de sua coordenação, em toda a cadeia de produção e consumo.

## 1.2. Importância do Trabalho

No início da década de oitenta, vários executivos se alarmaram com o início da avaliação da qualidade. Alguns constataram perdas consideráveis para as suas

companhias e, portanto, queriam recuperar as perdas. Outros objetivavam manter a crise longe de suas empresas. Havia ainda aqueles que, sentiram que a qualidade deveria receber prioridade total, pois era a “atitude certa a ser tomada”.

Inúmeras companhias iniciaram campanhas para priorizar a qualidade. De um modo geral, tais companhias aumentaram efetivamente a conscientização sobre a mesma, a ponto de tomarem atitudes concretas para as quais esta se constitui, num problema quase resolvido. Entretanto, nem sempre essa maior conscientização resultou numa mudança de comportamento.

Deve-se estar consciente, que um programa consistente de melhoria qualidade, por si só, não é suficiente. Ele deve envolver, amplo espectro de ações que vão desde pesquisas e ações técnicas, até a sensibilização da mão-de-obra e participação no processo de controle da mesma (TOLEDO, 1987).

Por serem os métodos estatísticos, ferramentas eficazes para a melhoria de um processo produtivo e redução de seus defeitos, o conteúdo deste trabalho para a análise da espessura da tinta na Pintura nos Transformadores (em duas camadas) visando à aplicação e implantação do CEP que constitui de real importância, visto que as técnicas para a melhoria da qualidade, apontadas em particular no setor desta Empresa de Transformadores, são deficientes, ficando restritas aos processos de medição da pintura, que apontam em alguns casos medições acima do intervalo dos 30% admitido pela Empresa e, portanto muito acima do estipulado pelo consumidor.

Assim a implantação do Controle Estatístico de Processo, na Pintura Industrial nesta Empresa de Transformadores, constitui-se uma tentativa de evitar-se prejuízo. Até porque em sabendo-se utilizar este instrumento de controle de qualidade de forma coerente, poderá ser uma excelente arma competitiva já que os tempos atuais requerem mais informações e recursos para se enfrentar condições instáveis e inesperadas.

E por fim, tem se as Empresas certificadas pela ISO 9000, que na última versão (2000), incrementaram o Controle de Qualidade tendo como base o CEP. A empresa em estudo enquadra-se nessa última categoria, e assim sendo, o presente trabalho vem de encontro às suas aspirações, não só da melhoria contínua dos processos, como também da reavaliação da certificação.

Este trabalho poderá ainda ser fonte de consulta, para aqueles que desejam trabalhar com as ferramentas nele contidas.



### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo Geral**

Implantar técnicas de Controle Estatístico de Processos na pintura industrial em transformadores, a fim de identificar possíveis problemas no processo na busca da melhoria contínua da qualidade.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

Encontrar e definir as características mais importantes da qualidade que serão submetidas ao CEP.

Elaborar e interpretar os de controle para melhorar o desempenho do processo.

Avaliar e implantar ferramentas estatísticas para melhorar os resultados.

### **1.4. Delimitações do Trabalho**

Face à diversificação de clientes com que comercializa, tanto em território brasileiro quanto no exterior exige, por conseguinte, especificações e tipos de transformadores bastante distintos. Associada a esta situação, à de que, a empresa trabalha sob o regime de encomendas, estabelece-se em muitos casos, a interrupção temporária no processo de fabricação e pintura de determinados tipos de transformadores, não sendo possível por esse motivo programar uma demanda constante.

No que cabe aos recursos humanos, com ênfase para o setor objeto deste trabalho, uma grande parcela dos funcionários têm apenas o ensino fundamental (incompleto), não existindo por parte dos mesmos o conhecimento estatístico e de ferramentas de melhoria da Qualidade.

### **1.5. A Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho é apresentado em seis capítulos, com o resumo de cada um deles a seguir:

Capítulo I - Apresenta a introdução do trabalho, com a justificativa da sua realização, a importância, os objetivos, sua estrutura e limitações do mesmo.

Capítulo II – Descreve os conceitos de: Pintura Industrial, Controle Estatístico de Processo, e a aplicação da pintura em indústrias. Inclui também, técnicas

estatísticas utilizadas para seu melhor entendimento e aplicação.

Capítulo III – Concentra-se e detalha-se a Metodologia proposta para aplicação do Controle Estatístico de Processo, explanando o procedimento da montagem e análise dos gráficos de controle e também do cálculo dos índices.

Capítulo IV – Apresenta a aplicação da Metodologia, iniciando-se pela caracterização da Empresa, mostrando o sistema de Coleta de Dados, seleção da Linha Piloto e das características de Qualidade do produto em estudo. Contém os gráficos de controle, índices e sua avaliação, com os resultados do Trabalho e as sugestões para a Empresa.

Capítulo V – Contém os gráficos de controle, os índices e sua avaliação. Expõe a conclusão e a Limitação do Trabalho.

Referências - Contém os autores utilizados para o desenvolvimento deste trabalho.

Apêndice – Apresenta o instrumento utilizado para a coleta dos dados, os dados coletados e como foi verificada a normalidade antes da construção de cada Gráfico.

## **2. REVISÃO LITERÁRIA**

Os métodos estatísticos são conhecidos a partir da Revolução Industrial ao ser introduzido o termo controle de qualidade, mas a partir da 2ª Guerra Mundial o Controle Estatístico da Qualidade foi adotado para a redução de peças defeituosas na Indústria bélica, que ao envolver o Controle Estatístico de Processo houve uma enorme melhora.

A seguir é apresentado um histórico da pintura industrial, da qualidade, seguido pelo conceito de controle de qualidade, processo, controle de processo, revisão de conceitos estatísticos, CEP, conceito e interpretação e análise de gráficos.

### **2.1. Pintura Industrial**

O aço tem-se consolidado como um dos principais materiais de construção industrial, mas que devido à corrosão, o sucesso de sua aplicação decorre do emprego de revestimentos eficazes. Entre estes revestimentos destaca-se o revestimento por pintura, o qual, por ter entre outras características, a função anticorrosiva, é aplicado diretamente sobre a superfície que se pretende proteger.

A pintura industrial se constitui por isso num método de proteção anticorrosiva, de maior utilização na vida moderna, com larga utilização nas construções e objetos confeccionados em aço.

É difícil precisar quando se usou pela primeira vez, a tinta como elemento determinante de proteção anticorrosiva, mas o fato é que muito se evoluiu no fim do século XIX e no início do século XX, quanto à formulação de tintas. Em todo o mundo, têm-se hoje inúmeras formulações de tintas diferentes, fabricadas com matérias-primas das mais diversas, e que atendem às condições mais adversas possíveis a que ficam expostas as estruturas de fabricadas com aço.

O esquema da pintura destina-se primordialmente a proteger a superfície onde a mesma é aplicada, da ação corrosiva do meio (NUNES; LOBO, 1990).

O bom resultado da pintura dependerá, todavia, da observância de fatores básicos, sem os quais não haverá proteção adequada, por longo período, a custo compatível com o valor e o tempo de vida esperada para a estrutura. Para tanto terão que ser definidos não só os fatores ou requisitos que determinam suas

propriedades depois da aplicação, como também o seu desempenho ao longo do tempo, e respeitando-se ainda a determinados passos, por ocasião da aplicação da tinta, e que resumidamente é descrito a seguir:

- Preparação da superfície: Tem por finalidade remover óleos, graxas, gorduras e principalmente produtos de corrosão. Esta limpeza é uma fase de extrema importância, pois as tintas sempre exigem, antes de sua aplicação uma preparação da superfície, de modo a haver, um perfeito contato com a mesma. Visa também criar um perfil de rugosidade capaz de facilitar a adesão mecânica da tinta.

- Aplicação da tinta de fundo ou primer: São aplicadas em uma ou mais demãos, e caracterizam-se normalmente por serem as responsáveis pela proteção anticorrosiva. A maioria dessas tintas é pigmentada com pigmentos de propriedades anticorrosivas, garantindo no contato com a superfície metálica, maior eficácia contra a corrosão. Há casos onde a tinta de fundo apenas facilita a adesão ou a aplicação do esquema da pintura.

- Aplicação da tinta de acabamento: Aplicadas em uma ou mais demãos. Têm como objetivo não só conferir a cor final ao equipamento, como funcionam ainda como uma primeira barreira entre o eletrólito e a tinta de fundo, sendo conveniente que estas películas de tinta sejam bastante impermeáveis.

Para que a película de tinta cumpra a sua finalidade de proteção anticorrosiva, deve apresentar uma espessura mínima em função da natureza da tinta usada e da agressividade do meio corrosivo, pressupondo a seleção adequada no esquema de pintura para o meio indicado. As espessuras recomendáveis para os vários meios corrosivos e nas quais se enquadram as especificações para a espessura de tinta nos transformadores são:

- atmosfera pouco agressiva- 120  $\mu$  m.
- atmosfera medianamente agressiva- 160  $\mu$  m.
- atmosfera altamente corrosiva- 250  $\mu$  m.
- superfícies quentes- 75 à 120  $\mu$  m.

Em se tratando de pintura industrial, a abordagem ideal do parâmetro qualidade na aplicação das tintas é maximizar as ações de prevenção de defeitos, objetivando garantir que a qualidade prevista para o esquema de pintura possa ser efetivamente alcançada (NUNES; LOBO, 1990). E o mesmo autor, conclui ainda que o estudo atual, em termos de qualidade de um esquema de pintura, não se deve limitar às

tradicionais ações de detecção de defeito (controle da qualidade) e sim maximizar as ações de prevenção de defeitos, também conhecidas como administração da qualidade.

Na área da pintura o desenvolvimento tecnológico colocou à disposição dos usuários tintas de ótimo desempenho, mas que necessitam de maiores cuidados na aplicação. Não é raro observar-se esquemas de pinturas que teoricamente seriam de grande desempenho, falharem muito rápido por má qualidade da aplicação (NUNES; LOBO, 1990).

A definição da qualidade, num esquema de pintura durante a aplicação, é explicitar as propriedades e o desempenho esperado. Deve-se definir o preparo da superfície (grau de limpeza e rugosidade), a especificação das tintas (desempenho, natureza química etc.), as espessuras de demão, os intervalos entre uma demão e outra e os ensaios a serem realizados, em um esquema aplicado, com os resultados a alcançar. Apesar dos ensaios que devem ser realizados no final da aplicação contemplarem uma série de ações de controle final, uma série de outras ações de prevenção de defeitos, deve ser implementada, o mais rápido possível, pois quanto mais cedo detectado qualquer defeito, menor a repercussão em termos de gastos com material e mão de obra, re-execução de trabalhos e lucros cessantes a fim de evitar que os mesmos sejam identificados apenas no final da aplicação. Outra medida é certificar-se que o esquema da pintura explicitado é adequado às particularidades do meio ambiente e das condições do equipamento que está sendo pintado. Certificar-se igualmente se as tintas a serem utilizadas na aplicação, estão em conformidade com o especificado. O treinamento e a capacitação do pessoal, abrangendo principalmente os jatistas, os pintores, supervisores ou encarregados de campo, deve abranger conceitos teóricos e práticos (NUNES; LOBO, 1990).

## **2.2. Conceito de Qualidade.**

A segunda metade do século vinte consolida-se pelo crescimento explosivo dos bens e serviços não só em volume como também em complexidade. Surgem, grandes Indústrias, para produzir, vender e manter bens ao consumidor.

Os anos 50 caracterizam-se por serem um período de solidificação dos sistemas MIL-STD-105, MIL-STD-414 e H107/108, das Tabelas de Planos de Amostragem simples, dupla e múltipla para a avaliação da qualidade por atributos e variáveis e

produção contínua. É um período que corresponde igualmente à adaptação das normas militares à indústria em geral. O conceito de qualidade reforça-se ainda mais com o advento da qualidade no Japão e sua enorme popularização, tendo como referência os trabalhos de Deming e Juran, em 1955, e de Ishikawa, que introduziram as técnicas de controle de processos.

Os anos 60, 70 e 80 são períodos definidos pelo surgimento do conceito de *Controle de Qualidade Total*, sendo expandido o conceito de qualidade para toda a empresa, antes restrita ao chão de fábrica.

Surge no Japão o conceito dos círculos de qualidade, dentro de um modelo que viria mais tarde a ser conhecido como a abordagem participativa da qualidade. Aparecem ainda os diagramas de causa e efeito e os de controle de variações em processos produtivos, com os métodos de Taguchi (1976, 1977).

O advento do computador se constitui como ferramenta determinante e facilitador no uso de técnicas estatísticas.

Por sua vez o consumidor adota cada vez mais, um comportamento que associa preço e qualidade. Tanto que as leis de proteção ao consumidor e suas evoluções refletem essa tendência.

Espelhando essa associação (preço, qualidade e consumidor), destacamos aqui alguns conceitos de qualidade, transcritos em ordem cronológica e extraídos de alguns dos maiores estudiosos no assunto:

- Qualidade quer dizer, o melhor para certas condições do cliente. Essas condições são: o verdadeiro uso e o preço de venda (FEIGENBAUM, 1986).
- Qualidade é o atendimento às expectativas do usuário (NUNES; LOBO, 1990).
- Um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo, às necessidades do cliente (CAMPOS, F. 1992).
- É nova a tendência de quantificar a capacidade de um processo e de padronizar os métodos, ferramentas e terminologia. Hoje em dia, a idéia muito aceita que empresas que empregam essa quantificação da capacidade do processo durante o planejamento de qualidade, terão melhores desempenhos do que as que não a empregam. O principal efeito reside nos custos. Geralmente, mais qualidade custa menos (JURAN, 1995).
- Com o planejamento da qualidade, eliminam-se ações improvisadas, decisões com base intuitiva e subjetivismo. Mas tem-se a crença de que qualidade mais alta

custa mais. Apesar de melhoramento da qualidade não vir de graça, a sua finalidade é de criar e manter uma empresa saudável, crescente e lucrativa com empregos estáveis. A vantagem mais evidente do emprego de políticas da qualidade bem definidas diz respeito a um processo consistente de operação da empresa. Trabalhar-se de forma planejada, bem definida e de modo a otimizar o uso dos recursos, reflete em redução de custos tanto pela eliminação de desperdício, que requerem correções, quanto pela necessidade de alterar decisões que se mostram equivocadas (PALADINI, 1999).

Em decorrência da expansão comercial, a tecnologia foi aumentando, e ferramentas e conceitos foram inventados para o gerenciamento da qualidade.

Os gráficos que serão apresentados a seguir fazem parte do grupo dos 7 Instrumentos do CEP, também chamados de - 07 gráficos úteis para a qualidade no método Deming de administração:

- Diagrama de Dispersão: utilizado para representar graficamente a relação entre duas variáveis, com intuito de mostrar se existe ou não correlação entre as mesmas.

- Gráfico Corrido ou Diagrama de linha: utilizado para representar graficamente uma série temporal, identificando assim se existe ou não tendências.

- Histograma: é um diagrama de colunas onde mostra com que frequência os dados estão dentro de intervalo de valores especificados. Sendo possível obter informações úteis dos dados através da análise do perfil do histograma.

- Fluxograma: é uma representação gráfica através de símbolos onde mostra as fases ou etapas do funcionamento de um processo. É a fotografia do processo. A vantagem de sua utilização é que esta fotografia pode mostrar duplicidade, desentendimento, ou mesmo ineficiência.

- Diagrama de Pareto: utilizado para mostrar áreas onde devem ser concentrados maiores esforços nos *poucos e vitais* deixando de lado os *muitos e triviais*, ou seja, para descobrir problemas maiores.

- Diagrama de Causa e Efeito (utilizado para mostrar a relação entre uma característica da qualidade e os fatores de causa de um processo, ajudando assim a identificar qual a causa de fundamental importância está afetando o processo). Também chamado de espinha de peixe ou mesmo Ishikawa (Professor da Universidade de Tóquio que utilizou este método em 1953, quando sintetizou as opiniões dos engenheiros de uma fábrica na forma de causa e efeito, ao discutirem um problema relativo à qualidade).

- Gráficos de Controle: utilizado para analisar e monitorar a variabilidade do processo.

Ao considerar a qualidade é adequação ao uso Juran crê que é preciso trabalhar para quebrar o muro do preconceito, desenvolver uma atmosfera de cooperação e de entendimento. Para a melhoria da qualidade desenvolveu a seguinte seqüência:

- Do sintoma para a causa; da causa para a solução.
- A média gerência é o foco da filosofia.
- É fortemente orientada para as necessidades e expectativas dos clientes.
- Para estabelecer um efetivo programa de CEP a mudança de atitude deve ser o primeiro passo.
- Acredita que é necessário o engajamento de todas as pessoas para a melhoria dos programas de qualidade, inclusive a alta administração.
- O treinamento em CEP deve ser providenciado para todos na empresa;
- Sugerem a criação de comitês permanentes e temporários, os chamados braços de guia e de diagnóstico.

Em geral, a condição básica para o sucesso da qualidade é o total comprometimento da administração nas idéias e objetivos. Isto se refere ao envolvimento de todas as pessoas envolvidas no processo desde a cúpula administrativa até o pessoal de base.

Além do que a qualidade, em se tratando de um processo evolutivo, é obtido a partir de ações concretas, cada vez mais amplas e efetivas, envolvendo a todos. De cada um espera-se resultados que devem ser bem definidos e conhecidos, requerendo base técnica e exigindo competência de quem se propõe a produzi-la. A ação pela qualidade é abrangente, participativa, compulsória (PALADINI, 2000).

A busca da melhoria da qualidade deve ser contínua, permitindo assim reconhecer os problemas, priorizar ações corretivas, implantá-las e dar seqüência, agindo preventivamente. São várias as ferramentas para fornecer as melhorias, mas uma das principais, é o emprego de técnicas estatísticas. Sendo assim, é imprescindível a constante pesquisa das causas de problemas, e dos caminhos para obtenção da melhoria.

### **2.3. Conceito de Controle de Qualidade.**

Historicamente, - Controle de Qualidade, iniciou-se na Indústria com a



implantação do Taylorismo, nos fins do século XIX, quando, a Gerência, passou a incorporar as atividades de planejamento e controle, para atender as necessidades por que passava o capitalismo industrial, sintetizando idéias em desenvolvimento na Inglaterra e nos EUA, orientando uma nova Gerência do trabalho (TOLEDO, 1987).

A Engenharia de Qualidade que tem origem na aplicação de métodos estatísticos para o controle da qualidade é uma das estratégias que surgem para lidar com as forças de volume e complexidade. Seus trabalhos pioneiros iniciaram-se nos anos vinte, tanto na Bell Telephone Laboratories, um departamento responsável pela qualidade no qual encontrava-se W.A. Shewhart, quanto em Hawthorne Works, da Western Electric Company, que tinha entre seus membros, Juran.

O primeiro, (Shewhart) usou recursos estatísticos para desenvolver seus gráficos de controle, da seguinte forma:

- Propôs o seu uso, para a análise de dados resultantes de inspeção, fazendo com que a importância dada à inspeção, para detecção e correção de produtos defeituosos, fosse substituída pelo estudo e prevenção dos problemas relacionados à qualidade, de modo a impedir que produtos defeituosos fossem produzidos. E isto através de uma metodologia gráfica que determinava rapidamente quando o processo está fora do controle, sendo o processo então investigado para determinar as causas dessa condição anormal.

Com a segunda Guerra Mundial, o controle de qualidade foi aplicado por um maior número de indivíduos americanos, na produção de suprimentos militares de boa qualidade, em grande quantidade e mais baratos, de modo a atender as exigências das condições do período da guerra. Nesta época os procedimentos para o controle de qualidade foram publicados sob formas de normas entre estas as “American War Standards Z1. 1- Z1.3”. Já para a elaboração dos padrões Normativos Britânicos (“British Standard BS600”), os trabalhos de E. S. Pearson foram utilizados como base (WERKEMA, 1990).

Após a segunda Guerra Mundial, restava aos japoneses a parte comercial, para os quais a capacidade de produção mesmo antes da Guerra, já competia em preço, mas era deficitária em qualidade. Assim quer pela iniciativa das forças de ocupação em adotarem programas de gerenciamento para a qualidade (que tiveram dificuldades de implantação em razão das diferenças de cultura), quer pelo envio de equipes ao exterior para visitar e estudar abordagem em empresas estrangeiras, bem como pela criação de uma organização constituída por engenheiros e

pesquisadores (JUSE: Union of Japanese Scientists and Engineers) e convidando conferencistas estrangeiros para ir ao Japão de modo a conduzir cursos, seminários (entre estes, W. E. Deming em 1950 e J.M. Juran em 1954). Tais ações permitiram que no Japão, fosse desenvolvido um método que levava em conta as diferenças (fatores culturais e humanos) existentes entre este e os países ocidentais e cuja evolução deu origem ao Controle de Qualidade Total no estilo Japonês. A partir daí o controle de qualidade passou a ser entendido e utilizado como uma ferramenta administrativa.

As atividades básicas de controle da qualidade, ao nível da fábrica, estão nas repetições de análise e melhoramentos, para reduzir as variações de qualidade. Faz-se necessário então determinar a magnitude das variações atuais e, prosseguir com os fatores que as causam (KUME, 1993).

No controle de qualidade analisa-se, pesquisa-se e previne-se a ocorrência de defeitos, minimizando o prejuízo ou, melhor ainda, evitando que este aconteça. Para tanto, os melhoramentos de qualidade acontecem através de um projeto, identificando como um problema programado a ser resolvido. Com a evolução do controle de qualidade, este permitirá não só que a empresa reduza a frequência de erros, do re-trabalho, das falhas de campo, de despesas com garantia, insatisfação dos clientes, como também aumente o rendimento, a capacidade, o desempenho de entrega. Praticar um bom controle de qualidade é desenvolver, projetar, produzir e comercializar um produto de qualidade que seja mais econômico, mais útil e sempre satisfatório para o consumidor (ISHIKAWA ,1989; 1993).

O Controle da qualidade aqui é abordado com três objetivos:

A)- Planejar a Qualidade - É um esforço para localizar, saber as necessidades, e traduzi-las em características mensuráveis, para ser possível gerenciar o processo de atingi-las.

B)- Manter a Qualidade - Cumprir padrões e atuar na causa dos desvios, utilizando um método para manter resultados que se visa: estabelecimento do padrão de qualidade; estabelecimento dos procedimentos padrão; trabalho de acordo com os padrões sendo que as pessoas devem ser treinadas em manter o valor padrão; definir as medidas a serem feitas: temperatura, espessura, etc; definir os padrões de verificação; verificar se existem não conformidades em relação aos padrões de verificação, e as causas de não conformidades que devem ser eliminadas de imediato. Se essas não conformidades são crônicas, os

procedimentos padrões devem ser alterados. Entretanto se forem ocasionais deve-se conduzir uma análise de falhas para localizar a causa, e este evento deve ser registrado para análise futura.

C)- Melhorar a Qualidade - Estabelecer novos padrões de qualidade, visando um produto, um serviço melhor, mais barato, de maior facilidade de manutenção, mais seguro. Utilizar-se de um método para redirecionar o processo. O método é peça fundamental para o controle de qualidade a ser exercido (CAMPOS, F. 1992).

É bom ressaltar a diferença entre método e ferramenta. O método é a seqüência lógica para atingir a meta desejada. A ferramenta é o recurso a ser utilizado no método. Não adianta conhecer as ferramentas do controle da qualidade se o método não é dominado. O que soluciona os problemas, não são as ferramentas, mas o método. O método aqui proposto para a solução dos problemas é o “QC STORY” e abordado no item 2.5. Mas é necessário primeiramente ter uma noção do que é um processo.

## **2.4. Conceito de Processo**

Pode se observar a seguir a definição de processo, segundo o pensamento de certos autores.

- Processo é um conjunto de causas (que provoca um ou mais efeitos). Sendo as causas os equipamentos de medição: as máquinas, as matérias primas, a luminosidade do local, mão de obra treinada, o método de fabricação com o objetivo de chegar a algum efeito (CAMPOS, F. 1992).

- Processo é uma série sistemática de ações direcionadas para a consecução de uma meta (JURAN, 1995).

- Processo é qualquer conjunto de condições ou causas que agindo juntas, geram um dado resultado (PALADINI, 1997).

- Processo num conceito mais amplo é uma combinação de causas: Insumos (matéria-prima), Métodos ou Procedimentos, Informação do processo ou medidas, Pessoas (mão de obra), Condições Ambientais (meio ambiente), Máquinas e Equipamentos, tendo como objetivo a fabricação de um bem ou fornecimento de um serviço. Ainda assim, um processo pode ser dividido em processos menores, cuja divisibilidade deste, é importante porquanto permite que cada processo menor (subdividido) seja comparado separadamente. Desta forma, fica facilitada a

localização de possíveis problemas e a atuação nas causas do problema, resultando num controle mais eficiente de todo o processo (WERKEMA, 1995). A caracterização desse processo está apresentada a seguir.

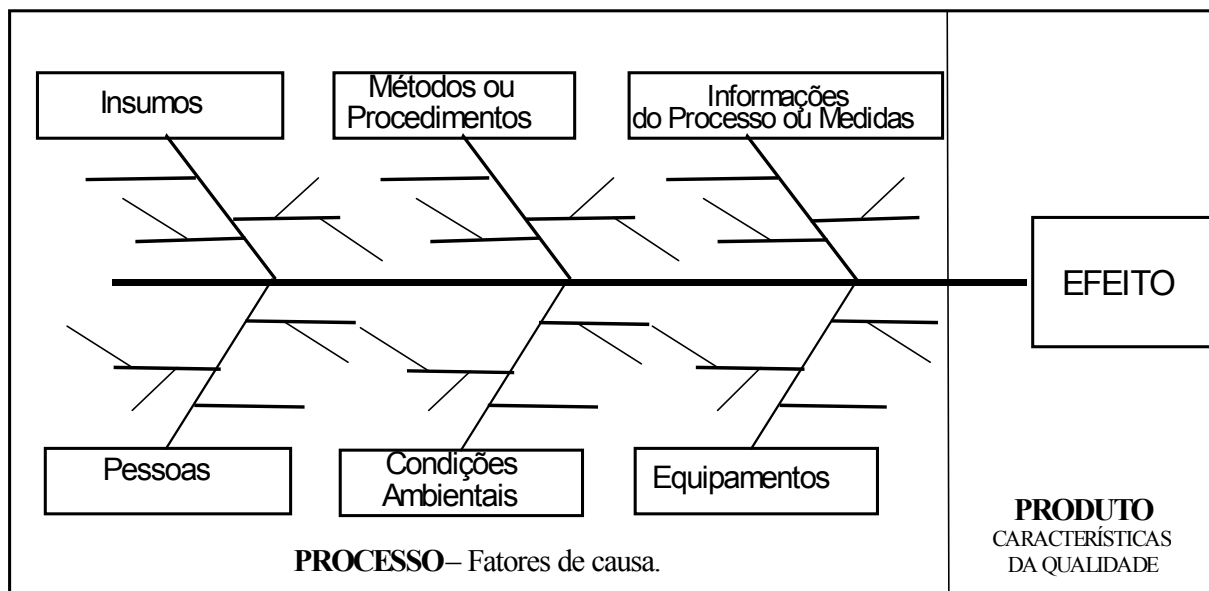


Figura 2.1: Caracterização de um processo através do Diagrama de Ishikawa.

Fonte: Adaptado de Ishikawa (1993)

Observa-se então, que em geral, todas as definições acerca de *processo*, apresenta-se de forma sucinta como, um conjunto de causas que têm como objetivo produzir um determinado efeito, o qual é denominado produto do processo.

Para melhor conhecimento de um processo se faz necessário conhecer o passado recente, ter uma visão histórica de seu desempenho, para em seguida se fazer uma previsão do processo, e a partir desta, desenvolver o controle sobre suas ações, sendo assim possível definir o que é preciso fazer, qual seja em alterar o processo, aumentar a intensidade do controle, ou permanecer como está, prevenindo então: defeitos, desperdícios, redução de custos. Assim com esse conhecimento torna se viável então o Controle do Processo que será visto a seguir.

## 2.5. Conceito de Controle de Processo

São procedimentos adotados para avaliar, manter e melhorar padrões de qualidade nos diversos estágios de fabricação. Estes procedimentos e técnicas de controle de processo são feitos para garantir a qualidade de forma econômica. As

técnicas de controle de processos ajudam a avaliar padrões de processos em termos de dimensões, refugo, re-trabalho entre outras coisas; estudam o comportamento dos processos e com isso ajudam a manter padrões sempre que apropriados. Caso não seja apropriado, faz-se ação corretiva para retornar o processo ao padrão desejado, ajudando a embutir a qualidade no produto, e então exercendo o controle sobre o processo (PARANTHAMAN, 1990).

Manter estes procedimentos e técnicas sob controle é saber localizar o problema, analisar o processo para identificar as causas fundamentais dos problemas, padronizar para prender as causas fundamentais, e estabelecer itens de controle para que o problema nunca mais ocorra (CAMPOS, F. 1992).

O “QC STORY” é um método de Solução desses problemas, sendo apresentado a seguir no Quadro 2.1.

Quadro 2.1: Método de Solução de Problemas – “QC STORY”.

PDCA	FLUXO GRAMA	FASE	OBJETIVO
P	1	Identificação do problema	Definir claramente o problema e reconhecer sua importância.
	2	Observação	Investigar as características específicas do problema com visão ampla e sob vários pontos de vista
	3	Análise	Descobrir as causas fundamentais
D	4	Plano de ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais.
	5	Ação	Bloquear as causas fundamentais.
C	6	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo.
	?	(Bloqueio foi efetivo?)	
A	7	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema.
	8	Conclusão	Recapitular todo o processo de solução do problema para retrabalho futuro.

Fonte: Campos F. (1992)

Pode ser visto em Campos, F. (1992, p.29) que o controle de processo é exercido através do Ciclo PDCA (PLAN – DO – CHECK - ACT) de controle de processos com o seguinte significado:

(P) - Planejamento - Consiste em estabelecer metas sobre os itens de controle e estabelecer o caminho para atingir essas metas.

(D) - Execução – Consiste em executar as tarefas exatamente como previstas no plano de coleta de dados para a verificação do processo. É essencial o treinamento no trabalho, decorrente da fase de planejamento.

(C) - Verificação - A partir dos dados coletados na execução, compara-se o resultado

alcançado com a meta planejada.

(A) - Atuação Corretiva- Onde o usuário detectou desvios, atuará no sentido de fazer correções definitivas, para que o problema não mais ocorra.

Este ciclo pode ser utilizado para manter e melhorar as diretrizes de controle de um processo. Utilizado para a manutenção do nível de controle estabelecido pela diretriz de controle onde a meta é a faixa de valores e o método é o Procedimento Padrão de Operação (“standard operation procedure” SOP).

Como será visto na figura 2.2 (vide página a seguir), o ciclo PDCA é empregado também nas melhorias do nível de controle. Não sendo repetitivo, o plano consta de uma meta que é um valor definitivo e de um método que compreende procedimentos próprios para atingir a meta, sendo esta meta, um novo nível de controle pretendido. O caminho para o sucesso, em se tratando de melhorias contínuas é: conjugar os dois tipos de gerenciamento - manutenção e melhorias.

Atente-se ao fato de que, os operadores ocupam a maior parte do tempo cumprindo padrões e devem ser preparados, sob a responsabilidade de suas chefias, treinando-os segundo as diretrizes de controle sem o que, conscientes da importância do estabelecimento de diretrizes de controle, deixarão todo o controle de processo prejudicado, tornando o gerenciamento de péssima qualidade (CAMPOS, F. 1994). Ainda segundo Campos, F. (1994, p.37), “não somos competitivos internacionalmente, a julgar pelos resultados das empresas brasileiras, pois estão jogando de 20% a 40% do seu faturamento, em perdas pelo descontrole”. E não se pode atribuir aos operadores, a culpa. Por conseguinte toda a empresa tem por objetivo, melhorar os resultados sendo extraordinariamente motivador, quando bem conduzido. Portanto o princípio do “conceito de controle” diz que, para melhorar, é necessário manter a diretriz de controle. Esta diretriz de controle pode ser observada no Ciclo PDCA utilizado para Melhorar Resultados apresentados na Figura 2.2, onde aplica-se o Plan, Do, Check e Action com acompanhamento da manutenção, verificando a estabilização do processo continuamente, e caso o mesmo não ocorra, bloqueia-se as causas que levaram a este resultado, entrando com ações corretivas, fazendo um acompanhamento continuo visando a melhoria do processo.

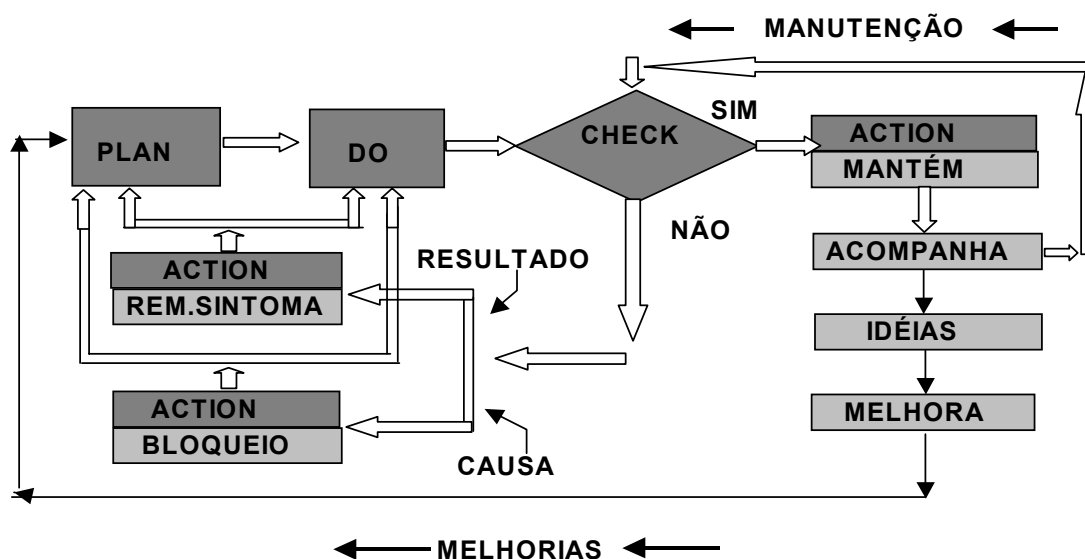


Figura 2.2: Detalhamento do ciclo PDCA nos ciclos de manutenção e melhorias

Fonte: Campos F. (1992, p.36).

A utilização deste ciclo, para melhorar as diretrizes de controle, é a grande responsabilidade de todas as chefias. Este método é possivelmente o mais importante, e deveria ser dominado por todas as pessoas da empresa, desde o Presidente aos Operadores.

## 2.6. Coleta de Dados

Sendo os dados, a base para a tomada de decisões confiáveis durante a análise de um problema, e como toda a obtenção de dados deve ser seguido por algum tipo de ação, é importante ficar claro quais são os objetivos da coleta, já que esses indicarão as características que os dados deverão apresentar (WERKEMA, 1995).

Dados são um guia para nossas ações. A partir deles aprende-se os fatos pertinentes, e tomam-se providências baseadas em tais fatos (KUME, 1993).

Uma vez definido o objetivo da coleta de dados, os tipos de comparações a serem realizadas também são determinados e, por sua vez identificados o tipo dos dados a serem coletados (por exemplo: se por ocasião em que estiver sendo analisada a espessura da camada de tinta, e observar-se que a espessura da pintura de acabamento de um pintor é mais espessa que do outro, é conveniente que além de se anotar essa espessura, identificar o pintor, de modo a facilitar uma análise futura desse processo). O uso de mais ferramentas estatísticas como a Folha de Verificação, Fluxograma, Diagrama de Pareto e o Diagrama de Ishikawa se faz

necessário.

A folha de verificação é um formulário de papel no qual os itens a serem verificados já estão impressos, para que os dados possam ser coletados de forma fácil, rápida e concisa, otimizando assim, a coleta de dados e de forma organizada, facilitando assim sua utilização mais tarde.

Por sua vez na coleta dos dados se fazem necessários alguns cuidados entre estes: a precisão dos instrumentos, as normas de medição observadas e padronizadas, a pessoa encarregada da coleta que deverá ser treinada anteriormente. Após as informações sobre a coleta de dados se faz necessários alguns conceitos para o estudo dos mesmos, que serão visto a seguir.

## 2.7. Revisão dos Conceitos Estatísticos de Normalidade

Segundo Montgomery (1997, p.57) “A distribuição normal é provavelmente a mais importante distribuição na teoria e na aplicação estatística”. Talvez seja uma simplificação muito grande dizer que é chamado de distribuição normal, pois é uma distribuição que ocorre naturalmente nas variáveis com normalidade. Mas é verdade que muitas distribuições de probabilidade com fenômeno da aleatoriedade são bem próximas da normal (JOHN, 1990).

Há alguns anos atrás, alguns estatísticos afirmavam com convicção que se um processo não fosse distribuído normalmente, havia algo errado com o mesmo, ou até o processo estava fora de controle. Na visão deles, o gráfico de controle era para determinar quando um processo era não normal, para serem corrigidos e retornarem a normalidade. A maioria dos estatísticos e doutores em qualidade reconhecem hoje, que seu uso em estatística é só devido à sua simplicidade (DISTRIBUTION, 2001).

A distribuição normal ou Gaussiana é a distribuição de probabilidade mais importante dentro da teoria estatística, devido a sua grande aplicabilidade na descrição de fenômenos da vida real.

Uma variável aleatória contínua com distribuição de probabilidade normal tem a seguinte função de densidade:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, \quad -\infty < x < \infty$$

As constantes  $\mu$  e  $\sigma$  representam dois parâmetros com o seguinte significado:

$\mu$  é a média da variável aleatória.



$\sigma$  é o desvio padrão da variável aleatória. Assim,  $-\infty < \mu < \infty$  e  $\sigma > 0$ .

Denota-se por  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$  significando que  $X$  é uma variável aleatória que segue uma distribuição normal com a média zero e variância  $\sigma^2$ .

A função de distribuição de probabilidade correspondente é:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma^2}} du \quad -\infty < x < \infty.$$

As probabilidades associadas a uma variável aleatória  $X$  são calculadas por:

$$P(a < X \leq b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_a^b e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (2.0)$$

Esta integral não pode ser calculada em termos finitos, sendo avaliada em geral numericamente. Para isso usa-se a tabela da função de distribuição de probabilidade da distribuição normal com  $\mu = 0$  e  $\sigma = 1$  que permitem determinar a probabilidade expressa pela equação 2.0. Uma variável aleatória com distribuição normal com  $\mu = 0$  e  $\sigma = 1$  é chamada de variável aleatória normal padronizada, e é escrita como:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (\text{SOONG, 1986}) \text{ onde}$$

$Z$  = a probabilidade é tabelada;

$X$  = observação individual ou medida. Com a transformação  $Z$  o cálculo das probabilidades da variável aleatória  $X$  é facilitado.

A área abaixo da curva é igual a 100% (a área é apresentada em percentagem, pois o eixo vertical utiliza a escala da densidade). E finalmente, a curva está localizada acima do eixo horizontal. Aparece a parar em  $3\sigma$  e  $4\sigma$ , mas é apenas porque a curva aparenta estar tão próxima do eixo horizontal, e apenas 6/100,000 da área está fora do intervalo de  $-4\sigma$  e  $4\sigma$  (FREEDMAN; PISANI; PURVES, 1997).

Pela tabela da Função de Distribuição Normal Padronizada 99,7% dos valores de uma distribuição normal, estarão dentro dos limites  $3\sigma$  (a partir do centro da distribuição normal  $\mu$ ), se o processo estiver sob controle. Com o mesmo raciocínio 95,4% dos valores de uma distribuição estarão em 2/3 da faixa de variação, e por fim que 68,3% dos valores de uma distribuição estarão 1/3 da faixa controle (PALADINI, 1990) podendo ser visualizada na página seguinte.

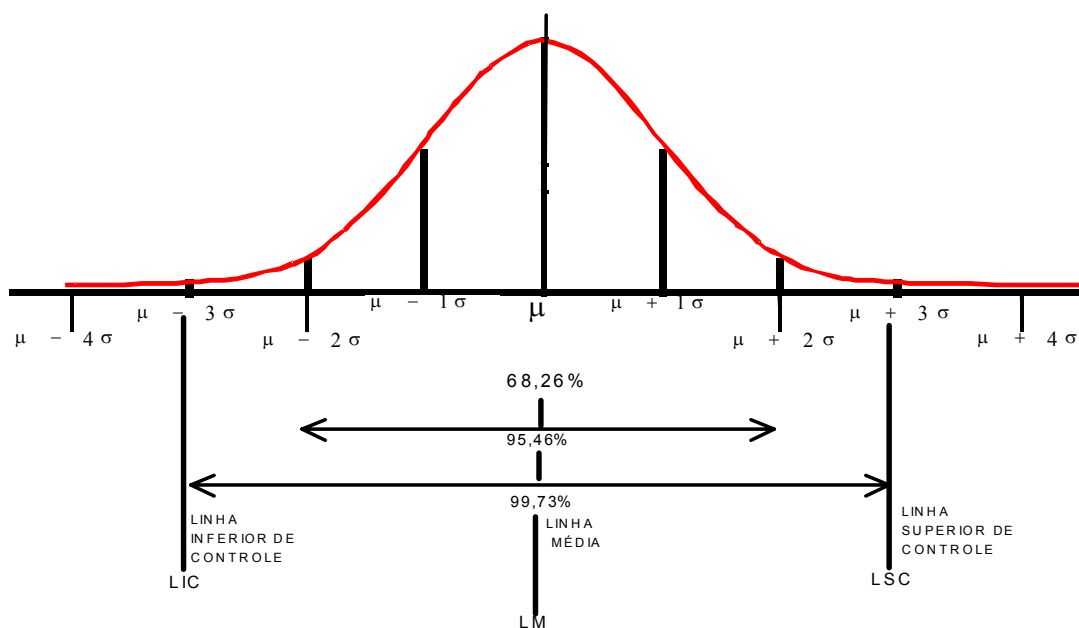


Figura 2.3: Relação entre a distribuição normal e os gráficos de controle

Fonte: Adaptado de Paladini (1990, p.138)

O uso da curva normal associada com a fórmula do valor de Z, é muito utilizada em estatística, como um veículo de transformação para determinar a área abaixo da curva (que será no máximo igual a um), ou seja, percentuais de itens ou probabilidades e em gráficos de controle.

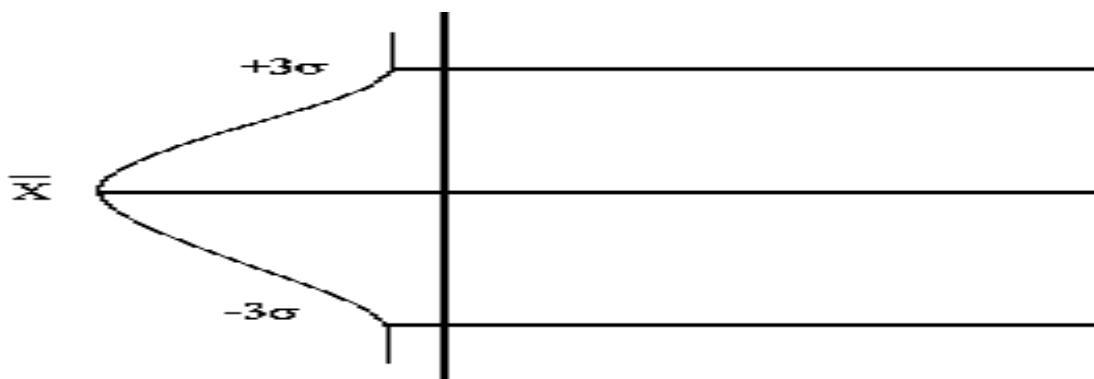


Figura 2.4: Relacionamento da Curva Normal com gráfico de controle de qualidade.

Para Paladini (1990, p.138) “O processo estará sob controle estatístico se houver forte concentração de pontos ao redor da média: se isto não ocorrer, estará configurada a ausência de normalidade e, conseqüentemente a ausência de normalidade, conseqüentemente, a falta de controle”.

É importante checar a normalidade quando se usa o gráfico de controle para medidas individuais.

### 2.7.1. Verificação da Normalidade

A verificação da normalidade nos dados pode ser feita através de gráficos e testes estatísticos sendo esses instrumentos de diagnóstico da existência ou não de controle como se pode verificar a seguir.

Um caminho simples para verificar a normalidade dos dados é com a construção do gráfico normal de probabilidade. Este pode ser construído normalmente por pacote estatístico. Montgomery (1997, p.226) cita um exemplo de gráfico normal de probabilidade do pacote Statistica.

A seguir utilizando o pacote Statistica é possível visualizar um exemplo de verificação de normalidade na Figura 2.4(A) através da distribuição de freqüência dos dados confrontado com a curva de distribuição normal. O pacote Statistica complementa este gráfico disponibilizando testes de normalidade, que no exemplo é o teste de K.S., Shapiro-Wilk e Lilliefors como serão vistos a seguir. Na Figura 2.4(B) apresenta o gráfico normal de probabilidade, considerando dados aleatórios.

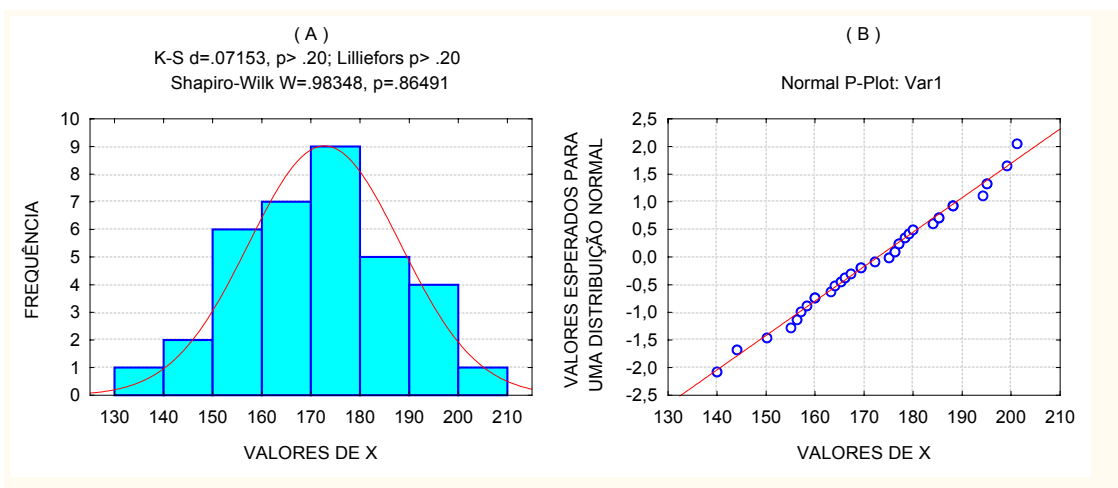


Figura 2.5: Gráfico verificando a Normalidade dos dados

Existem também Testes Estatísticos para a verificação da Normalidade como, por exemplo:

Teste de Kolmogorov-Smirnov (K.S.) de amostra - Segundo Campos, H. (1983, p.39) e Siegel (1981, p.52) e Conover (1980, p.345) este teste verifica o grau de concordância entre a distribuição de um conjunto de valores amostrais (observados) e determinada distribuição teórica específica, determinando-se os valores amostrais que podem vir de uma população com aquela distribuição teórica, ou seja, este teste tenta especificar a distribuição de freqüência acumulada que ocorreria sob a distribuição teórica e a compara com a distribuição de freqüência acumulada observada, sendo a distribuição teórica representada no que esperaria sob  $H_0$ , determinando o ponto em que as distribuições teóricas e distribuições observadas apresentam maior divergências, indicando se a distribuição amostral (observada) nessa diferença máxima pode ser atribuída ao acaso. Admitindo que

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = P(X \leq x) \text{ onde } f(x) \text{ é a função de densidade de probabilidade da}$$

distribuição normal. As hipóteses são:  $H_0: F \equiv F_0$  e  $H_\alpha: F \neq F_0$  para ao menos um valor de  $X$ . Rejeita se  $H_0$  se a Estatística do Teste T for  $\geq d$  (os valores de "d" são tabelados). A Estatística do Teste é:  $T = \sup |F * (X) - S(X)|$

Pode ainda a hipótese alternativa ser:  $H_\alpha: F < F_0$  ou  $H: \alpha: F > F_0$

O Teste Kolmogorof-Smirnov usa toda informação presente no grupo de dados (DANIEL, 1995).

Teste de Lilliefors - Segundo Conover (1980, p.357) amplia o uso com média e a variância estimada através dos dados amostrais, onde:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \text{ e } S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \text{ obtendo a variável reduzida}$$

$$Z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S}, i=1,2,3,\dots,n$$

A estrutura do teste é análoga ao Kolmogorov-Smirnov onde é definido como a distância máxima entre a função de distribuição de  $X_i$  e a função distribuição normal, mas calculado a partir de  $Z_i$  em vez da variável original. As hipóteses são:  $H_0$ : A amostra aleatória tem distribuição normal com média e variância desconhecida e  $H_\alpha$ : A função de distribuição de  $X$  não é normal. A aceitação de  $H_0$  não indica que a distribuição seja normal, mas apenas é razoável apresentação da distribuição

desconhecida.

A Estatística do Teste é semelhante à de K.S. pois  $T = \sup |F^*(X) - S(X)|$  onde  $F^*(X)$  é a função da distribuição normal e  $S(X)$  é obtida da amostra normalizada.

Teste de Shapiro-Wilk (S.W.)- É um teste quantitativo para normalidade, e mede a relação de linearidade entre os dados e os escores normais. S.W. é o coeficiente de correlação entre os dados de  $X_i$  e os valores dos dados de  $Z_i$  (TRANSFORMATION). A estatística  $W$  que testa se uma amostra aleatória vem de uma distribuição normal específica. Valores pequenos de  $W$  evidenciam a normalidade (SHAPIRO - WILK TEST). A estatística do teste  $W$  é obtida por:

$$W = \left( \sum a_i x_{(i)} \right)^2 / \left( \sum (x_i - \bar{x})^2 \right),$$

Neste teste se  $W$  é significativa a hipótese de que a respectiva distribuição é normal deve ser rejeitada (STATSOFT). Apesar do Teste de Shapiro-Wilk ser usado apenas para  $n \leq 50$  alguns autores atestam que pode ser usado para  $n > 50$  (CONOVER, 1980).

- Teste de Bera-Jarque - Este teste é construído com expressões para assimetria e curtose onde:

$$\text{Assimetria (ass)} \text{ é medida por : } M_3 / S^3 = \frac{\sum (x - \mu)^3}{S^3},$$

$$\text{Curtose (Curt)} \text{ é medida por : } M_4 / S^4 = \frac{\sum (x - \mu)^4}{S^4} \text{ e}$$

$$\text{a estatística de Bera-Jarque é calculada por: } N * \left[ \frac{ass^2}{6} + \frac{(curt - 3)^2}{24} \right] \approx \chi_2^2 \geq 5,99,$$

onde  $N$  é o tamanho da amostra.

Caso a estatística do teste resulte em valores maiores ou iguais a 5,99 o teste é considerado falho, indicando a não normalidade (SAMOHYL; ROMAO, 2002), fazendo se necessário à transformação de dados, como será visto a seguir.

### 2.7.2. Necessidade da Transformação nos Dados

Caso os dados não sigam uma distribuição aproximadamente normal é conveniente transformar os dados originais de maneira que estes dados ao serem transformados satisfaçam a suposição de normalidade. Para Montgomery (1997, p.226) ao mostrar evidência de não normalidade, os limites de controle do processo

em estudo podem não ser apropriados, sendo melhor determinar os limites de controle para o gráfico em medidas individuais baseado no percentil da correta distribuição. Esses percentis podem ser obtidos de um histograma se a amostra for ao menos de 100 observações, sendo preferível 200 observações. Pode-se também transformar a variável original em uma nova variável com distribuição aproximadamente normal e então construir o gráfico de controle com a nova variável.

Segundo Rawlings (1998, p.239) “existem muitas outras transformações comuns como: arco-seno, raiz quadrada e transformações logísticas que foram desenvolvidas para situações nas quais as variáveis já eram esperadas em não seguir uma distribuição normal”.

Em situações onde as observações da amostra não seguem uma distribuição normal, às vezes uma transformação algébrica das observações pode alcançar normalidade.

$Y(\text{transformada}) = 1/Y; \ln Y; e^Y; Y^2; Y^3$  ou qualquer outra transformação  $f(Y)$ .

Transformação generalizada de Box-Cox:  $Y(\lambda) = \frac{Y^\lambda - 1}{\lambda}$  onde  $\lambda$  assume valores de -

3 a +3. Quase sempre algum valor de  $\lambda$  resulta em normalidade. Quando  $\lambda$  se aproximar de zero, então o valor transformado é  $\ln Y$  (SAMOHYL; ROMAO, 2002).

## 2.8. Controle Estatístico de Processo

O Controle Estatístico de Processo (CEP), procura detectar a existência de erros, falhos e desperdícios, e corrigi-los (PALADINI, 1997). O mesmo observa o defeito na fonte, as suas causas, e atua de forma preventiva, combatendo o desperdício antes de sua ocorrência. Fixa a sua atenção e age no processo, e não em caso exclusivo, evitando defeito independente de onde ocorra, utilizando a Estatística como instrumento básico para organizar, fazer um tratamento e análise das informações do processo, permitindo assim a avaliação da qualidade. O CEP trata-se, por conseguinte, de um conjunto de técnicas, onde a experimentação prática tem aprovado, e recomendado para casos variados.

Na medida que se eleva o grau de controle de processos, e se avança nos resultados das ações de melhoria contínua, serão necessárias abordagens estatísticas de maior sofisticação.

Para que o processo seja previsível, é necessário que ele esteja sob controle. (WERKEMA, 1995). Assim pode-se pensar no CEP como uma metodologia experimental e prática, com a finalidade de verificar-se os seguintes aspectos:

- Conhecimento do processo;
- Fidelidade dos dados coletados representados pelos gráficos de controle;
- Estabelecimento de critérios para verificar qual é o comportamento das mudanças de condições calculadas pelo CEP, ou seja, verificar se as alterações são causadas por variações inerentes ao sistema e se serão estáveis através do tempo ou se ocorrem ocasionalmente.

Sendo o controle estatístico da qualidade, parte do controle de qualidade, tem a coleta, a análise e interpretação de dados, a finalidade em diagnosticar e resolver um problema particular. São primordiais então, alguns conceitos estatísticos que são elencados a seguir.

### **2.8.1. Subgrupos Racionais.**

Subgrupo Racional é simplesmente uma amostra na qual todos os itens são produzidos sob condições onde apenas variações (causas) comuns são responsáveis na variação observada (NELSON, 1988).

A formação de subgrupos é a parte mais importante na preparação de um gráfico de controle na determinação do seu desempenho. Antes de formar os subgrupos é necessário eliminar as variações e, então agrupar os dados para que a variação por fatores admissíveis constitua a variação dentro do subgrupo (KUME, 1993).

O conceito de subgrupo racional representa um papel importante no uso dos gráficos de controle (MONTGOMERY, 1997). Definindo um subgrupo racional na prática, podem ser mais fáceis se tivermos uma compreensão clara da função dos dois tipos de gráficos de controle  $\bar{x}$  e R. A amplitude mede a variação “dentro” de cada amostra. Sendo o gráfico de controle R, que monitora esta variação em um dado momento. O gráfico  $\bar{x}$  monitora a variação “entre” as amostras, que é a variação do processo ao longo do tempo. Ao controlar um processo através de gráficos, é preciso maximizar a probabilidade de ocorrer variação “entre” amostras (ao longo do tempo) e minimizar a probabilidade de haver variação “dentro” de amostras (variação em um dado momento). Estas amostras assim obtidas são chamadas de “subgrupos racionais” (VIEIRA, 1999).

Não se pode estabelecer nenhuma regra geral, para a escolha do tamanho e a frequência do subgrupo, também chamado de tamanho de amostra (PARANTHAMAN, 1990). Esta pode ser classificada como:

- Amostra individual ( $n= 1$ ) – Quando um único dado já é representativo. A taxa de produção é baixa ou mesmo quando a avaliação é muito dispendiosa.

- Amostra pequena ou moderada ( $n= 4, 5$  ou  $6$ ) – As pequenas amostras são extraídas com elevada frequência nas empresas, pois tendo baixa frequência (amostragem muito grande), na extração de amostras, muitos itens defeituosos poderão ser produzidos no período de retirada de uma amostra para outra. Utilizadas para detectar mudanças moderadas ou grandes, na média do processo ( $2\sigma$  ou mais).

- Amostra grande ( $n>10$ ) – Quanto maior o tamanho do subgrupo menor o desvio-padrão da distribuição das médias, sendo os limites de controle  $3\sigma$  mais rígidos, e mais sensível o gráfico  $\bar{x}$  (JURAN,1992). No gráfico  $\bar{x}$  quando o  $n = 15$  até  $25$  utiliza-se para descobrir pequenas mudanças. As grandes amostras são extraídas com baixa frequência (WERKEMA, 1995).

Deve-se coletar dados em intervalos regulares, mas aconselha-se a ter muito cuidado para não haver manipulação dos dados por parte dos operadores, pois esses dados poderão estar sendo induzidos nos períodos de amostragem, evitando com isso que a mesma seja totalmente aleatória como se é desejado. Dependendo da amostragem não há necessidade de se coletar os dados em períodos regulares.

Após a verificação do subgrupo racional a ser utilizado o próximo passo é a construção dos gráficos de controle, e para isso se faz necessários primeiramente alguns conceitos para a preparação dos mesmos, e estes que se iniciam a seguir.

### **2.8.2. A Teoria Básica do CEP.**

A teoria básica do CEP diz e se reconhece que inevitavelmente existirão variações em qualquer processo (CONTROL CHARTS PROPERTIES) de uma amostra de um produto para outra, tendo em vista que não existem dois produtos ou duas características exatamente iguais. E o mesmo se estende para a mão de obra que contem características imutáveis, inexistem iguais formas de inspeção, bem como máquinas e equipamentos e métodos de trabalho constantes, sem diferenças. As diferenças sempre existem, embora às vezes não possam ser medidas. As



causas dessas variações no processo podem ser divididas em dois grandes grupos:

- causas comuns ou aleatórias: são aquelas variações inerentes a um processo que se encontra sob controle estatístico, podendo ser difíceis de identificar, mas que fazem parte, porém, de um sistema constante de variação. O processo tem condições de absorvê-la sem gerar produtos defeituosos. Esta causa é inevitável e, fatalmente ocorrerá num processo, mesmo que a operação seja executada com uso de matérias-primas e métodos padronizados (KUME, 1993). Segundo Paladini (1990, p.132,) e Pyzdek (1996, p.3) “O processo cujas variações são devidas somente a causas aleatórias é um processo sob controle”.

- causas especiais ou assinaláveis: simplesmente é qualquer coisa que conduz uma observação além do limite de controle (PYZDEK, 1996). Também são aquelas cujas fontes de variações são relativamente grandes, bem maiores do que a variabilidade natural, sendo, porém, identificáveis e, ocorrem fora do sistema constante de variação. São evitáveis, e por gerarem defeitos, é necessário que sejam eliminadas. Existem casos gerados pelo não cumprimento de certos padrões operacionais, ou inadequados. Segundo Montgomery (1997, p.131) “Um processo que está operando na presença de causas assinaláveis é dito fora de controle”.

Para encontrar as causas especiais ou assinaláveis é imperativo o diagnóstico do processo. Para sua realização, utiliza-se a análise estatística, com base em dados resultantes das medições. É importante destacar, que o gráfico de controle, não mostra quais são as causas especiais de variação que estão atuando no processo fora do controle estatístico, mas ele processa e dispõe informações, que podem ser utilizadas na identificação dessas causas. A chave para operação dos cálculos e gráficos no CEP é a premissa da chance de que as variações inerentes ao processo afetarão todas as medidas e que serão estáveis com o passar do tempo. O processo é dito estável, quando apenas causas comuns afetam o processo, ou seja, as variações são somente inerentes ao processo e a incapacidade para descobrir um processo estável é a causa de muitos erros (GOGUE, 1998).

A visão de variação para Deming, de causas comuns (chamadas por Shewhart de causas de variação aleatória) produz pontos em um gráfico de controle que por um longo tempo, enquadram-se dentro dos limites de controle, essas causas permanecem dia a dia, lote por lote. Uma causa especial de variação (chamada por Shewhart de causa assinalável) não faz parte do sistema comum das causas comuns, é detectada por um ponto que se encontra fora dos limites de controle. Se

em um gráfico de controle não existe nenhuma causa especial presente, o processo é considerado de controle estatístico estável. A qualidade e a quantidade são previsíveis e os custos idem. A presença de causas especiais significa que o processo não é estável, previsível, econômico (SUTHERLAND, 2002). O processo não estando estável os esforços deve ser para entender as causas especiais de variação e achar o mais cedo possível o motivo da variação e restabelecer o estado estável. É claro que um processo estável é sempre preferível, porque podem ser feitas previsões racionais (GOGUE, 1998). Para a análise da estabilidade do processo utiliza-se os Gráficos de Controle que se apresenta a seguir.

## **2.9. Gráficos de Controle.**

O gráfico de controle é usado para analisar e monitorar a variabilidade do processo. Este procedimento é realizado observando a causa da variabilidade dentro do processo entre os limites de controle.

### **2.9.1. Conceito e Interpretação de Gráficos de Controle**

Os gráficos de controle informam sobre a consistência, estabilidade do processo (SUTHERLAND, 2002).

Segundo Kume (1993, p.98) o gráfico de controle foi originalmente proposto em 1924, por W. A. Shewhart (que trabalhou na "Bell Telephone Laboratories"). Sua intenção era eliminar variações anormais provocadas pela diferenciação entre variações devidas a causas assinaláveis, e aquelas devidas a causas aleatórias.

Os gráficos de controle servem como registros históricos no processo de aprendizado e podem ser usados por outras pessoas para melhorar outros processos. Os gráficos também são úteis ao comunicar os resultados a líderes, provedores, clientes, e outros que têm interesse na melhoria da qualidade (PYZDEK, 1990).

A importância do gráfico de controle está em identificar a ocorrência de causas especiais e então removê-las, conduzindo a redução em variação de processo global (CONTROL CHART PROPERTIES).

Quando a flutuação não aleatória dentro do modelo acontece ou vai além dos limites de controle o processo é considerado fora de controle, representando uma oportunidade para melhorar o processo trazendo para o controle estatístico. O

processo está sob controle estatístico quando a variação dentro dele é aleatório e dentro dos limites de controle (CONTROL CHARTS). Esta variabilidade pode ser vista a seguir em padrões de comportamento não aleatórios.

O gráfico de Shewhart introduziu o desenho dos limites de controle inferiores e superiores, LCI e LCS, respectivamente, a partir da média a  $\pm 3$  desvios padrões. Nele são exibidas três linhas paralelas:

- A central, que representa o valor médio da característica da qualidade;
- A superior, que representa o limite superior de controle (LSC);
- A inferior, que representa o limite inferior de controle (LIC).

Se todos os valores marcados estiverem contidos nos limites de controle, sem qualquer tendência particular, o processo é considerado sob controle. Um programa de gráfico de controle bem sucedido reduzirá o re-trabalho.

A seguir, são apresentadas algumas regras de comportamento não aleatórias, utilizadas por Montgomery (1997, p.149), para os Gráficos de Controles de Shewhart, ainda que existam mais autores, com conceitos bem similares como é o caso de Loyd Nelson (JURAN, 1992, p.214), Derman e Ross (KLEIN, 2000, p.427) ou mesmo Dellaretti. (1994, p.69).

São padrões de comportamento não aleatório, aqueles que apresentam uma disposição atípica, ou não aleatória sinalizando a possibilidade do processo estar fora de controle. São identificados por:

1. Um ou mais pontos localizados fora dos limites de controle.

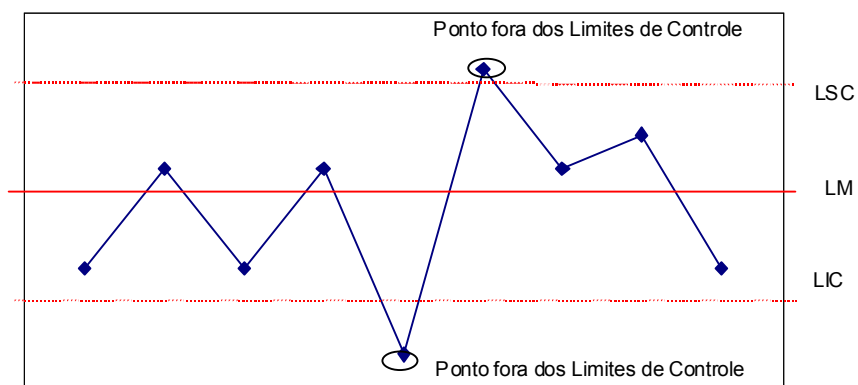


Figura 2.6: Gráfico de controle típico com pontos fora do limite de controle.

2. Proximidade dos limites de controle: Dois em três pontos consecutivos incidem, além das linhas 2-sigma, mas ainda dentro dos limites de controle.

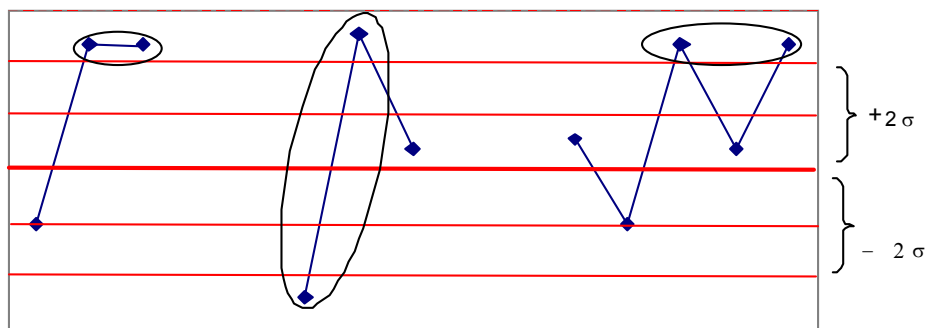


Figura 2.7: Exemplo de 2 em 3 pontos, além das linhas de 2-sigas.

3. Quatro em cinco pontos consecutivos além dos limites de 1-sigma.

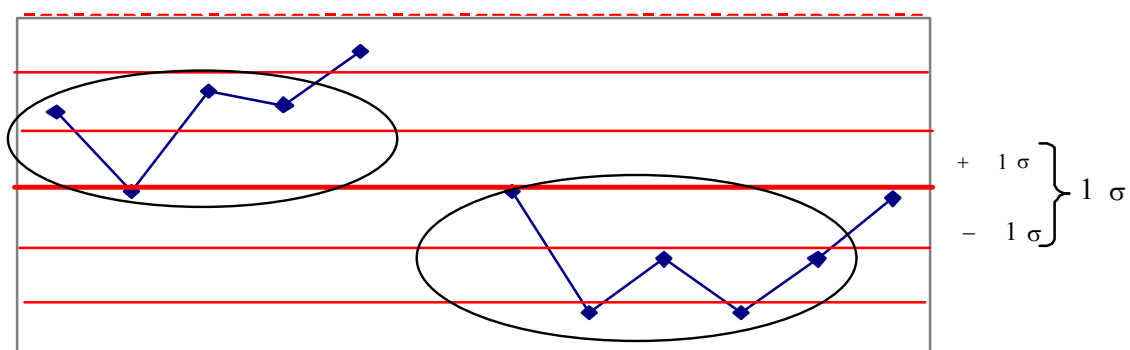


Figura 2.8: Exemplo de 4 em 5 pontos consecutivos além dos limites 1-sigma.

4. Sucessão de oito pontos consecutivos de um só lado da linha central.

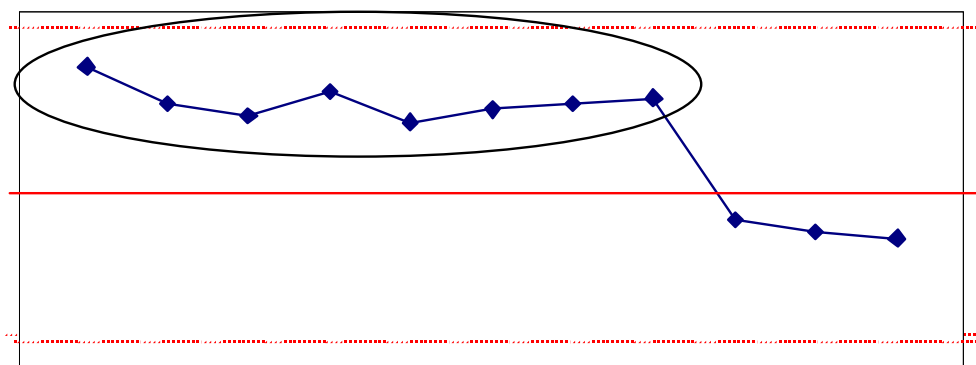


Figura 2.9: Exemplo de sucessão de 8 pontos consecutivos.

Segundo Deming (1997, p.138) estando um processo sob controle estatístico, pode-se dar significado à capacidade do processo em obedecer às especificações, sendo que na sua ausência não se faz qualquer previsão.

Há duas formas para a obtenção dos limites de controle para uma estatística  $\theta$ , para representar a característica de qualidade que está sendo avaliada.

Sendo a distribuição da estatística  $\theta$  conhecida, sob hipótese do processo estar sob controle, os limites podem ser determinados da seguinte forma:

$$P(LIC \leq \theta \leq LSC) \geq 1 - \alpha$$

$1-\alpha$  representa o nível de confiança de um teste de hipóteses, e é fixado. Esses limites obtidos recebem a denominação de limites probabilísticos.

Ao considerar a estatística  $\theta$  com sua média:

$$\mu_{\theta} \pm k\sigma_{\theta}$$

$$LIC = \mu_{\theta} - k\sigma_{\theta}$$

$$LSC = \mu_{\theta} + k\sigma_{\theta}$$

O uso de  $k=3$  é bem utilizado na prática na maioria dos casos. O desvio padrão utilizado é o desvio padrão das médias. No gráfico da média, emprega-se teoricamente o desvio padrão da população, dividido pela raiz quadrada do valor da amostra, utilizando o fato de que a distribuição amostral  $\bar{x}$  das médias é normal, com média  $\mu_{\bar{x}}$  e desvio-padrão  $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  (PALADINI, 1990).

Sendo a distribuição da estatística  $\theta$  normal, os limites de 3 desvios-padrão correspondem aos limites probabilísticos com  $\alpha = 0,0027$ , e  $\alpha$  é um dos erros associados aos limites de controle que será vista a seguir.

### 2.9.2. Erros Associados aos Limites de Controle

O objetivo de se aplicar um gráfico de controle é sugerir áreas de investigações. Sendo assim, como na aplicação de um teste de hipóteses, duas espécies de erros segundo John (1990, p.154) podem ser cometidas ao se fazer uso do gráfico de controle:

1. Concluir que o processo está fora de controle quando, de fato, ele está sob controle. Caracteriza-se assim o erro, tipo I, com probabilidade  $\alpha_i$  em cometê-lo, é também chamado de alarme falso. A probabilidade  $\alpha_i$  de um ponto cair fora de um dos limites de controle(+3 e -3 sigmas) é igual a 0, 27%. Se usar os limites de

controle + ou - 2 sigmas de controle esta probabilidade é de 4,6%(TAMPERING).

2. Concluir que o processo está sob controle, quando na verdade não está. Caracteriza-se o erro, tipo II, denominado  $\beta$ . A curva característica de operações (CCO) é capaz de detectar mudanças na qualidade do processo, colocando no gráfico a relação entre  $\beta$  ( o eixo vertical ) e o tamanho do deslocamento do valor central do processo ( o eixo horizontal ).

Em Montgomery (1997, p.206-208) a CCO para um gráfico  $\bar{x}$  com desvio-padrão  $\sigma$  conhecido e constante, se a média  $\mu_0$  muda para  $\mu_1 = \mu_0 + k\sigma$ , a probabilidade de não detectar esta mudança na primeira amostra subsequente é:

$\beta = P\{ LIC \leq \bar{x} \leq LSC / \mu_1 = \mu_0 + k\sigma \}$  desde que  $\bar{x} \sim N(\mu, \sigma^2/n)$ , e os limites de controle superior e inferior são:  $LSC = \mu_0 + L\sigma/\sqrt{n}$  e  $LIC = \mu_0 - L\sigma/\sqrt{n}$  podendo ser escrito como:

$$\beta = \Phi\left[\frac{LSC - (\mu_0 + k\sigma)}{\sigma/\sqrt{n}}\right] - \Phi\left[\frac{LIC - (\mu_0 + k\sigma)}{\sigma/\sqrt{n}}\right]$$

$$\beta = \Phi\left[\frac{\mu_0 + L\sigma/\sqrt{n} - (\mu_0 + k\sigma)}{\sigma/\sqrt{n}}\right] - \Phi\left[\frac{\mu_0 - L\sigma/\sqrt{n} - (\mu_0 + k\sigma)}{\sigma/\sqrt{n}}\right]$$

$$\beta = \Phi(L - k\sqrt{n}) - \Phi(-L - k\sqrt{n}) \quad \text{onde}$$

$\beta$  é a probabilidade de não detectar no gráfico essa mudança, na primeira amostra subsequente.

$k$  Representa o limite de controle que se deseja investigar (podendo ser em  $1\sigma$  .ou  $2\sigma$  ou  $3\sigma$  )

$\Phi$  Representa a função de distribuição acumulada.

$L$  o valor do limite usual de  $3\sigma$  .

A probabilidade da mudança na média ser detectada na 1ª amostra é:  $1 - \beta$ .

A probabilidade da mudança ser detectada na 2ª amostra dado que não detectou na 1ª amostra é:  $\beta(1 - \beta)$

A probabilidade da mudança ser detectada na 3ª amostra dado que não detectou na 1ª amostra e nem na 2ª amostra é de:  $\beta^2(1 - \beta)$ .

e na  $r$  ésima amostra é:  $\beta^{r-1}(1 - \beta)$

O número de amostras que deverão ser selecionadas e analisadas antes de detectar a mudança é:

$$\sum_{k=0}^{\infty} r\beta^{r-1}(1-\beta) = \frac{1}{1-\beta} e$$

$$ARL_1 = \frac{1}{1-\beta}$$

ARL é o Average Run Length ou Comprimento Médio de Corrida (CMC)-é o número de períodos necessários para eventualmente ver uma observação fora dos limites de controle, num processo sob controle.

Em geral, resultados mais próximos para o ARL são obtidos se usar os limites de 3 sigmas no gráfico para medidas individuais (MONTGOMERY, 1997).

Geralmente a probabilidade de não detectar uma alteração no processo decresce à medida que aumenta o tamanho  $n$  da amostra (GUEDES, 1997).

Podem ser sérias as conseqüências desses erros. No erro tipo I interrompendo uma linha de produção para identificar as causas de variações na qualidade quando essas não existem. E no erro tipo II a não constatação do processo estar fora de controle pode levar a perda de tempo, material, e dinheiro, devido a produtos defeituosos.

Champ and Woodall (MONTGOMERY, 1997, p.150) após investigar o ARL para o Gráfico de Controle de Shewhart perceberam que os usos das regras de Western Electric para comportamento não aleatório melhoram a habilidade do gráfico de controle para detectar pequenas mudanças.

O cálculo do ARL para os Gráficos de Shewhart segundo Montgomery (1997, p.209) é dado da seguinte forma:  $ARL_0 = \frac{1}{\alpha}$ ;

Para que a fórmula  $ARL = \frac{1}{\alpha}$  possa ser obtida facilmente do fato de como se prova o processo dito em base de horas, encontra-se então num processo geométrico onde a probabilidade de um alarme falso a cada tentativa é  $\alpha$  o número médio de tentativa de Bernoulli dado pela ocorrência do 1º alarme falso obtido por:

$$\sum_{i=1}^{\infty} \alpha i (1 - \alpha)^{i-1} \text{ ou mesmo: } \alpha + 2(1 - \alpha)\alpha + 3(1 - \alpha)^2\alpha + 4(1 - \alpha)^3\alpha + \dots = \frac{1}{\alpha}$$

Faz-se necessário a seguir à introdução de alguns conceitos de tipos de gráficos, pois através deles poderemos fazer essa investigação e posteriormente uma avaliação do processo.

### 2.9.3. Tipos de Gráficos.

Muitas características de qualidade podem ser expressas em termos numéricos. Uma simples medida de característica da qualidade, como uma dimensão, peso ou volume é chamado de variável (MONTGOMERY, 1997). Ou seja, o comportamento de variáveis como peso, comprimento, densidade, concentração, (são os dados que podem ser medidos ou tem característica contínua).

Outras características não podem ser convenientemente representadas numericamente, usando-se classificar cada item inspecionado como conforme ou não conforme. Estes tipos de características são chamados de atributos (MONTGOMERY, 1997) e estudam o comportamento de números e proporções ou somente o fato de um certo item estar ou não em bom estado, depende da natureza da medição e dos custos envolvidos. Ou seja, em controle de qualidade, a variável é uma característica contínua, diferindo de um atributo naquilo que é medido e a mesma pode ser apresentada em gráficos de controle.

Existem bons livros para elaboração dos gráficos de controle, entre eles estão em inglês: Montgomery (1997, p.181), John (1990, p.144); em português: Juran (1992, p.210), Werkema (1995, p.197), Vieira (1999, p.37), Kume (1985, p.100) e um dos procedimentos para a construção dos mesmos é apresentado a seguir:

#### Gráfico de Controle $\bar{x}$ -AM.

Este gráfico é usado para controlar e analisar um processo com valores contínuos da qualidade do produto, fornecendo maior quantidade de informações do processo. Onde  $\bar{x}$  representa o valor médio de um subgrupo e AM representa a amplitude do subgrupo. A combinação dos dois é feita para controlar a variação dentro de um subgrupo. É o mais conhecido e usado na prática.

A estimação do desvio padrão  $\sigma$  a partir da amplitude média  $\overline{AM}$  é apropriada para pequenas amostras ( $n \leq 10$ ), perdendo a eficiência para amostras de maior tamanho, uma vez que todos os valores entre  $x_{\min}$  e  $x_{\max}$  são ignorados no cálculo da amplitude.

As etapas para a construção e utilização dos gráficos de Controle  $\bar{x}$ -AM são as seguintes:

- Escolher a característica da qualidade a ser controlada.
- Coletar dados: Coletar  $m$  amostras, cada uma contendo  $n$  observações. Geralmente,  $m = 20$  ou  $25$ , ao menos, e  $n = 4, 5$ , ou  $6$ . Coletando as amostras em



intervalos sucessivos, e registrando as observações na ordem em que foram obtidas.

- Calcular a média  $\bar{x}_i$  de cada amostra.

$$\bar{x} = \frac{x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{in}}{n}, i = 1, 2, \dots, m$$

- Calcular a média global  $\bar{\bar{x}}$

$$\bar{\bar{x}} = (\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m) / m$$

- Calcular a amplitude  $AM_i$  de cada amostra.

$AM_i = \text{maior valor da amostra} - \text{menor valor da amostra.}$

- Calcular a amplitude média  $\overline{AM}$ .

$$\overline{AM} = \frac{AM_1 + AM_2 + \dots + AM_m}{m}$$

- Calcular os limites de controle.

-Gráfico  $\bar{x}$ :

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 \overline{AM}$$

$$LM = \bar{\bar{x}}$$

$$LSC = \bar{\bar{x}} - A_2 \overline{AM}$$

Onde  $A_2 = 3 / d_2 \sqrt{n}$  é uma constante tabelada em função do tamanho  $n$  das amostras (encontrada no Apêndice VI em A-15 Montgomery, 1997).

-Gráfico **AM**:

$$LSC = D_4 \overline{AM}$$

$$LM = \overline{AM}$$

$$LSC = D_3 \overline{AM}$$

Onde  $D_3 = 1 - 3d_3$  e  $D_4 = 1 + 3d_3 / d_2$  onde  $d_2$  e  $d_3$  são constantes tabeladas em função do tamanho  $n$  das amostras (Apêndice VI em A-15 MONTGOMERY, 1997).

É necessário também:

- Interpretar os gráficos construídos.

Analisar o comportamento dos pontos nos gráficos e verificar se o processo está sob controle estatístico. Se necessário recalculer os limites dos gráficos após o abandono desses pontos que estão no processo fora de controle, sendo em alguns casos necessários coletar novas amostras. É necessário repetir este procedimento

até que o estado de controle seja atingido.

- Verificar se o estado de controle alcançado é adequado ao processo, tendo em vista considerações técnicas e econômicas.

Se negativo, conduzir ações de melhoria até ser atingido o nível de qualidade desejado.

Se positivo, adotar os gráficos para o controle atual e futuro do processo.

- Rever periodicamente os valores dos limites de controle.

### Gráfico de Controle $\bar{x}$ -S

Devem ser usados quando o tamanho da amostra é grande ( $n > 10$  ou  $12$ ), já que para amostras maiores a amplitude amostral  $R$  perde eficiência para estimar  $\sigma$ , quando comparada ao desvio padrão amostral  $S$ , e quando as amostras têm tamanho variável. O gráfico  $\bar{x}$  é utilizado para controlar a média do processo, e o gráfico  $S$  é empregado para o controle da variabilidade do processo. Os dois gráficos devem ser empregados simultaneamente.

Etapas para a construção e utilização dos gráficos de controle  $\bar{x}$  -S

Escolher a característica da qualidade a ser controlada.

Coletar dados. Em geral,  $m$  (amostras) = 20 ou 25 e  $n$ , ao menos igual a 4

Calcular a média  $\bar{x}$  (como no gráfico anterior)

Calcular a média global  $\bar{\bar{x}}$  (como no gráfico anterior)

- Calcular o desvio padrão  $S_i$  de cada amostra.

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}$$

- Calcular o desvio padrão médio  $\bar{S}$

$$\bar{S} = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_m}{m}$$

- Calcular os limites de controle.

-Gráfico  $\bar{x}$  :

$$\begin{aligned} \text{LSC} &= \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{S} \\ \text{LM} &= \bar{\bar{x}} \\ \text{LIC} &= \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{S} \end{aligned}$$

-Gráfico S:

$$\begin{aligned} \text{LSC} &= B_4 \bar{S} \\ \text{LM} &= \bar{S} \\ \text{LIC} &= B_3 \bar{S} \end{aligned}$$

$A_3$   $B_4$   $B_3$  são constantes apresentadas em função de  $n$  (encontrada no Apêndice VI em A-15 MONTGOMERY, 1997).

Traçar os limites de controle.

O traçado dos limites, a marcação dos pontos nos gráficos, os registros, a interpretação, a verificação do estado de controle, e a revisão periódica do gráfico são similares ao gráfico anterior.

Gráfico de Controle para Medidas Individuais: **Gráficos X e AM:**

Usados quando o tamanho da amostra é unitário, isto é,  $n = 1$ . Utilizado no emprego da inspeção automatizada, onde toda a unidade produzida é avaliada, e processos para os quais a taxa de produção é baixa, em medições dispendiosas, em testes destrutivos.

As etapas para a construção e utilização dos gráficos de controle **X e AM:** são basicamente as mesmas dos gráficos anteriores com as alterações a seguir:

Fazer  $n = 1$  e  $m > 20$

Considerar  $\bar{\bar{x}}$  em lugar de  $\bar{\bar{x}}$ .

Para estimar a variabilidade do processo usar a amplitude móvel ( $AM_i$ ) do processo:

$$AM_i = |x_i - x_{i-1}| \quad i = 2, 3, \dots, m$$

$$\bar{AM} = \frac{\sum_{i=2}^m AM_i}{m-1}$$

Calculo dos limites de controle segundo Montgomery (1997, p.223).

-Gráfico X

$$LSC = \bar{x} + 3 \frac{\overline{AM}}{d_2}$$

$$LM = \bar{x}$$

$$LIC = \bar{x} - 3 \frac{\overline{AM}}{d_2}$$

Onde  $\overline{AM}$  é a amplitude móvel média de  $n=2$  é utilizado, então  $d_2 = 1,128$  (encontrada no Apêndice VI em A-15 MONTGOMERY, 1997).

-Gráfico AM

$$LSC = D_4 \overline{AM}$$

$$LM = \overline{AM}$$

$$LIC = D_3 \overline{AM}$$

Onde  $D_3$  e  $D_4$  é obtido em tabela para  $n=2$ .

Aqui nesse tipo de gráfico se faz uma ressalva muito importante sobre os Efeitos da Violação de Normalidade, pois os limites de controle dos Gráficos X e AM são bastante sensíveis à violação dessa suposição onde as observações da variável espessura seguem uma distribuição normal. Ao evidenciar que a variável não tem distribuição próxima da normal, há 2 procedimentos que podem se usados:

1. Determinar os limites de controle dos gráficos X e AM com base na verdadeira distribuição dos dados.
2. Transformar a variável original numa nova variável com distribuição próxima da normal para construir os gráficos de controle para a nova variável.

A interpretação, a verificação do estado de controle, e a revisão periódica do gráfico são similares aos gráficos anteriores.

Consideram-se os limites de gráficos de controle como limites de controle experimentais, pois permitem determinar se o processo está sob controle quando as  $m$  amostras preliminares são selecionadas. Para avaliação do processo e análise da disposição dos pontos neste gráfico estando todos os pontos dentro dos limites de controle e nenhuma configuração não aleatória estiver presente, considera-se sob controle. Então os limites experimentais são apropriados para controlar a produção. Sendo uma causa assinalável encontrada, o ponto deve ser descartado e os limites devem ser recalculados, e usando somente os pontos remanescentes deve-se plotá-los novamente nos gráficos e a situação de controle do processo deve ser avaliada



causas” e não como foi visto na Figura 2.9. A Figura 2.10 abaixo apresenta a forma sugerida para o estudo do processo.

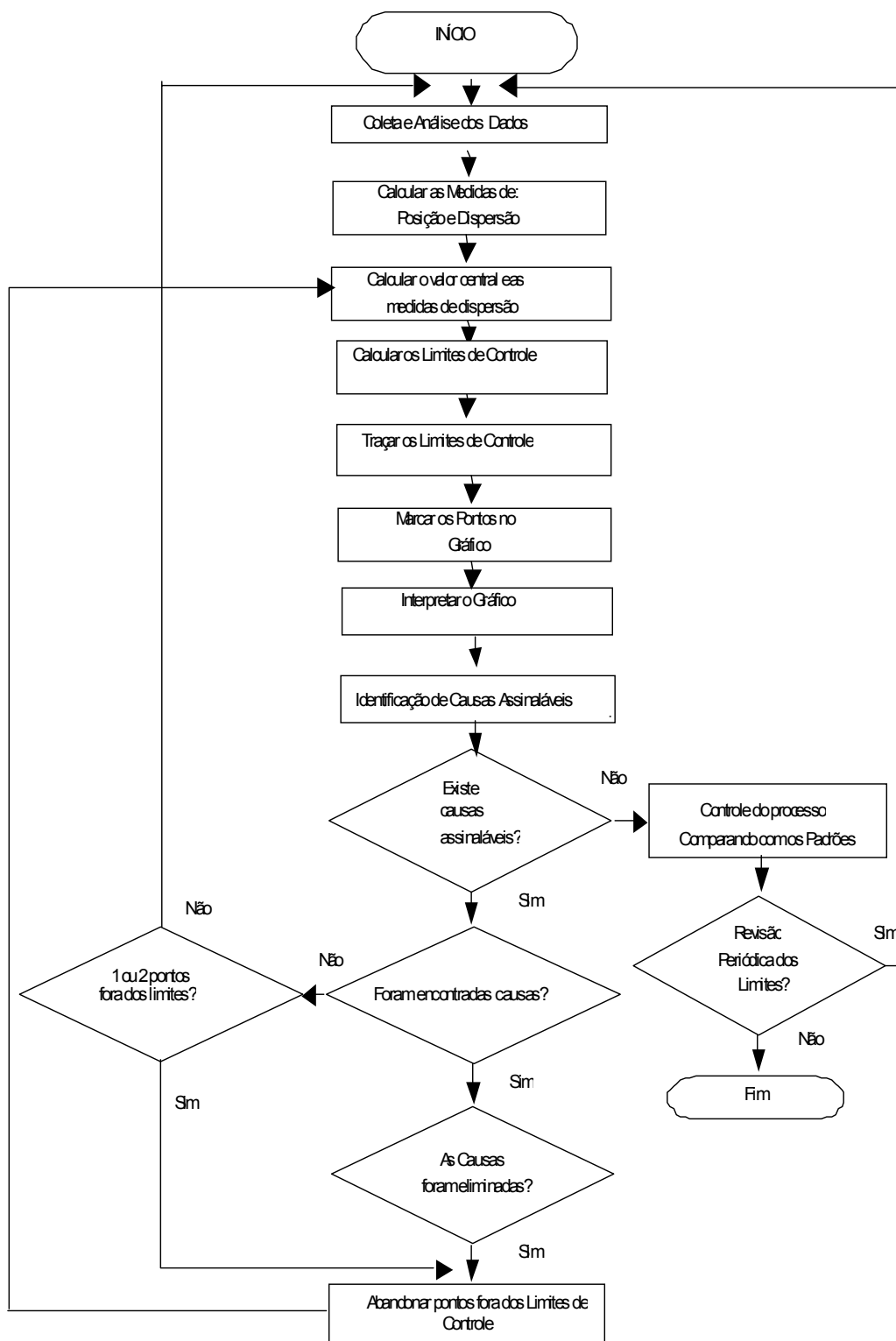


Figura 2.11: Fluxograma com a forma sugerida conforme (SAMOHYL, 2001).

## 2.10. Capacidade do Processo

Ao estudar-se a capacidade do processo, avalia-se se um processo estável está apto a satisfazer o nível de qualidade a partir das necessidades do cliente, e os gráficos de Controle constituem ferramentas para a avaliação da estabilidade de um processo.

Um processo sob controle estatístico (estável) apresenta previsibilidade. É necessário o controle estatístico já estar estabelecido antes do cálculo da capacidade do processo (KELLER, 2001). Se o processo não é estável, possui então comportamento imprevisível, não tem sentido, a sua avaliação. Somente processos estáveis devem ter sua capacidade avaliada.

Deve-se avaliar o processo através das especificações a partir dos desejos e necessidades do cliente. Esta avaliação constitui o estudo da capacidade do processo que é definida a partir da faixa de controle (limites de controle)  $\mu \pm 3\sigma$ . Estando o processo sob controle e sendo verdadeira a suposição de normalidade, 99,74% dos valores da variável de interesse devem pertencer a esta faixa (JURAN, 1992). A amplitude desse intervalo,  $6\sigma$ , quantifica a variação natural do processo.

Os processos estáveis são previsíveis, porque os valores de suas características de qualidade flutuam dentro de uma faixa, denominada faixa padrão do processo ou faixa característica. A faixa característica do processo (FCP), é assim definida:  $FCP = (\bar{x} - 3\hat{\sigma}; \bar{x} + 3\hat{\sigma}) = \bar{x} \pm 3\hat{\sigma}$ .

Representando a faixa de valores onde se prevê que a maioria dos valores deve estar, em torno de 99,7%, justificando assim o nome faixa característica do processo. Quantificando a variação natural desse intervalo na amplitude de  $6\sigma$ .

### 2.10.1. Índices da Capacidade

Outra maneira de se analisar um processo estável é calcular a capacidade do processo, ou seja, conhecer a consistência do processo, pois um processo pode estar sob controle, mas fora das especificações (JOHN, 1990). E segundo Dellaretti (1994, p.103) para a medição dessa capacidade utiliza-se os índices, ou seja, a comparação das especificações de engenharia, com a faixa característica do processo a qual pode ser feita por meio de índices de capacidade, fornecendo uma linguagem comum e de entendimento fácil para a quantificação e comparação do desempenho de processos.

Faz-se necessário lembrar que os índices de capacidade são válidos apenas para processos sob controle e com distribuição próxima da normal.

Os índices de interesse são  $C_p$  e  $C_{pk}$ , pois revelam a uniformidade do processo, se esse processo atende um conjunto de especificações, a variação do processo e também as tendências naturais do processo.

**Índice  $C_p$**  - Mede a capacidade potencial do processo, ou seja, o que o processo poderia fazer, pois leva em consideração apenas a variação natural do processo, relacionando a faixa de variação permitida e a faixa real de variação do processo para especificações bilaterais:

$$C_p = \frac{T}{6\hat{\sigma}} = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}}$$

onde  $T = LSE - LIE$  é a faixa de tolerância e

$LSE$  = limite superior de especificação

$LIE$  = limite inferior de especificação

O desvio-padrão do processo  $\sigma$  normalmente é desconhecido, sendo então substituído por  $\hat{\sigma}$  que é uma estimativa retirada das amostras, no cálculo do índice pela fórmula:

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{AM}}{d_2} \text{ ou } \frac{\bar{S}}{c_4} \text{ ou } \frac{\bar{R}}{d_2}$$

O valor médio  $\mu$  normalmente é desconhecido, também é substituído por  $\bar{\bar{X}}$  que é a média das amostras.

Em situações onde há apenas um limite de especificação, o índice de capacidade é definido por:

$$C_{pL} = \frac{\mu - LIE}{3\hat{\sigma}} \quad C_{pS} = \frac{LSE - \mu}{3\hat{\sigma}}$$

**Índice  $C_{pk}$**  - Mede a posição e a dispersão de um processo em relação ao valor médio especificado (SOMMER, 1990), ele está relacionado com o índice  $C_p$  mas utiliza o valor da média do processo, avaliando se o processo atinge o alvo estabelecido. Pode ser interpretado como uma medida da Capacidade Real do Processo. Somente quando  $C_{pk} = C_p$  este processo está bem centrado no valor nominal da especificação.



Seu cálculo pode ser efetuado da seguinte maneira quando se tem apenas um limite de especificação:

$$C_{pL} = \frac{\bar{\bar{X}} - LIE}{3\sigma^2}$$

Na tabela abaixo encontra se a interpretação do índice  $C_{pk}$

Tabela 2.2: A interpretação do Índice  $C_{pk}$

$C_{pk}$	INTERPRETAÇÃO DA CONFIABILIDADE	AÇÕES À PRATICAR	RELAÇÃO DO VALOR NOMINAL E A LINHA CENTRAL DO PROCESSO
$C_{pk} > 2,0$	ALTAMENTE CONFIÁVEL Processo Excelente	Operadores com perfeito controle do processo	Processo Centrado $C_p = C_{pk}$ Processo fora de alvo $C_{pk} \neq C_p$
$1,33 \leq C_{pk} \leq 2,0$	RELATIVAMENTE CONFIÁVEL Processo Capaz	Há necessidade dos operadores monitorar para evitar deterioração.	Processo Centrado $C_p = C_{pk}$ Processo fora de alvo $C_{pk} \neq C_p$
$1,00 \leq C_{pk} \leq 1,3$	POUCO CONFIÁVEL Processo Relativamente Incapaz	Necessário controle contínuo pelos operadores	Processo fora do alvo, mas dentro dos limites de Especificação $C_{pk} < C_p$
$0 \leq C_{pk} < 1$	Processo Incapaz  PODE-SE TER PRODUÇÃO DEFEITUOSA	Necessário controle de 100% da produção pelos operadores	Linha central do processo dentro ou coincidindo com um dos limites de Especificação (pode-se ter 50% de produção acima ou abaixo dos limites de Especificação) $C_{pk} < C_p$
$C_{pk} < 0$	NÃO TÊM CONDIÇÕES DE MANTER AS ESPECIFICAÇÕES Processo Totalmente Incapaz	Necessário controle de 100% da produção pelos operadores	Linha central do processo fora dos limites de Especificação $C_{pk} < C_p$ Toda produção fora dos limites de especificação $C_{pk} < -1$

FONTE: Adaptação das interpretações dos índices  $C_{pk}$  do modelo de Vieira (1999, p.158) e Soares (2001, p.64).

### **3. METODOLOGIA**

Nos capítulos anteriores foram apresentadas técnicas de Controle de Qualidade e da teoria estatística que serão utilizadas para a avaliação da espessura da tinta na Pintura de Transformadores Elétricos.

#### **3.1. Metodologia Proposta**

Para o desenvolvimento deste trabalho, a Empresa selecionou uma área de processo industrial simples que permitisse ser referência para setores ou áreas mais complexas. Por esse motivo foi determinado o setor de pintura industrial, envolvendo-se toda a equipe de funcionários na área da pintura.

A característica de qualidade selecionada para o estudo, foi a de espessura de tinta no transformador (Corpo, Radiador, Tampa e Suporte), porquanto, até o início deste trabalho não havia sido efetuado nenhum estudo sobre a aplicação da tinta. Tinha-se apenas por controle, a medição final, após a pintura dos tanques estarem secos, para se determinar se a espessura estava de acordo com o pedido do cliente.

Determinado o setor e a característica de qualidade a ser estudada, estabeleceu-se como primeiro passo, a montagem de uma folha de verificação para a coleta dos dados, seguida pelo fluxograma, sugerindo uma nova metodologia para essa linha de produção.

A metodologia proposta se baseou num Modelo apresentado por Soares (2001, p.66). As modificações necessárias para se adequar a esta Empresa objeto de estudo, são apresentadas na página a seguir.

### 3.1.1. Fluxograma

No fluxograma abaixo será mostrada a metodologia a ser utilizada.

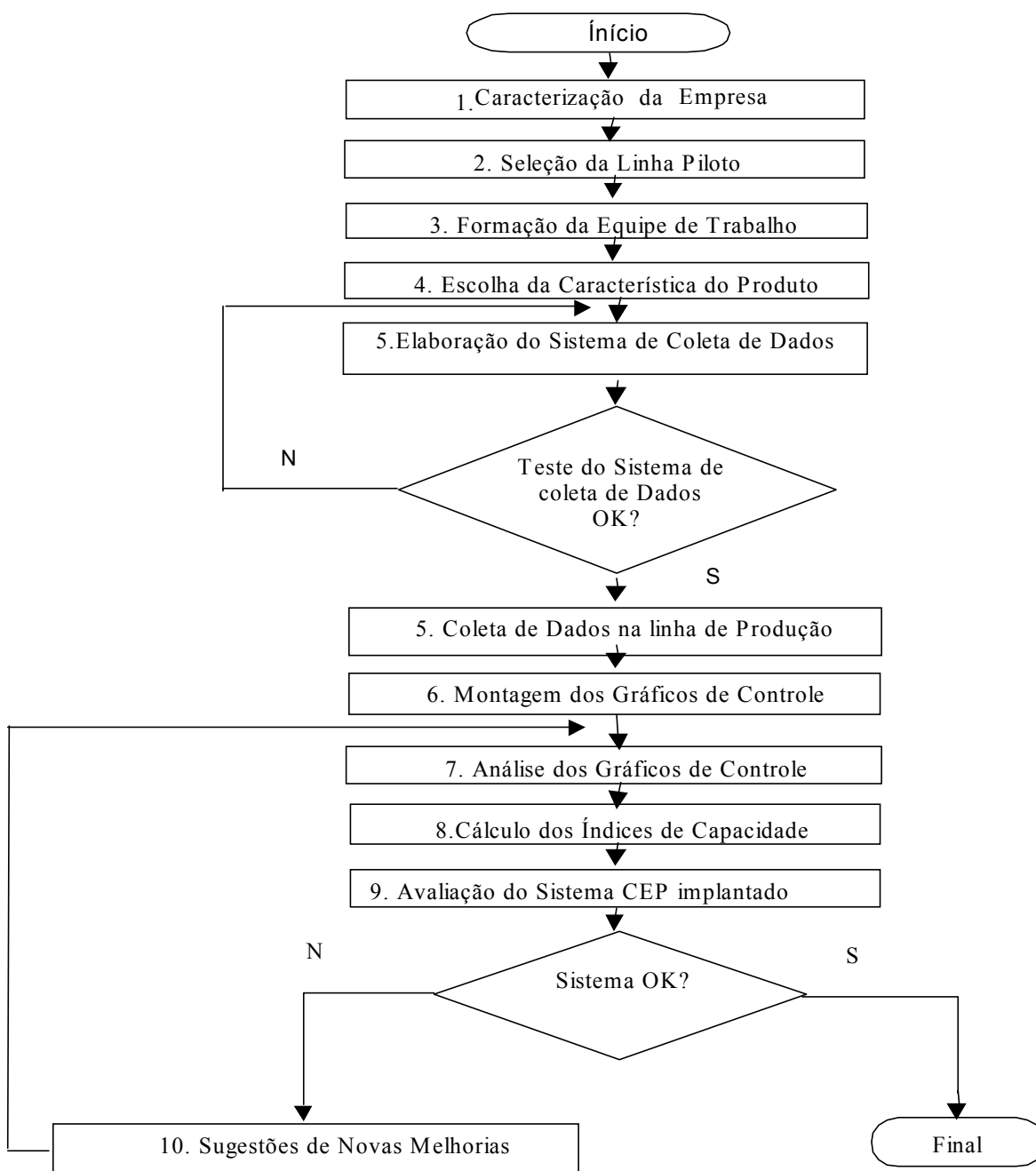


Figura 3.1: Fluxograma da metodologia proposta.

Fonte: Adaptado de Soares (2001 p.66).

### 3.1.2. Análise das Etapas

Esta análise será apresentada em 11 etapas, com explanação específica de cada um dos itens com a mesma numeração do fluxograma, visando facilitar a sua localização, e a sua melhor compreensão.

- 1) Caracterização da empresa: Apresentar a empresa em estudo, o seu desenvolvimento histórico, a sua localização, a sua área e abrangência de atuação, e os produtos comercializados. Onde será apresentado o Esquema Operacional da Unidade, o Fluxograma que apresenta o início da fabricação do transformador até o jateamento da granalha de aço, com a descrição de cada uma das etapas deste fluxograma.
- 2) Seleção da Linha piloto: Indicar a área de aplicação do CEP, com informação e explanação do por que da escolha desse setor. Mostrar o Fluxograma desde a limpeza do tanque (transformador) até a medição final na espessura da pintura no tanque.
- 3) Formação da Linha de trabalho: Definir quais os funcionários estarão no projeto de implantação, suas funções, quantidade de funcionários e, mostrar a localização desses, mais os equipamentos na coleta de dados. Se existir algum programa de treinamento desses funcionários falar sobre ele.
- 4) Escolha das Características da Qualidade do Produto: Avaliar junto com o Departamento Técnico sob o ponto de vista da empresa quais as Características da Qualidade mais crítica na pintura. Como as ferramentas estatísticas: Folha de Verificação, Fluxogramas, Diagrama de Causa e Efeito, conseguem ajudar a identificar essas características.
- 5) Elaboração do Sistema de Coleta de Dados: Elaborar e utilizar o Sistema de Folha de Verificação na coleta de dados. Verificar se os equipamentos a serem utilizados estão de acordo com o nível de qualidade exigido.
- 6) Coleta de Dados na Linha de Produção: Definir como será feita a coleta de dados, por que será feita a mesma, e as características da qualidade que constará na folha de verificação. Mostrar o comportamento dos dados dessas coletas.
- 7) Montagem dos Gráficos de Controle: Analisar e definir os tipos de gráficos de controle mais apropriados a serem usados, como visto no item 2.9.3. Apresentar como foi feita a elaboração dos gráficos.
- 8) Análise dos Gráficos de Controle: Analisar e interpretar os gráficos a partir dos dados coletados, com embasamento na teoria vista nos itens 2.9.1, 2.9.2.
- 9) Cálculo dos Índices de Capacidade: Calcular os índices numéricos e fazer a análise gráfica a partir do momento que o processo estiver sob controle estatístico, sendo as fórmulas desses índices e seus critérios de avaliação descritos em todo o item 2.9.

10) Avaliação do Sistema CEP: Testar os conceitos estatísticos aplicados com interação a esse sistema de produção. Fazer uma avaliação do controle de melhoria durante a aplicação.

11) Sugestão de Novas Melhorias: Identificar se é possível fazer novas melhorias caso o sistema não seja aprovado, procurar então as causas que não permitiram ter o sucesso desejado e propor soluções de melhorias.

Estas 11 etapas da Metodologia aqui proposta, serão implantadas numa Empresa de Transformadores Elétricos, na qual todos os dados da mesma - desde a sua localização, a sua fundação, o seu desenvolvimento, a área de abrangência atual, estão referendados nos itens a seguir. Este capítulo mostra ainda o Esquema Operacional desta Empresa, com ênfase especial no setor de pintura, no qual será implantada a metodologia, com fluxogramas e informações necessárias para um bom entendimento do local e como se desenvolveu a aplicação do CEP.

## **3.2. Aplicação dos Gráficos de Controle na Pintura Industrial**

### **3.2.1. Coleta de Dados**

Para a coleta de dados, foi elaborada uma folha de verificação, para agilizar o registro dos dados da coleta e proporcionar maiores informações desde o horário em cada passo da pintura e a espessura da tinta em vários pontos do transformador até os pintores responsáveis por cada transformador (tanque) pintado (podendo ser vista em Apêndice A).

Este procedimento foi feito manualmente e não o informatizado, em razão das limitações na área de informática por parte dos funcionários deste setor, dificultando para eles o manuseio dos dados que venham a ser trabalhados posteriormente a este estudo.

Na primeira coleta todos os transformadores foram medidos, para comparar os dados amostrais e populacionais com o intuito de fazer uma análise estatística (sobre a representatividade da amostra). Nessa primeira coleta verificou-se que faltavam características de qualidade importante, como o suporte, o radiador, a tampa, pois na análise do cliente é medido um por um dos pontos em todo o transformador e não apenas no corpo do transformador. Uma nova folha de verificação foi elaborada e ficando esta em definitivo, podendo ser vista no Apêndice A. Nas coletas seguintes foram tomados apenas de hora em hora, com lançamento

simultâneo, na folha de verificação para ser feito a análise completa dos mesmos. O aparelho de medição aqui utilizado é aferido a cada turno e se necessário a cada hora na calibração devida.

### **3.3. Montagem dos Gráficos de Controle**

Foi utilizado o Software Estatística na construção dos gráficos de controle. Em uma planilha foi digitado o modelo da folha de Verificação (podendo ser vista em Apêndice A os valores coletados, onde se basearam os cálculos das médias, das amplitudes, para o cálculo dos índices da capacidade).

Tendo este programa, planilha de cálculo automático para as fórmulas necessárias nesta pesquisa e com funções específicas para a construção dos Fluxogramas.

Sendo a característica espessura uma variável contínua, foram analisados os Gráficos de Controle para Variáveis, e por ser a taxa de produção (de transformadores) baixa, os Gráfico X e AM constituíram-se nos mais adequados para esta variável, como já visto no item 2.9.3.

### **3.4. Análise dos Gráficos de Controle**

A análise se baseia em critérios técnicos na interpretação de gráficos de controle, visto no item 2.9.1 e 2.9.2.

Os Gráficos de Controle constituem ferramentas para a avaliação da estabilidade de um processo. E um processo sob controle estatístico (estável) apresenta previsibilidade. Se o processo não é estável, possui então comportamento imprevisível, não fazendo sentido a sua avaliação. E como já se citou anteriormente no início do item 2.10, somente processos estáveis devem ter sua capacidade avaliada.

Através de alguns gráficos pode-se verificar a possível estabilidade no processo, mas outros não conseguiram atingir a mesma.

### **3.5. Cálculo dos Índices de Capacidade**

Os cálculos dos índices como foi visto no item 2.10.1 é outra forma para conhecer-se a consistência do processo. Esses cálculos também foram feitos com base nos dados coletados e digitados na folha de Verificação, após, melhoramentos,

análises, novas coletas, com auxílio de dados tabelados e fórmulas calculado automaticamente pela Planilha de Cálculo.

Mas somente em um processo estável, sob controle estatístico, tem sentido avaliar a sua capacidade, como foi visto no capítulo 2 (item 2.9), levando às vezes a um longo período de coleta, melhoramento e análise.

Em alguns processos, foi possível o cálculo dos índices devido à estabilidade. Esses índices ajudaram o diagnóstico do processo com maior detalhe. Outros precisam de ações de melhorias para chegar ao cálculo dos índices, como será visto no próximo capítulo.

## **4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA**

Neste capítulo é apresentado primeiramente a Empresa onde pretende aplicar a metodologia para um melhoramento do processo. A seguir é apresentada a aplicação da metodologia na prática proposta anteriormente.

### **4.1. Caracterização da Empresa**

#### **4.1.1. Desenvolvimento Histórico**

A Empresa de transformadores deste estudo foi fundada em 1962, no Noroeste do Paraná, produzindo na época pequenos postes, para a utilização da energia elétrica já iniciada no interior do Estado. E com o crescimento tecnológico das redes de distribuição de energia elétrica, surgiu a necessidade de novos produtos. Foi se então aprimorando a produção de concreto, e desenvolvendo produtos essenciais às redes de transmissão de energia. Atualmente é uma das mais completas fábricas de produtos nessa área, atendendo as redes de distribuição de energia elétrica convencional e compacta, bem como de telefonia. Sua produção ultrapassa 1600 toneladas/mês.

Nos dias atuais 1.100 funcionários movimentam as indústrias fabris nos Estados do Paraná, São Paulo e Mato Grosso. Possui escritórios comerciais em São Paulo e Curitiba e representantes tanto no Brasil (Acre, Alagoas, Amapá, Amazonas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Distrito Federal, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Rondônia, Roraima, Santa Catarina, São Paulo, Sergipe, Tocantins) quanto em outros países da América Latina e Estados Unidos.

#### **4.1.2. Perfil do Grupo**

Os artefatos de concreto feitos em Mandaguari-Pr, Pindamonhangaba-SP, Cuiabá-MT atendem todas as especificações do mercado, com ISO 9002, concedido pela Eletrobrás.

A unidade de Eletroferragens atende ao mercado brasileiro, com exportações para América do Sul, Caribe e Estados Unidos.

Com Transformadores de distribuição aplicações industriais, prediais, linha de distribuição urbanas e rurais, com garantia e assistência técnica.

O complexo industrial da Unidade de Transformadores está situado no Noroeste



do Paraná, sendo uma das mais completas da América Latina, satisfazendo as exigências do mercado nacional, e de vários países da América do Sul e Central, onde exporta grande parte de sua produção.

#### 4.1.3. Caracterização da Unidade Objeto do Estudo

A Unidade em estudo é constituída pelo seguinte Esquema Operacional:

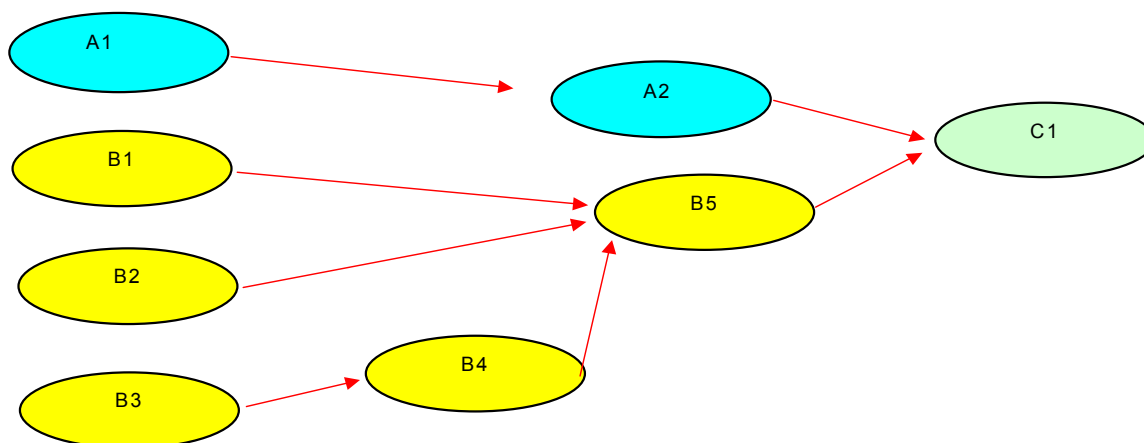


Figura 4.1: Esquema Operacional da Unidade

A1 – Calderaria ou Funelaria – Fabricação de Tanques.

A2 – Pintura – Pintura do fundo e acabamento.

B1 – Alta Tensão – Fabricação das bobinas.

B2 – Baixa Tensão – Fabricação das bobinas.

B3 – Corte do Núcleo – Corte do aço silício.

B4 – Montagem do Núcleo – bobinamento, formatação e cozimento o núcleo.

B5 – Montagem da Parte Ativa – Montagem da baixa e alta tensão do núcleo, além do comutador na parte ativa do transformador.

C1 – Fechamento ou Montagem Final – Colocação da parte ativa no tanque, vácuo, colocação do óleo e estanqueidade.

Nota – Pode ser incluído ainda C2 e C3 relativo aos ensaios elétricos e embalagem.

Ensaio elétrico – trata-se dos ensaios de rotina, tais como: induzida, aplicada, perdas no ferro e no cobre, etc...

Embalagem – Colocação do transformador na embalagem e verificação final da pintura e colocação da placa de identificação – (placa de identificação identifica o número do transformador, kva, kv, diagrama de ligação, etc...).

A seguir o Fluxograma a partir da construção do transformador.

#### 4.1.4. Fluxograma da construção do Transformador

Neste fluxograma é apresentada cada uma das etapas na construção do tanque do transformador.

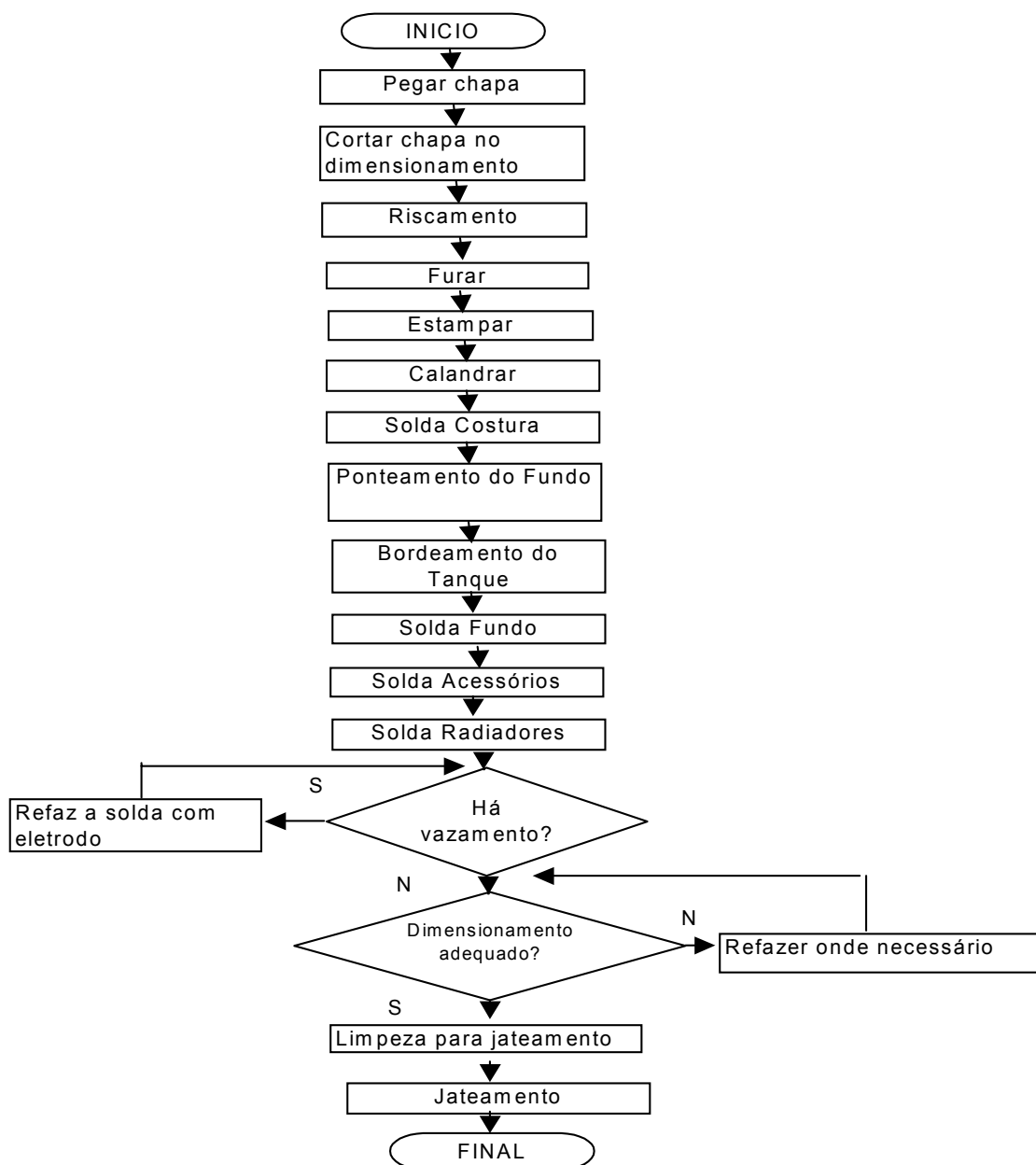


Figura 4.2: Fluxograma a partir da construção do transformador.

#### 4.1.5. Análise das etapas da construção do Transformador

As etapas a partir da construção do transformador são descritas a seguir:

- Tomar a chapa em seu estado original
- Cortar a chapa – corta-se a chapa no dimensionamento desejado, pois, existem vários tamanhos de transformadores(dependendo do pedido do cliente).
- Riscamento - Faz se o riscamento seguindo o projeto específico.

- Furos – Faz se os furos. Dependendo do tamanho do transformador existe mais radiadores, e faz se então necessário mais ou menos furos para em seguida colocar os mesmos. Também existe 2 alças externas onde são feitos os furos para a fixação.
- Estampar – Fazer os furos com isoladores de baixa tensão.
- Calandrar - Deixar a chapa no formato desejado de acordo com o tipo do transformador.
- Solda costura – Passa se a solda costura também chamada de solda Mig ou normal. Sendo esta solda de emenda da chapa(longitudinal).
- Ponteamento do fundo – Coloca-se uns pontinhos de solda encima do fundo para depois ser soldado o fundo após o bordeamento.
- Bordeamento do Tanque- Fazer o colarinho da borda do tanque.
- Solda de fundo – Após feito o bordeamento solda-se o fundo (como foi descrito acima).
- Solda Acessório – Como, por exemplo, as alças.
- Solda Radiadores – Podendo ser poucas ou muitas. Os radiadores são alças externas podendo ter desde nenhum até vários radiadores.

Há vazamento? – É feito um teste com um líquido penetrante no lado oposto à solda para verificar se existe vazamento, passando uma luz negra ao lado da solda. Por ser um líquido penetrante fluorescente se houver um vazamento aparece uma mancha esverdeada. Caso isto ocorra o operador faz uma marca com um giz na direção do vazamento, e é refeito a solda com eletrodo. Se não houver vazamento o tanque é liberado para inspeção dimensional nos padrões desejados.

- Dimensionamento adequado? - Se estiver nos padrões é encaminhado para o jateamento com granalha de aço.

## **4.2. Seleção da Linha Piloto**

### **4.2.1. Caracterização da Linha Piloto**

Foi selecionado este setor da Empresa uma vez que não havia um CEP anterior. Sendo que a medida da espessura na pintura era feita em um por um dos transformadores após a pintura de acabamento ser finalizada.

Este estudo teve início em outubro de 2001, quando fez-se uma análise dos dados já coletados por funcionários, mostrando que em algumas partes do

transformador à espessura da tinta estava muita além da especificada pelo cliente.

Anteriormente não havia a coleta das amostras, eram apenas medidos alguns tanques de transformadores para ver como estava a espessura da tinta na pintura no primer, e no final, depois da secagem do acabamento por 24 horas, havia uma medição de um a um para ver qual era aceito e qual era refutado, sendo esta medição feita anteriormente à medição feita pelo cliente.

Após conversar com funcionários da pintura e diretoria, verificou-se que a aceitação da perda era em torno de 30% (ou seja, a espessura da tinta era bem aceita pela empresa até 30% acima do pedido pelo cliente), pois ainda na empresa quando o cliente faz o recebimento do lote este faz a medição em 2 ou 3 transformadores em escolha aleatória, esta medição é em todo o transformador. Caso estes transformadores apresentem um ou dois pontos abaixo do estipulado por eles todo o lote será refutado, tendo então que retornar todo o lote para o início do processo causando um custo muito superior aos 30% aceito pela empresa.

Um ponto de partida lógico para o planejamento ou re-planejamento da qualidade é preparar um fluxograma. Devendo mostrar as atividades (etapas, tarefas, operações, decisões, ações, etc) e a seqüência na qual elas ocorrem (JURAN, 1995).

#### **4.2.2. Fluxograma original da Empresa**

Na página a seguir, a Figura 4.3, apresenta o fluxograma original da empresa, com todas etapas, iniciando pela limpeza dos tanques dos transformadores até a medição da espessura final. É possível verificar que não havia qualquer tipo de controle desse processo, com o único intuito por parte da Empresa em atender a expectativa do cliente.

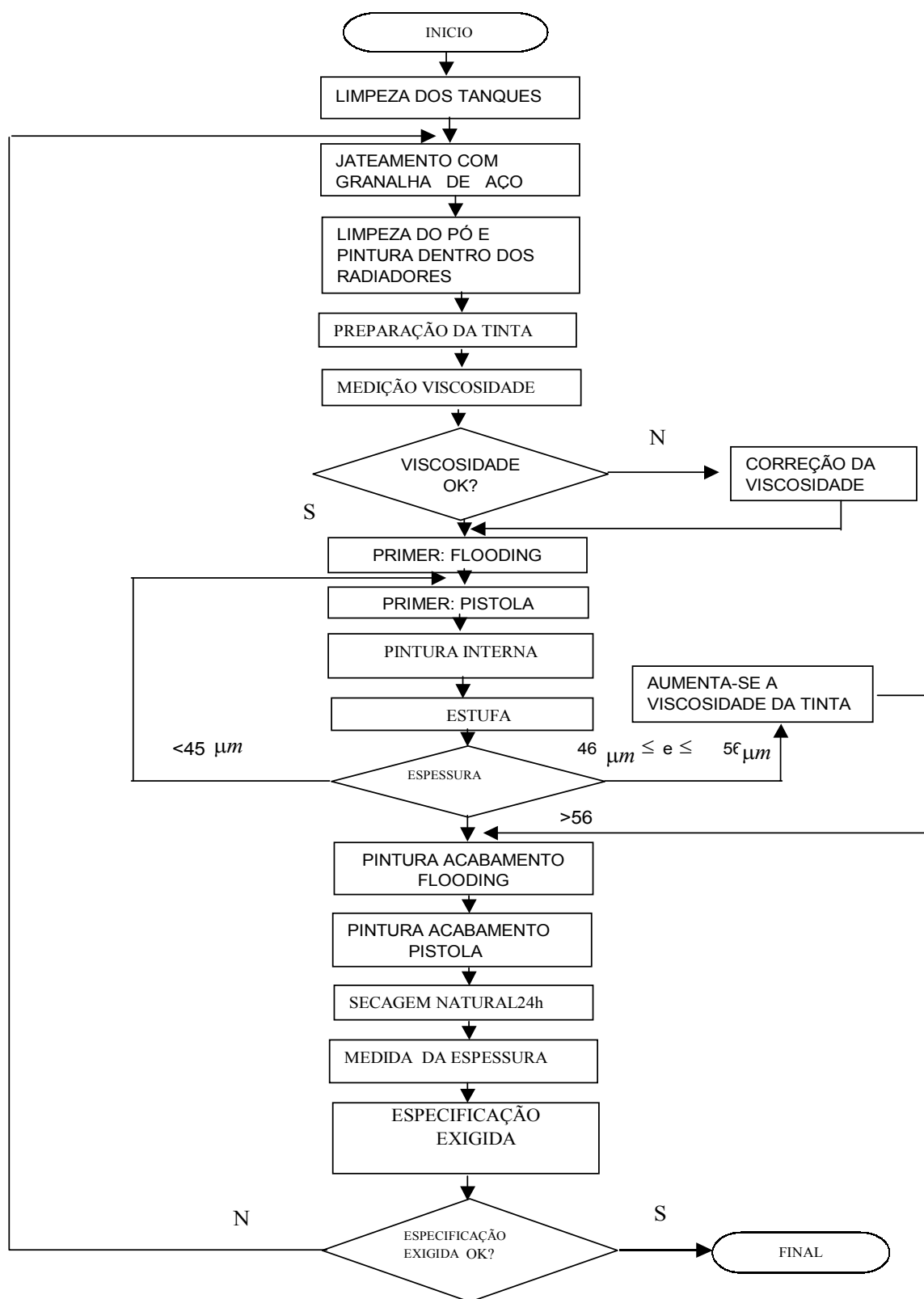


Figura 4.3: Fluxograma original da Empresa.

Ao observar o fluxograma acima se verifica a não existência de qualquer tipo de controle de processo. A única preocupação desta indústria era com a qualidade do produto e aceitação do mesmo pelo cliente não importando o custo dessa qualidade.

A partir do fluxograma anterior verifica se a necessidade de um re-planejamento da qualidade, com intuito de melhorar o processo. Este re-planejamento é mostrado a seguir com a reestruturação do Fluxograma.

#### **4.2.3. Reestruturação do Fluxograma**

O Fluxograma proposto na Figura 4.4 mostra o processo antigo mais as sugestões para a introdução do processo responsável pelo CEP com o intuito de melhoria do mesmo. As sugestões têm seu início antes da pintura do Primer em uma primeira coleta dos dados com o horário em que os tanques estão prontos para a pintura. As amostras com a espessura da tinta começam a ser coletadas no momento em que se confirma a espessura mínima exigida no processo de  $56 \mu m$  antes da aplicação da pintura de acabamento. Após a secagem da pintura de acabamento e a secagem de 24 horas, é feita nova coleta para a medida na espessura da tinta, necessária na montagem dos Gráficos de Controle e o cálculo dos Índices de Capacidade para a Análise do CEP e então com esses resultados analisa - se a necessidade de algum ajuste no processo.

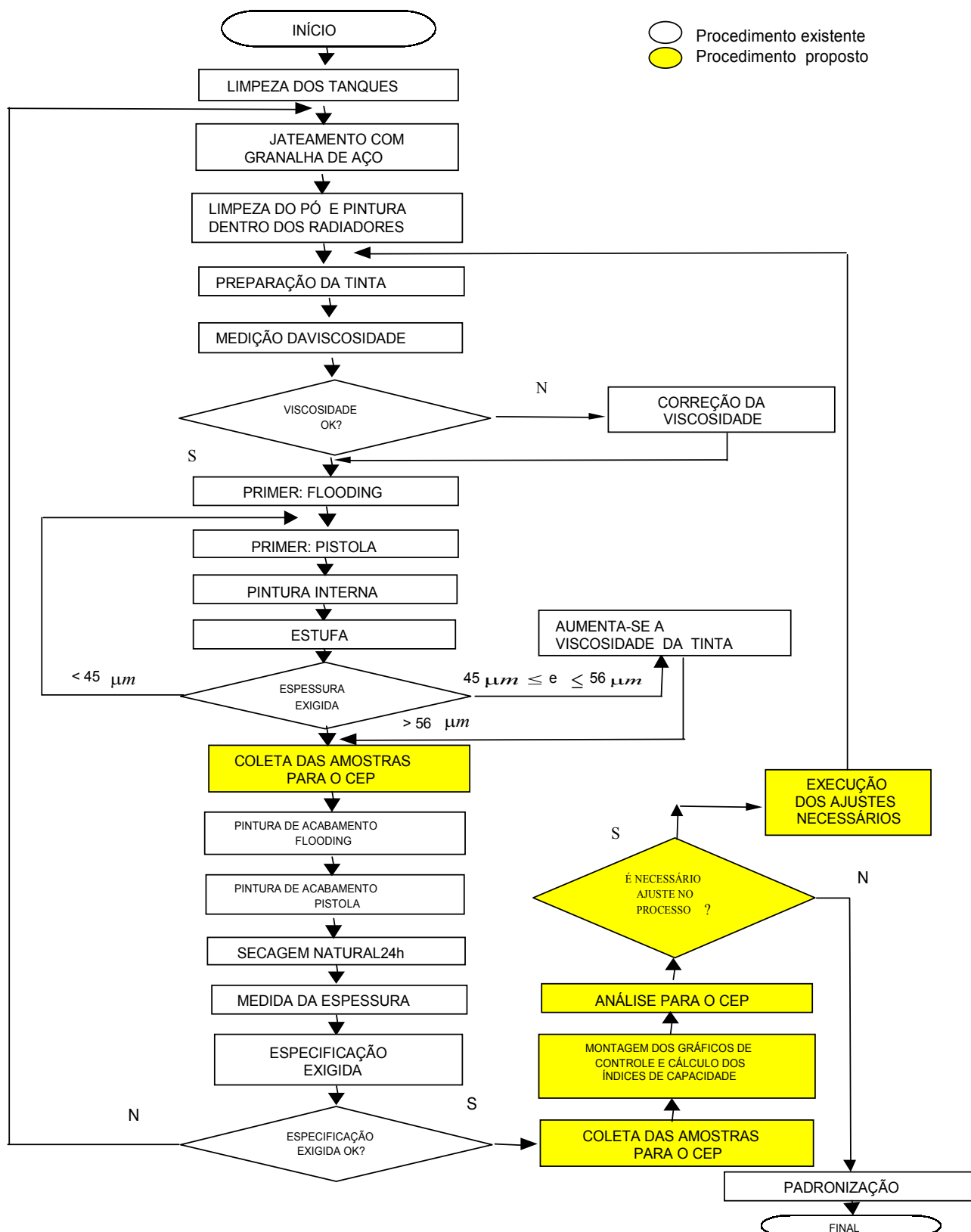


Figura 4.4: Fluxograma proposto do controle de processo

A primeira coleta, após verificar a espessura da tinta, é elaborada com o intuito de na continuidade deste trabalho, estudar-se a variável pintor, pois aparentemente pode ter relação com a variabilidade do processo. A partir do momento em que as especificações exigidas estão corretas, inicia-se a coleta das amostras para o CEP utilizado na montagem dos gráficos de controle, para analisar a estabilidade do processo, e no cálculo dos índices de capacidade para conhecer a consistência do mesmo, ajudando no seu diagnóstico e também na verificação da necessidade de algum ajuste, e sendo este necessário o Diagrama de Ishikawa é uma ferramenta muito importante para a identificação de interferências no processo, como pode ser visto a seguir.

#### **4.2.4. O Diagrama de Ishikawa**

Com o intuito de caracterizar melhor esse processo, foi elaborado o Diagrama de Ishikawa (Causa e Efeito), Figura 4.5, com a participação de todos funcionários do referido Setor (Pintura), inclusive os considerados “chão de fábrica”, para fazer-se uma análise do que estava afetando esse processo, porquanto segundo Crosby (1979, p.126) “à medida que as pessoas são incentivadas a falar, vêm à tona oportunidades de correção que envolve não só os defeitos detectados pela inspeção, como também os menos óbvios”. Acrescenta-se ainda o fato de que a maioria das estratégias deve também visar o envolvimento da mão-de-obra no esforço, para produzir qualidade em processos, produtos e serviços (PALADINI, 2000).



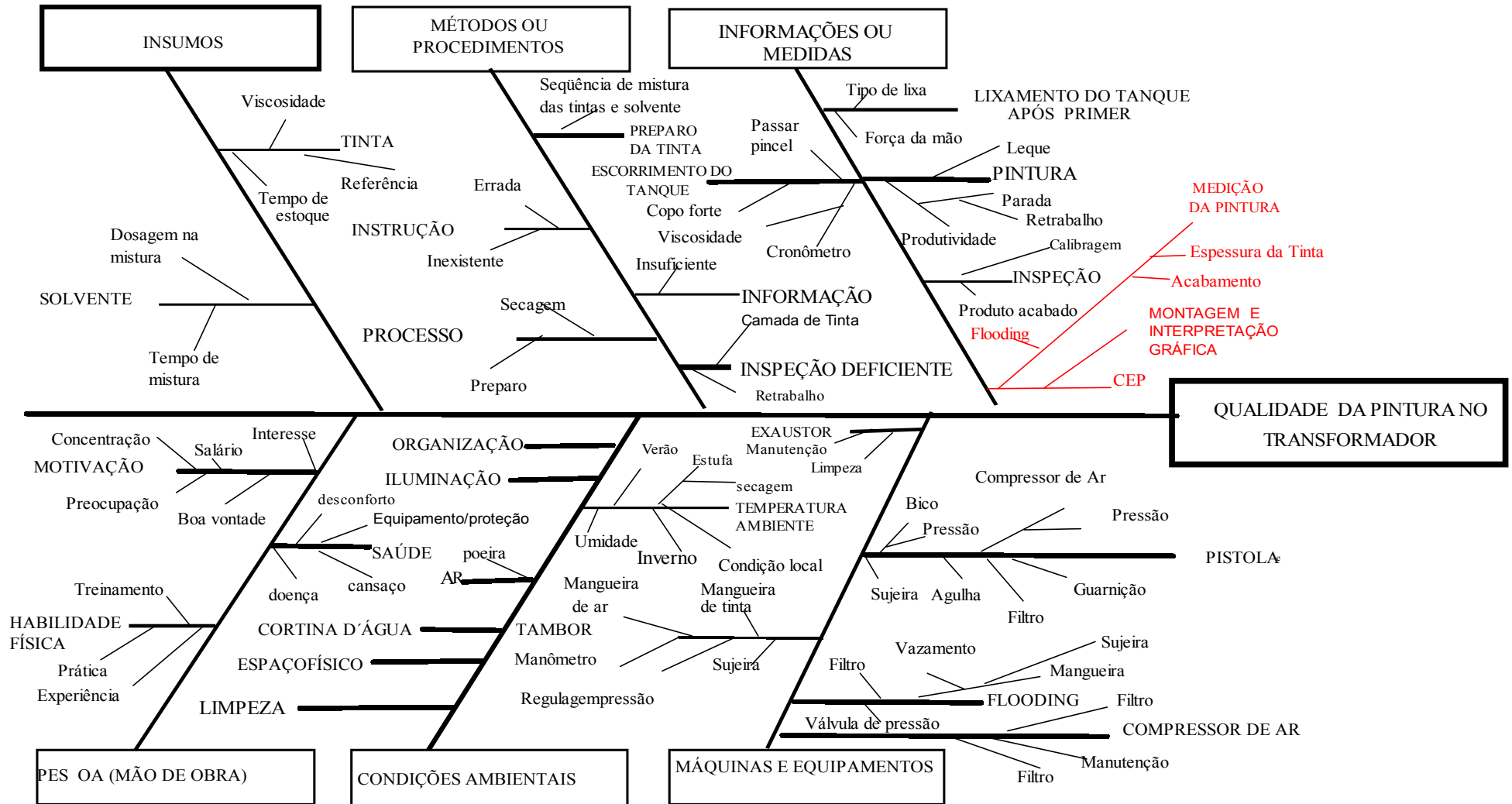


Figura 4.5: Diagrama de Ishikawa para a Identificação de Interferências na Qualidade da Pintura de Transformadores

Diagrama de Ishikawa apresentado na Figura 4.5 é feita uma avaliação inicial juntamente com os funcionários das interferências que pode haver no processo da Pintura do Transformador em se tratando dos:

- Insumos (Tinta, Solvente).
- Métodos ou Procedimentos (Preparo da Tinta, Instrução, Inspeção, Processo, com Informação muitas vezes insuficiente).
- Informação ou Medidas (Lixamento e Escorrimento do Tanque, Pintura, Inspeção e entrando aqui a Medição da Pintura).
- Pessoas (com a Habilidade Física, Motivação, Saúde).
- Condições Ambientais (Limpeza, Espaço Físico, Cortina D'água, Tambor, Ar, Iluminação, Temperatura Ambiente, Organização).
- Máquinas e Equipamentos (Compressor de Ar, Flooding, Pistola, E.P.I., Exaustor, Tambor), e cada um desses fatores bem detalhado como pode ser visto no Diagrama acima.

### 4.3. Formação da Equipe de Trabalho

A Tabela 4.1 apresenta as funções de cada um dos funcionários dentro do processo de pintura, dando assim uma idéia de suas localizações na Figura 4.6.

Tabela 4.1: Funções dos funcionários da Pintura dos Transformadores.

CÓDIGO	N. ° FUNC.	FUNÇÃO
I	1ou 2	Jateamento de granalha de aço
II	1	Pintura do Flooding no Primer
III	1	Pintura à Pistola no Primer
IV	1	Pintura Interna
V	1ou 2	Lixar as pequenas Imperfeições após estar Seco
VI	1	Pintura do Flooding no Acabamento
VII	2	Pintura à Pistola no Acabamento
VIII	1 ou 2	Retirada do Transformador do Trilho
IX	1ou mais	Medição Final

Na figura 4.6 a localização para a coleta de dados é mostrada pela letra **C**.

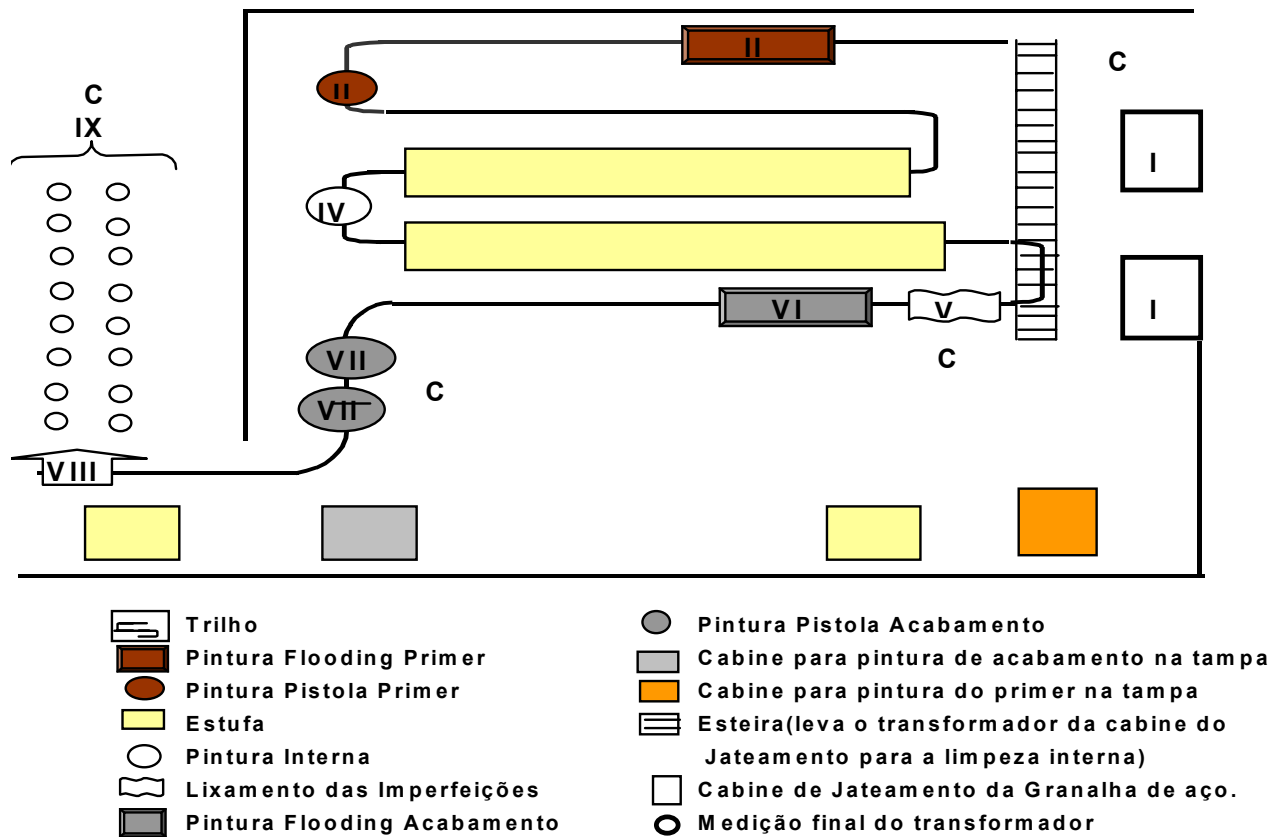


Figura 4.6: Distribuição dos Funcionários com suas funções e equipamentos

No processo da pintura, via de regra, o funcionário que faz a limpeza interna do tanque após o jateamento com granalha de aço (indicado pela letra I), puxa os tanques (transformadores) no trilho para levá-los até a Pintura Flooding. Após o processo da Pintura Flooding, estes são levados pelo pintor para a Pintura Pistola, ambos, indicados pela letra II. A Pintura de Acabamento envolve três funcionários, sendo um na Pintura Flooding e 2 pintores na Pintura Pistola, indicados pelas letras VI e VII. Após o término da pintura os tanques são levados através dos trilhos (VIII) para o local ao lado (IX) onde permanecem secando por 24 horas. Os tanques são colocados em fileiras e até 3 tanques um sobre o outro, com as suas tampas ao lado. Depois da secagem a medição final é feita no mínimo por um funcionário. A maioria dos funcionários desse setor têm, o Ensino Fundamental incompleto sem conhecimento do CEP, e de informática.

Existe um rodízio de funcionários periodicamente para trabalhar por algum tempo no Setor da Pintura.

#### **4.4. Escolha das Características de Qualidade do Produto**

A escolha da Espessura da Pintura foi sugerida pelo departamento técnico, por se tratar de uma característica crítica, qualificadora do produto junto aos clientes, sendo a única característica levada em conta pelo cliente na aceitação ou rejeição do produto no quesito pintura.

Numa segunda etapa, foi analisada a característica da qualidade em relação a cada ponto: do custo, da qualidade, segundo o seu grau de importância, para a coleta de dados.

As características de qualidade de maior importância selecionadas foram:

- O Aplicador de cada uma das etapas da pintura seja ela do primer ou acabamento;
- Data e a Hora da aplicação em cada uma das etapas (primer e acabamento);
- Medição de cada uma das partes do transformador (corpo, radiador, suporte) no primer e no acabamento (corpo, tampa, radiador e suporte). A medição dessas partes é feita com aparelho medidor de espessura de camadas, e a unidade de medida chamada de "micrômetros".

#### **4.5. Análise dos Resultados**

Tanto o Gráfico de Controle para as Medidas Individuais X quanto o Gráfico da Amplitude Média AM, foram aqui utilizados tendo em vista que a produção diária de transformadores não demanda de uma grande taxa, como justificado no item 2.9.3.

Todos os gráficos apresentados a seguir em todas as partes do transformador, são resultados das coletas de dados na fase de acabamento.

Com o intuito de se verificar como o processo se comportava sem nenhuma ação, os dados foram coletados inicialmente, de hora em hora, por cinco dias consecutivos, em cada uma das partes do transformador, iniciando-se pelo Radiador seguido pelo Corpo, Tampa e finalmente o Suporte.

Em todas as partes do transformador que serão apresentados a seguir supôs-se a aproximação normal nos dados, após a verificação dos mesmos em cada uma das coletas, que pode ser vista no Apêndice C.

##### **4.5.1. Espessura da Pintura no Radiador**

No Radiador, totalizaram-se em média 29 amostras, sendo o tamanho de cada

amostra “um”, podendo ser visto no Apêndice B.

Pode-se observar nas Figuras 4.7 e 4.8 o comportamento inicial dos dados.

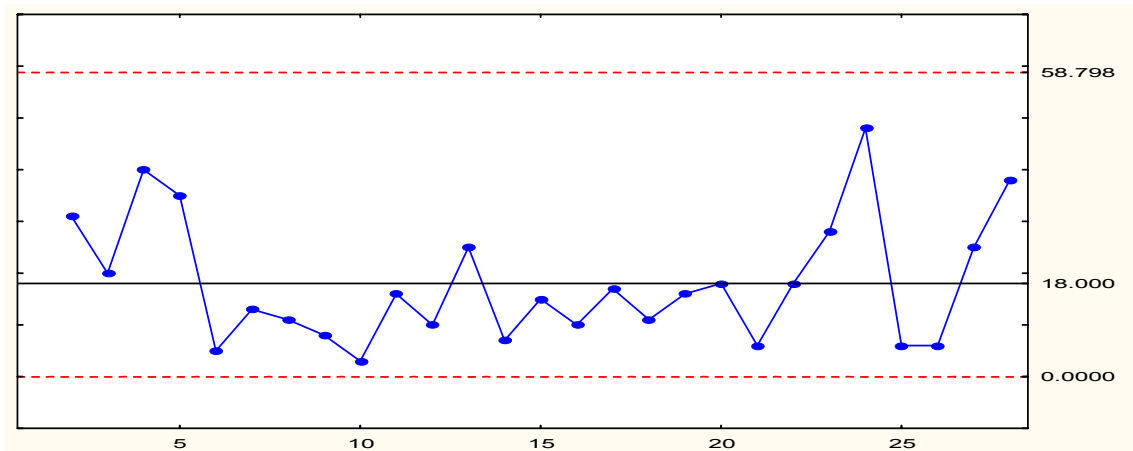


Figura 4.7: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no radiador do transformador na coleta 1.

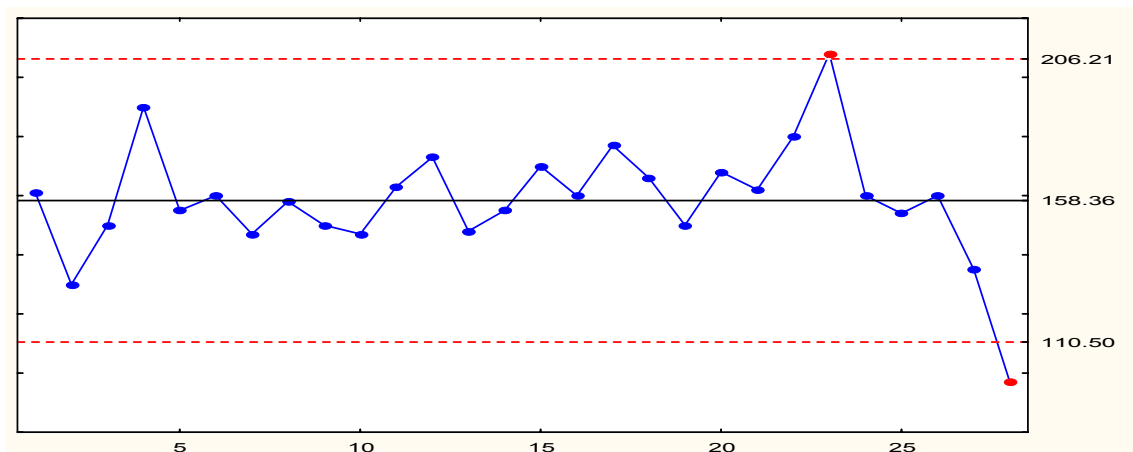


Figura 4.8: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no radiador do transformador na coleta 1.

O Gráfico 4.8 para Medidas Individuais apresenta pontos fora dos Limites de Controle (um ponto acima do LCS e outro abaixo do LCI) mostrando possível instabilidade do processo, isto é, verificando-se possível presença de causas especiais. Podem assim ser considerados, por estarem fora dos limites de controle ou mesmo por mostrar um comportamento tendencioso, além de piques extremos, demonstrando excesso de variabilidade. O comportamento dessas amostras foi observado em toda a população coletada durante a semana, confirmando a

necessidade de um estudo maior dos agentes causadores desse descontrole no processo.

Para solucionar os problemas identificados acima, se faz necessário a aplicação do QC STORY com o PDCA, iniciando-se por:

P-identificar o problema e investigar as características do mesmo sob vários pontos de vista, fazendo uma análise para descobrir as causas fundamentais. Foi convocada uma reunião, e após ampla discussão com todos os funcionários da linha pintura, cujo código de função são: II, III, IV, VI, VII e IX na Tabela 4.1, bem como da presença da chefia da seção, de modo a se diagnosticar os fatores que poderiam afetar esse processo. Adotou-se também um cartaz, em cartolina, num local sugerido pelos funcionários, de modo que ao lembrarem-se de algo que pudesse interferir no processo, fosse anotado, e confirmado pela inclusão de novas sugestões. Conversou-se individualmente e igualmente com os funcionários, diretamente ligados à pintura, sobre outras sugestões das interferências no processo. Assim, para estudar esses agentes causadores do descontrole do processo na espessura do transformador não se restringindo ao radiador, mas em todas as demais partes (tampa, suporte e corpo) na etapa do PDCA, e para melhoria do processo, utilizou-se o Diagrama de Causa e Efeito, onde o que se associa à tinta, Calibragem da Pistola e Manômetro foram selecionadas pelos mesmos como sendo as causas prováveis e responsáveis (em vermelho), podendo ser vistas na Figura 4.9.

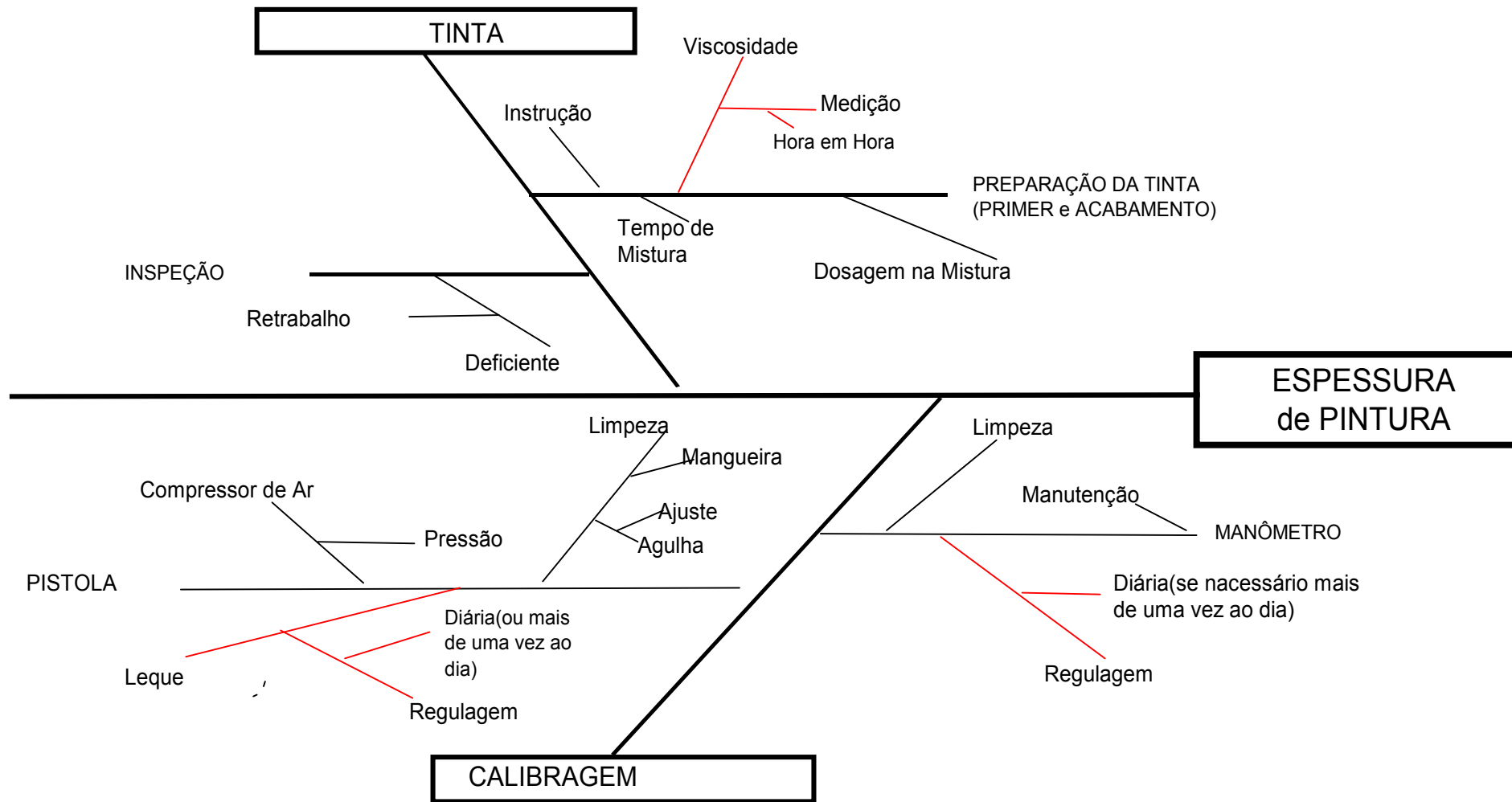


Figura 4.9: Diagrama de Causa e Efeito nos prováveis fatores da variação.

Dando seqüência no PDCA em:

- D - Para cada uma dessas causas selecionadas, foi montado um plano de ação como visto no item 2.5, envolvendo todas as pessoas comprometidas no processo. Na Viscosidade da Tinta, houve o comprometimento de se verificar de hora em hora não só a sua espessura, como a Calibragem da Pistola, analisar diariamente a regulagem do leque e se necessário, mais de uma vez ao dia, fazer igualmente a regulagem na Calibragem do Manômetro.
- C - Nesta nova coleta, pode-se observar uma melhora na variabilidade do processo, não tendo sido maior, porquanto à época da coleta estava-se utilizando a tinta da marca Weg (a pedido do cliente). A espessura desta tinta difere da utilizada normalmente (é substancialmente maior), e a pressão utilizada no tambor também é diferente. A pressão para esta tinta é de 0,5, ao passo que eles estão acostumados a utilizar normalmente a pressão em 1,5. Ao abaixar a pressão do tambor para 0,5 verificou-se que a espessura da tinta estava muito baixa no primer. Sendo efetuada mais uma alteração pelo pintor da Pintura Primer (aumentou se a pressão para 0,75), pôde-se observar a melhora na espessura da tinta imediatamente. Foi explanado também que não se poderia simplesmente mudar a espessura da tinta com solvente, pois a mesma escorreria muito, acarretando em desperdiço. Após esses ajustes, verificou-se em uma nova coleta, uma estabilidade no processo.
- A – Os procedimentos atuais são mantidos, e qualquer anomalia faz se as correções necessárias.

As novas amostras foram coletadas de hora em hora, durante cinco dias, e deram origem aos Gráficos das Amplitudes e para Medidas Individuais, não só nas Figuras 4.10 e 4.11 que estão apresentadas a seguir, mas estendendo-se para outras partes do transformador (corpo, tampa, suporte), e que serão analisadas seqüencialmente nos outros subitens (4.5.2; 4.5.3; 4.5.4), após 4.5.1.- Espessura da Pintura no Radiador.



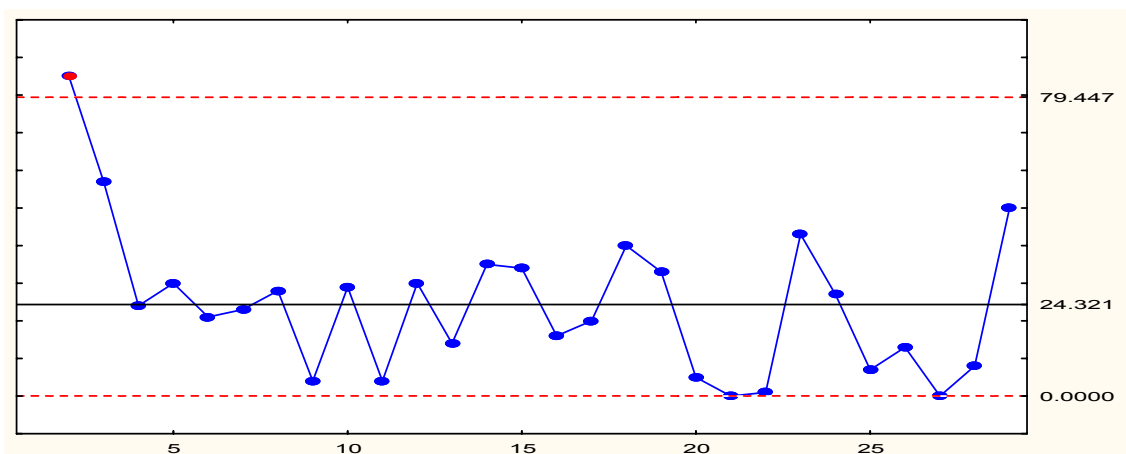


Figura 4.10: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no radiador do transformador na coleta 2.

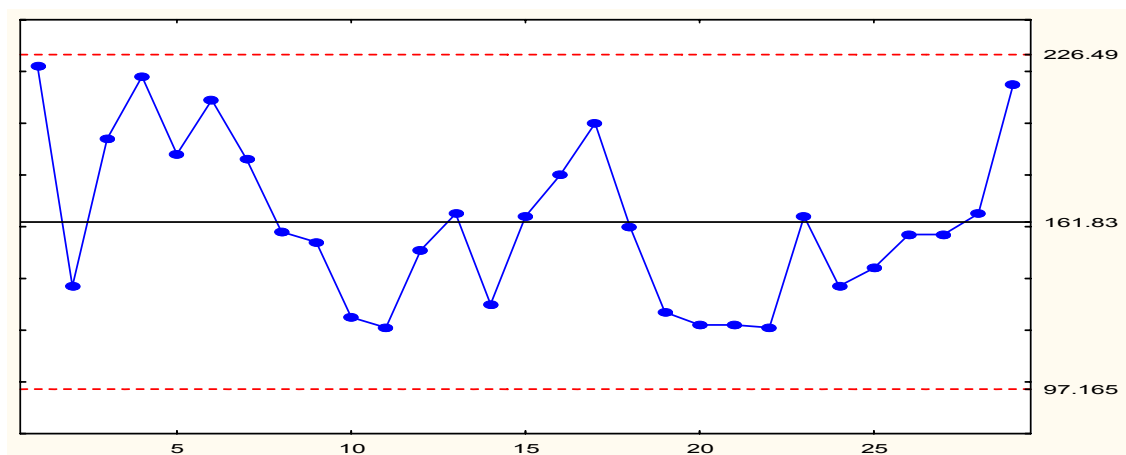


Figura 4.11: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no radiador do transformador na coleta 2.

Na análise de variabilidade pelo Gráfico 4.10 – Amplitudes, apresenta um ponto acima do LCS. Observa-se durante todo o processo, o PDCA sendo utilizado, pois a identificação do problema, a observação, a análise, o plano de ação, juntamente com a ação e a verificação (se houve resultado no bloqueio do problema e caso positivo a padronização para prevenir o reaparecimento do mesmo) foi uma constante durante o mesmo, podendo ser constatado ainda em todas as partes do transformador a seguir.

Apesar de no Gráfico para Medidas Individuais, não mostrar pontos fora dos Limites de Controle, observa-se quatro de cinco pontos além dos limites de 1 sigma

mostrando possível instabilidade no processo.

Como um novo plano de ação, um mês antes dessa nova coleta, procedeu-se um treinamento de mais ou menos três horas sobre pintura para todas as pessoas envolvidas nesse processo.

Após um período de três meses sem conseguir coletar amostras em cinco dias consecutivos, haja visto que quando ocorria pintura em duas camadas, sucedia que muitas vezes os transformadores eram monofásicos (sem todas as partes aqui estudadas) e intercaladas por pintura a zinco (três camadas de tinta e portanto fora do objeto deste estudo), foi possível fazer uma nova coleta, confirmando se a estabilidade do processo em algumas partes do transformador. Entretanto esta coleta foi feita após um tempo, no qual parte dos pintores estava trabalhando alternadamente com outros tipos de pintura; alguns retornando de férias e outro permanecendo em férias.

O resultado da coleta está nos gráficos a seguir - Figuras 4.12 e 4.13.

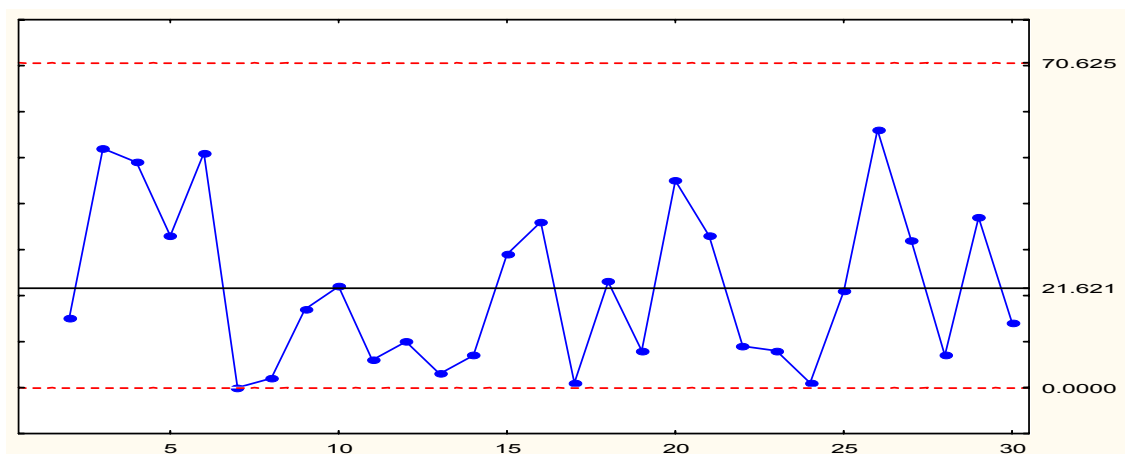


Figura 4.12: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no radiador do transformador na coleta 3.

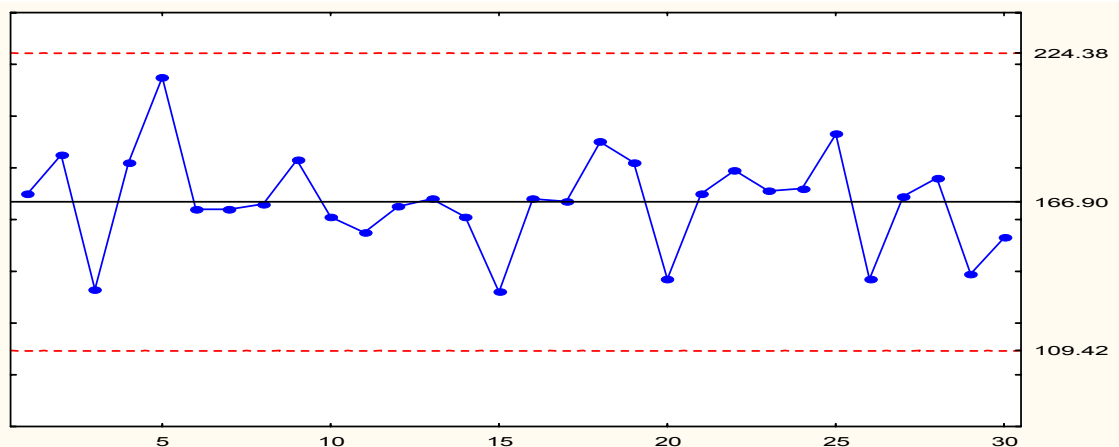


Figura 4.13: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no radiador do transformador na coleta 3.

Pode-se observar, tanto no Gráfico das Amplitudes como no Gráfico para Medidas Individuais, não houve pontos fora dos Limites de Controle. Também se verifica a ausência de tendência ou periodicidade, sendo então considerado sob controle. Como foi visto em todo o item 2.10 é útil conhecer o padrão de variação das características de qualidade de um processo que está sob controle, através do estudo da capacidade de processo e os seus índices ao verificar que o mesmo é estável (DELLARETTI, 1994) então com os dados dessa coleta foram feitos um estudo da capacidade do processo e o cálculo de seus índices.

Tabela 4.2 Limites de Controle dos Gráficos X e AM fixados para a variável Espessura no Radiador do Transformador.

LIMITES DE CONTROLE	GRÁFICO PARA MEDIDAS INDIVIDUAIS	GRÁFICO DAS AMPLITUDES
LCS	224,38	70,12
LC	166,9	21,62
LCI	109,42	0

Como foi visto no item 2.9.2 o risco  $\beta$  ou a probabilidade de não detectar a mudança na primeira amostra subsequente é:

$$\begin{aligned}\beta &= \Phi(3 - 3\sqrt{1}) - \Phi(3 - 3\sqrt{1}) = \\ \beta &= \Phi(0) - \Phi(-6) = \\ \beta &= 0,5 - 0,0 = \\ \beta &= 0,5\end{aligned}$$

Ou seja  $\beta =$  de 50% e o Comprimento Médio da Corrida (CMC) ou o número de períodos necessários para eventualmente ver uma observação fora dos limites de

controle estando este sob controle ou mesmo o número esperado de amostras até

detectar uma mudança de  $3\sigma$  com  $n=1$  é 2 isto é:  $ARL_1 = \frac{1}{1-\beta} = \frac{1}{1-0,5} = 2$

E a curva característica para  $n=1$ ,  $k$  variando de 0,1 a 4,8 e  $L$  fixo em 3.

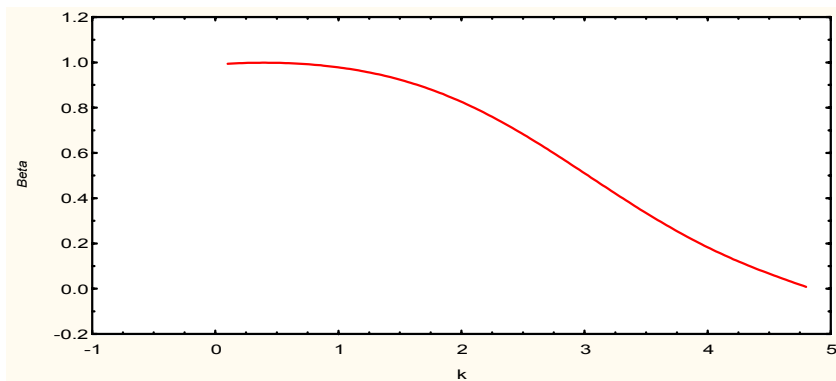


Figura 4.14: Gráfico da CCO

A partir do momento em que se conclui que este processo está sob controle estatístico, os limites obtidos podem ser fixados para monitoração da estabilidade do processo pela análise gráfica e pelo cálculo dos índices de capacidade do processo.

Para isso faz-se necessária utilização da média das amostras, os limites de especificação, a média das amplitudes para o cálculo do índice.

Situações onde existe um limite apenas de especificação, o índice de capacidade é avaliado por:

- Cálculo dos índices do desempenho do processo – ( $C_{pk}$ )

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{AM}}{d_2} = \frac{21,62}{1,128} = 19,67 \qquad C_{pL} = \frac{166,9 - 120}{3 \times 19,67} = 0,8116$$

O valor obtido é de 0,8116. O que determina a primeira vista que o processo é incapaz. A linha central do processo está fora do limite de especificação.

Pelo valor obtido para o valor do índice  $C_{pk}$  no ponto de vista do cliente, quanto maior a espessura da pintura, melhor para ele, porque estará levando transformadores com uma espessura maior pelo mesmo valor.

- Cálculo da Faixa de Característica do Processo “FCP”

$$FCP = \bar{\bar{X}} \pm 3\hat{\sigma} = 166,9 \pm 57,8 \mapsto 224 \text{ a } 110$$

Pela Faixa Característica do Processo que é de 110 a 224 observa-se que o valor mínimo se encontra abaixo do limite inferior especificado (120) e sempre que isto é diagnosticado se faz necessário um re-trabalho envolvendo custos adicionais (em 0,68%). O valor máximo desta faixa está além do previsto pela empresa (156),

mostrando um desperdício de matéria prima (em 70,62%).

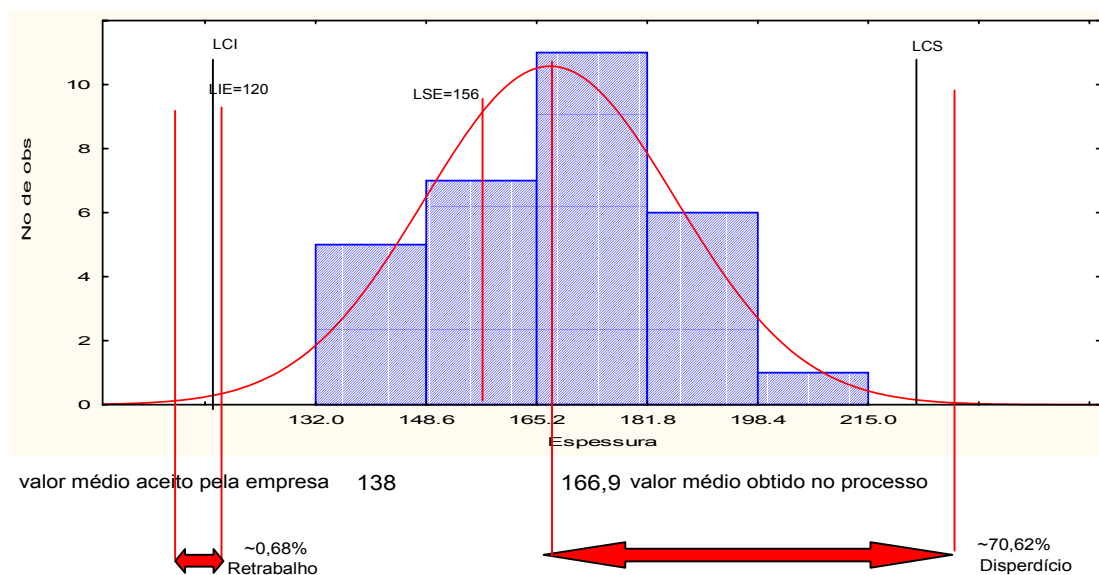


Figura 4.15: Apresentação gráfica da perda na Pintura do radiador no transformador.

Ao se analisar o valor médio na espessura do Radiador aqui estudado com o valor médio aceito pela Empresa, verifica-se uma perda na ordem de 21% para a Empresa.

#### 4.5.2. Espessura da Pintura no Corpo

No corpo do transformador, totalizam-se 30 amostras sendo que o tamanho de cada amostra é um. Pode-se observar nas Figuras 4.16 e 4.17 a seguir o comportamento inicial dos dados na Pintura do Corpo do Transformador. Como foi feito anteriormente na análise dos Radiadores.

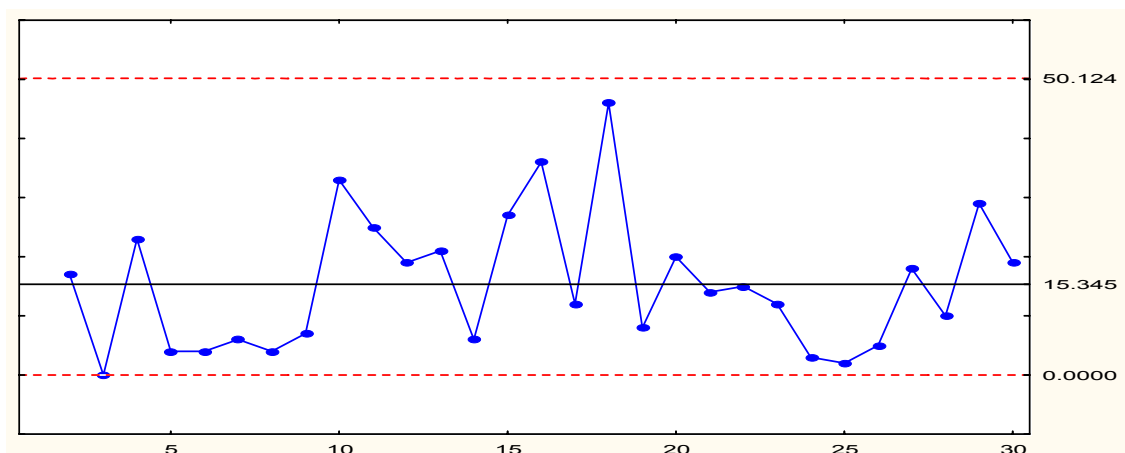


Figura 4.16: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no corpo do transformador na coleta 1

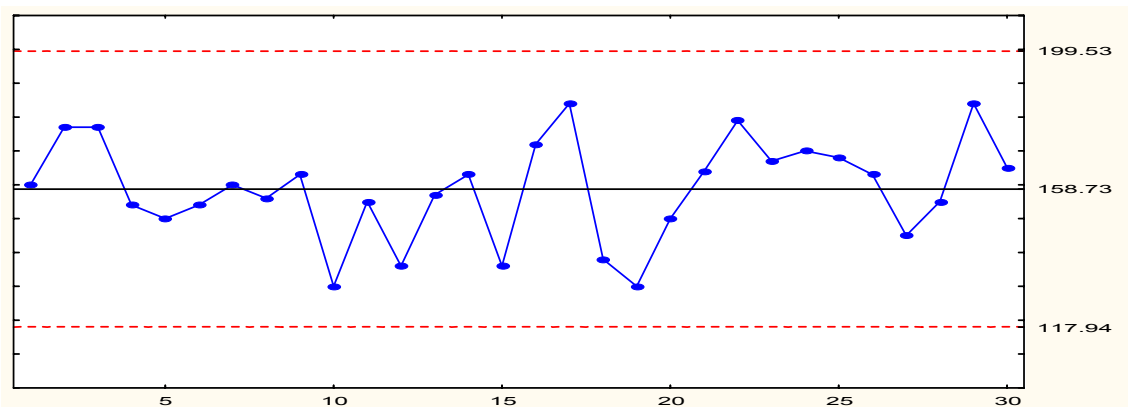


Figura 4.17: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no corpo do transformador coleta 1.

Pode se observar no Gráfico para Medidas Individuais uma periodicidade a partir da sétima amostra até a décima segunda amostra. A seguir uma nova coleta.

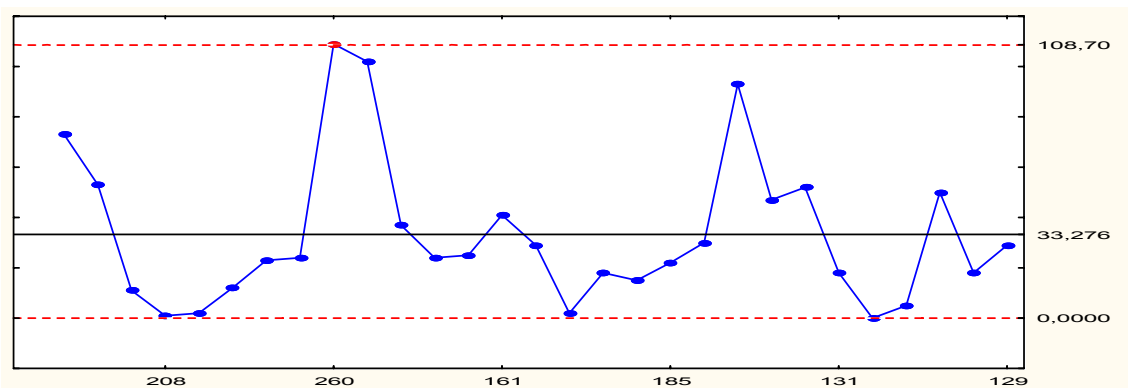


Figura 4.18: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no corpo do transformador na coleta 2.

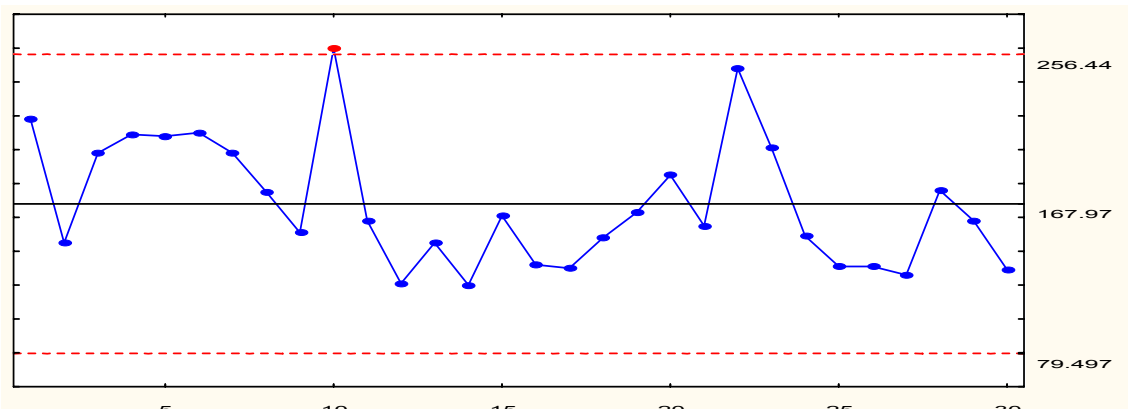


Figura 4.19: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no corpo do transformador na coleta 2.

Para o item 4.5.1 já foi feito um trabalho de avaliação das causas prováveis, servindo de base para esse aqui também. As causas encontradas não foram suficientes para controlar a variabilidade neste processo, pois se pode observar no gráfico das amplitudes, um ponto fora do LSC, confirmando pelo Gráfico para Medidas Individuais onde consta um pique extremo por excesso de variabilidade, ainda mais de oito pontos consecutivos abaixo de LC (da 11ª amostra à 18ª) reforçando assim ainda a possibilidade da instabilidade do processo como citado no item 2.9.1.

Os dados da outra coleta estão apresentados nos gráficos 4.20 e 4.21.

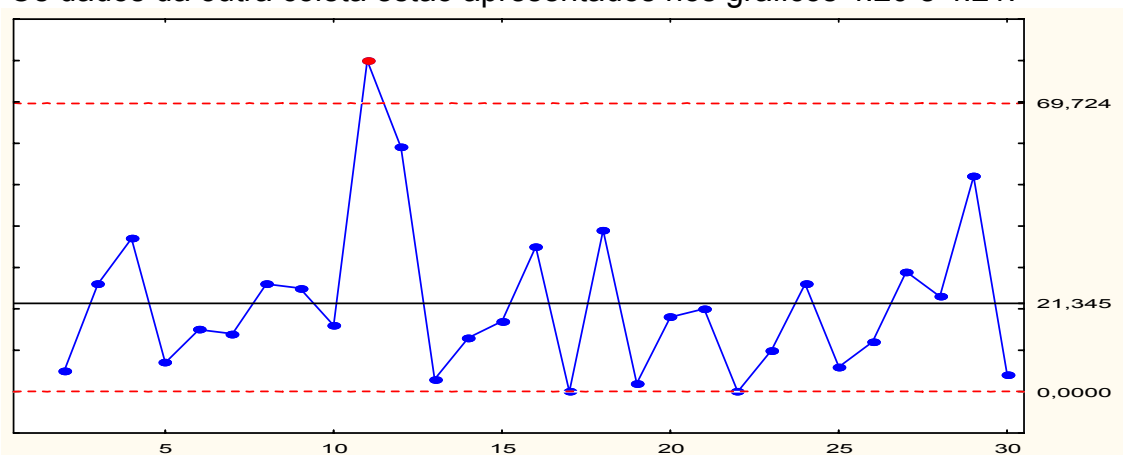


Figura 4.20: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no corpo do transformador na coleta 3

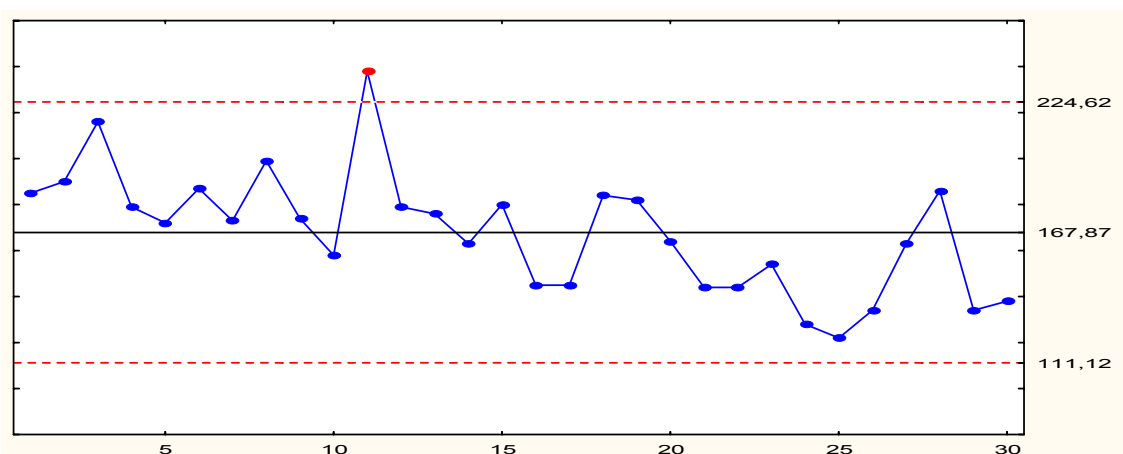


Figura 4.21: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no corpo do transformador na coleta 3.

Pode-se observar no Gráfico para Medidas Individuais logo nas primeiras

amostras, a existência de nove pontos consecutivos de um mesmo lado, mais um pico extremo, tanto no gráfico das Amplitudes como no Gráfico para Medidas Individuais mostrando um excesso de variabilidade, fazendo-se necessária a continuidade do estudo para nova investigação das causas assinaláveis.

#### 4.5.3. Espessura da Pintura na Tampa

Na tampa do Transformador totalizou-se 30 amostras, sendo que o tamanho de cada amostra era 1. Pode se observar nas Figuras 4.22 e 4.23 o comportamento inicial dos dados.

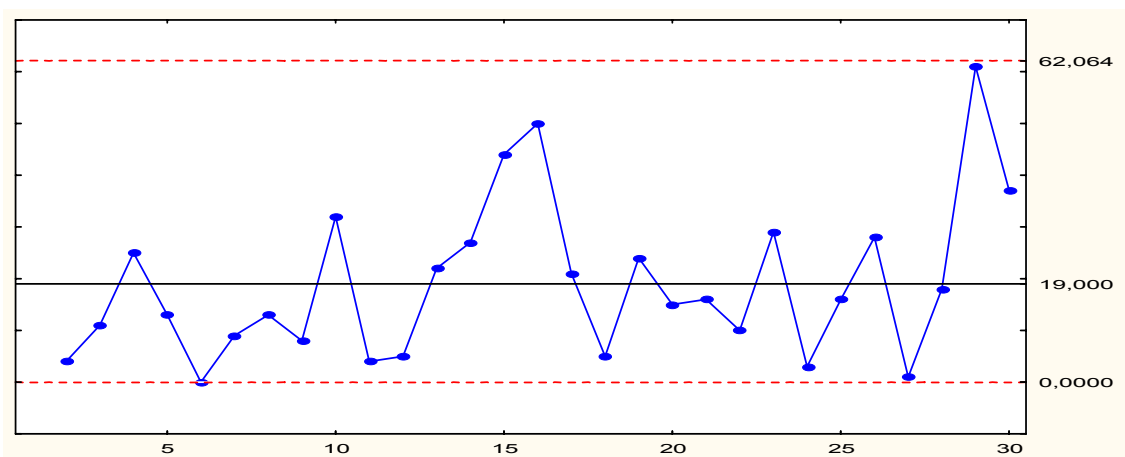


Figura 4.22: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta na tampa do transformador na coleta 1.

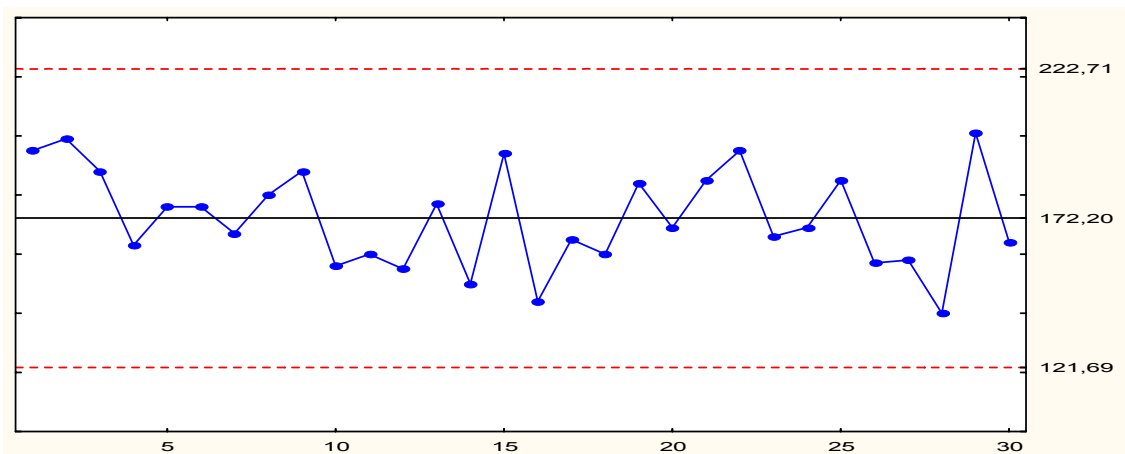


Figura 4.23: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta na tampa do transformador na coleta 1.



Além de uma certa tendência nos dados há também um ponto bem próximo do limite superior no gráfico da amplitude mostrando possível presença de causas assinaláveis.

Ao analisar no item 4.1 os possíveis agentes causadores do comportamento tendencioso e a variabilidade através do Diagrama de Causa e Efeito, elaborado a partir das informações dos funcionários da linha de Pintura, foi montado um plano de ação não só para o radiador, mas para todas as outras partes do transformador. Em seguida houve nova coleta com os dados nas Fig 4.24 e 4.25.

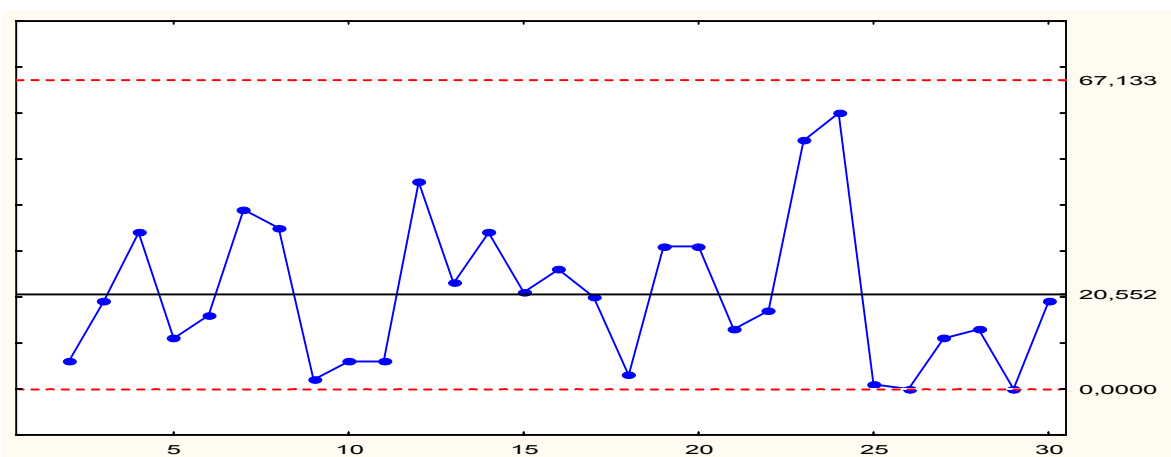


Figura 4.24: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta na tampa do transformador na coleta 2.

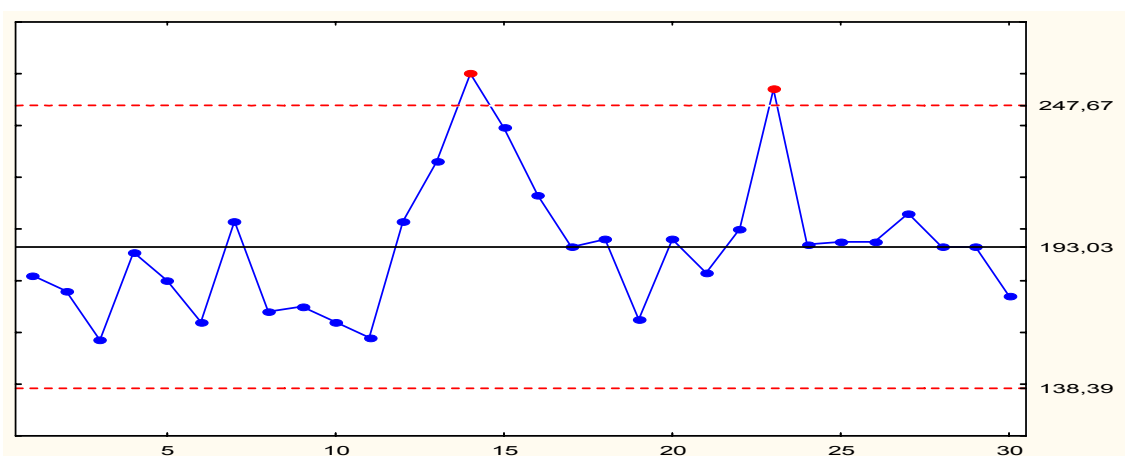


Figura 4.25: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta na tampa do transformador na coleta 2.

Apesar do estudo dos agentes causadores do comportamento atípico dos dados e o comprometimento dos funcionários a mudanças necessárias na análise da variabilidade, no Gráfico das Amplitudes observam-se 2 pontos consecutivos incidindo além das linhas de 2-sigmas sendo considerado atípico, como foi visto no item 2.9.1. A conclusão da análise do gráfico 4.24 é reforçada pelo gráfico 4.25 para Medidas Individuais com dois pontos além dos limites de controle, mostrando a possível instabilidade no processo.

Uma nova coleta está representada nas Figuras 4.26 e 4.27 abaixo.

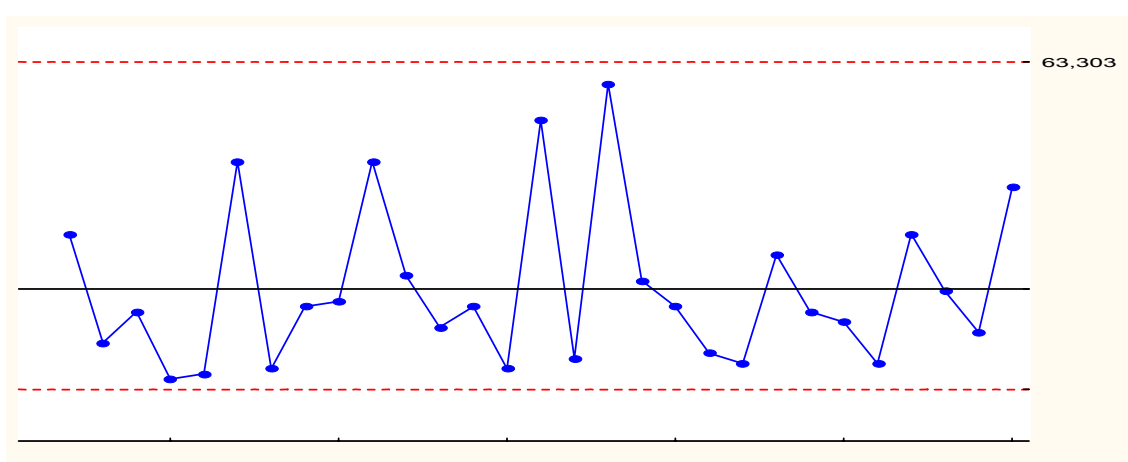


Figura 4.26: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta na tampa do transformador na coleta 3.

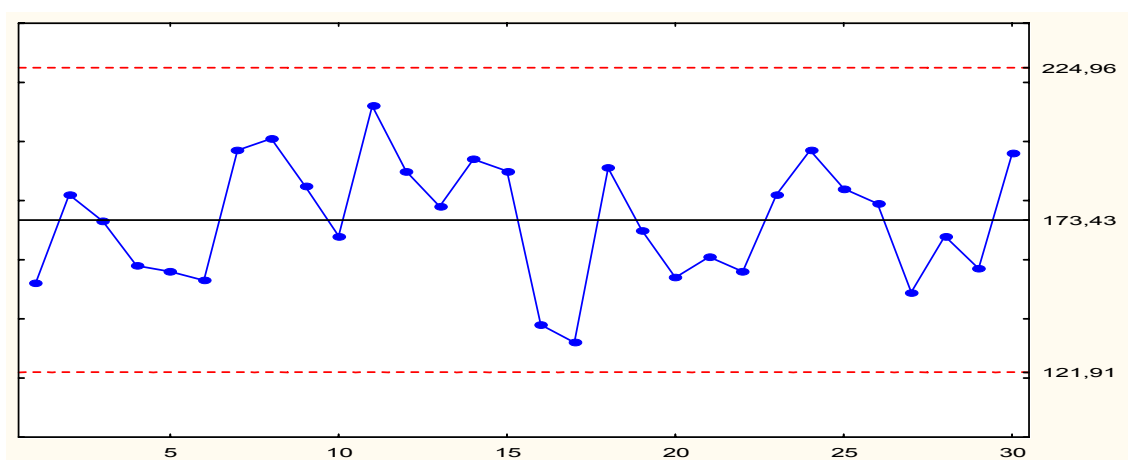


Figura 4.27: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta na tampa do transformador na coleta 3.

As melhorias aplicadas no item 4.5.1 foram suficientes para uma melhora significativa neste processo nesta terceira coleta, apesar continuar com uma variabilidade alta, sendo necessário à continuidade do estudo para uma melhoria maior.

Com base na teoria do item 2.9.1 verifica-se que o comportamento dos dados nas Figuras 4.26 e 4.27 tem um comportamento estável e conclui-se então que o processo está sob controle. Os limites obtidos podem ser utilizados na avaliação atual do controle da espessura da tinta na tampa do transformador.

Tabela 4.3 Limites de Controle dos Gráficos X e AM fixados para a variável Espessura na Tampa do Transformador.

LIMITES DE CONTROLE	GRÁFICO PARA MEDIDAS INDIVIDUAIS	GRÁFICO DAS AMPLITUDES
LCS	225	63,4
LC	173,4	19,4
LCI	121,9	0

Com o controle estatístico do processo, avalia-se a capacidade do processo, ou seja, verifica-se se o processo é capaz de atender às especificações através da análise gráfica do histograma e pelos índices de capacidade do processo.

Faz-se necessário o cálculo do índice de desempenho do processo, que corrige esta distorção.

- *Cálculo dos índices do desempenho do processo - ( $C_{pk}$ )*

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{AM}}{d} = \frac{19,4}{1,128} = 17,2$$

$$C_{p,L} = \frac{\bar{X} - LIE}{3\hat{\sigma}} = \frac{173,4 - 120}{51,6} = 1,03$$

Na especificação unilateral (LIE)  $C_{pk}$  é 1,03 e pelo item 2.10.1 pode-se observar que o processo é relativamente incapaz (pouco confiável), exigindo dos operadores controle contínuo. Pelo valor obtido para o  $C_{pk}$  apesar de ser relativamente incapaz, no ponto de vista do cliente o mesmo ainda está levando transformadores com uma espessura maior pelo mesmo valor.

- *Cálculo da Faixa de Característica do Processo “FCP”*

$$FCP = \bar{X} \pm 3\hat{\sigma} = 173,4 \pm 58,8 \mapsto 114,6 \text{ a } 232,2$$

Verifica-se que a faixa característica do processo (FCP) fica abaixo do LIE. É previsto que nesta faixa que a maioria dos valores deve estar, em torno de 99,7%. Pode-se observar que o valor mínimo da mesma se encontra abaixo do limite inferior especificado (120), e sempre que este valor é diagnosticado, se faz necessário um re-trabalho envolvendo custos adicionais (0,001%). O valor máximo desta faixa está além do previsto pela empresa (156), mostrando aqui também um desperdício de matéria prima (em aproximadamente 84,38%).

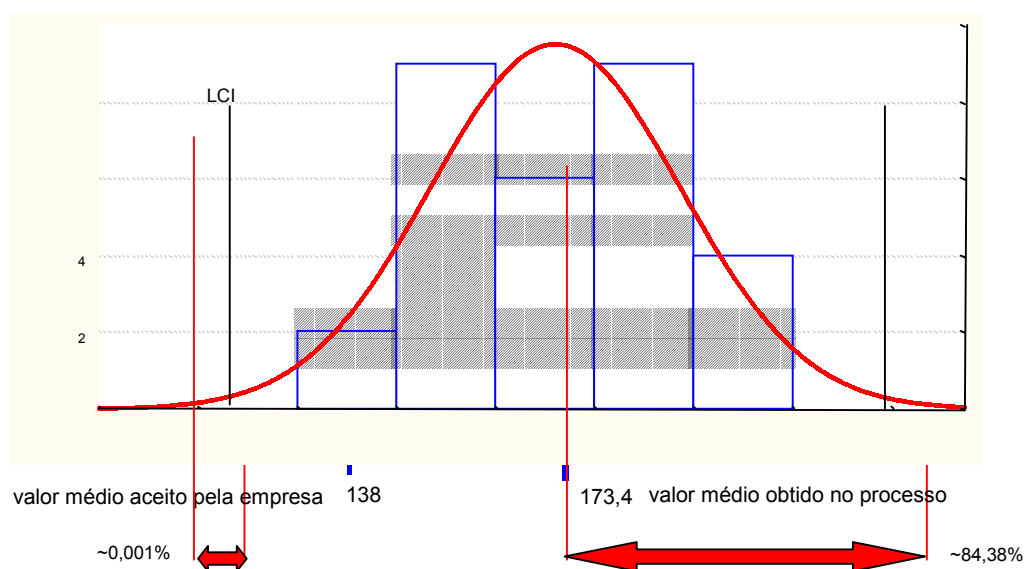


Figura 4.28 : Apresentação gráfica da perda na Pintura da tampa do transformador.

Ao se analisar o cálculo da divisão do valor médio na espessura de tinta na Tampa do Transformador com o valor médio aceito pela Empresa, verifica se uma perda na ordem de 25,7% para a Empresa.

#### 4.5.4. Espessura da Pintura no Suporte

No suporte do transformador totalizam-se 30 amostras, e o tamanho de cada amostras é um. Como feito anteriormente nas outras partes do transformador observa-se o comportamento inicial dos dados a seguir nas Figuras: 4.29 e 4.30.

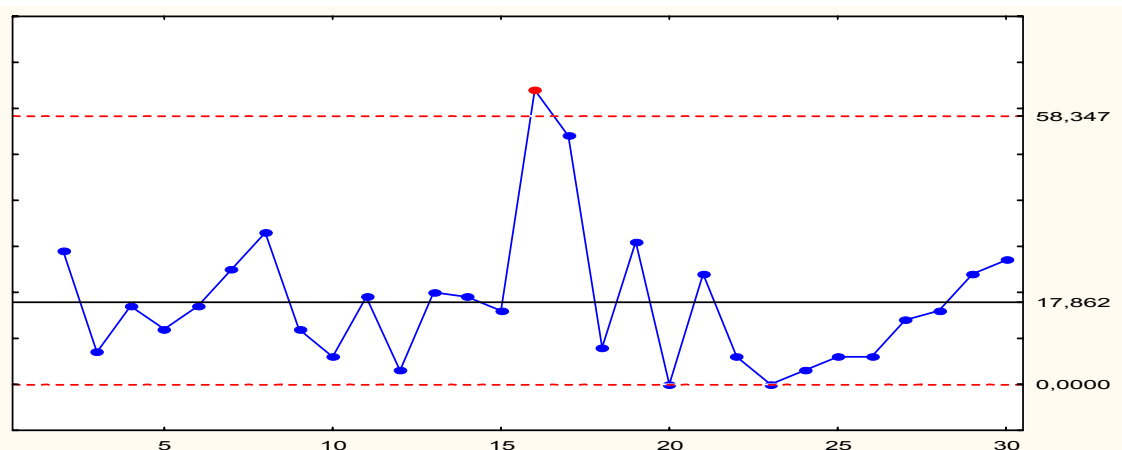


Figura 4.29: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no suporte do transformador na coleta 1.

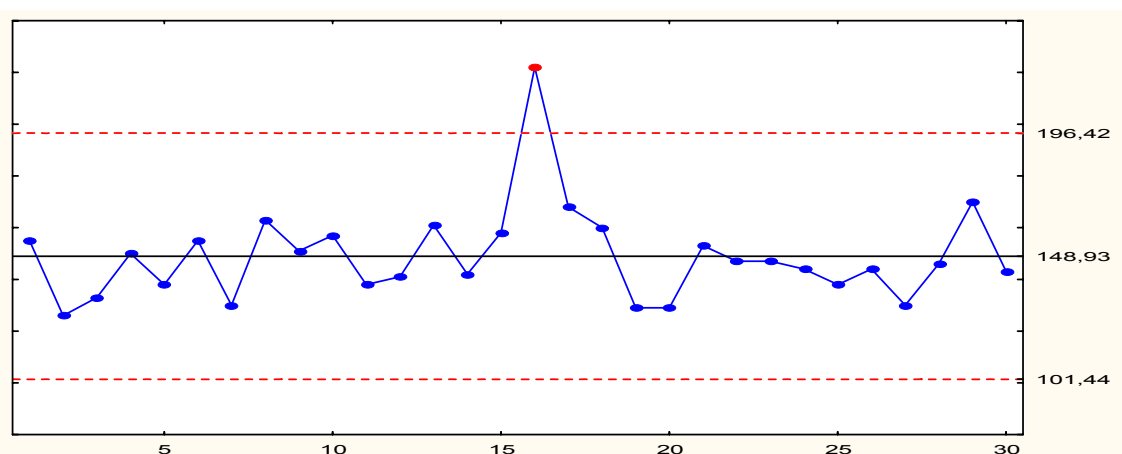


Figura 4.30: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no suporte do transformador na coleta 1.

Como é possível observar, em todas as partes do transformador se faz necessário um estudo, alguns procedimentos e mudanças com intuito de melhorar o processo.

Os dados da nova coleta estão nos gráficos 4.31 e 4.32 na próxima página.

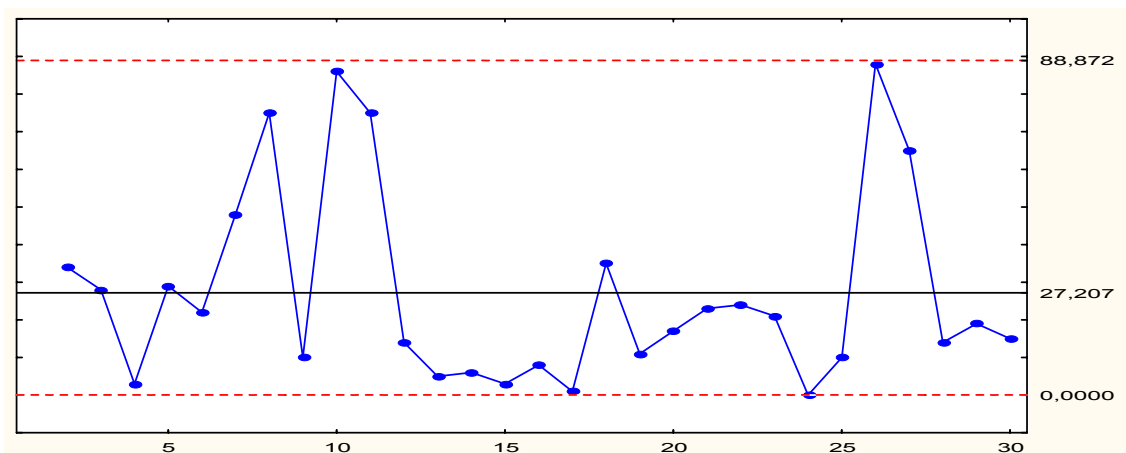


Figura 4.31: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no suporte do transformador na coleta 2.

Verifica-se no Gráfico das Amplitudes dois em três pontos consecutivos além das linhas 2-sigma indicando uma disposição não aleatória, mostrando a possibilidade do processo fora de controle como visto no item 2.9.1.

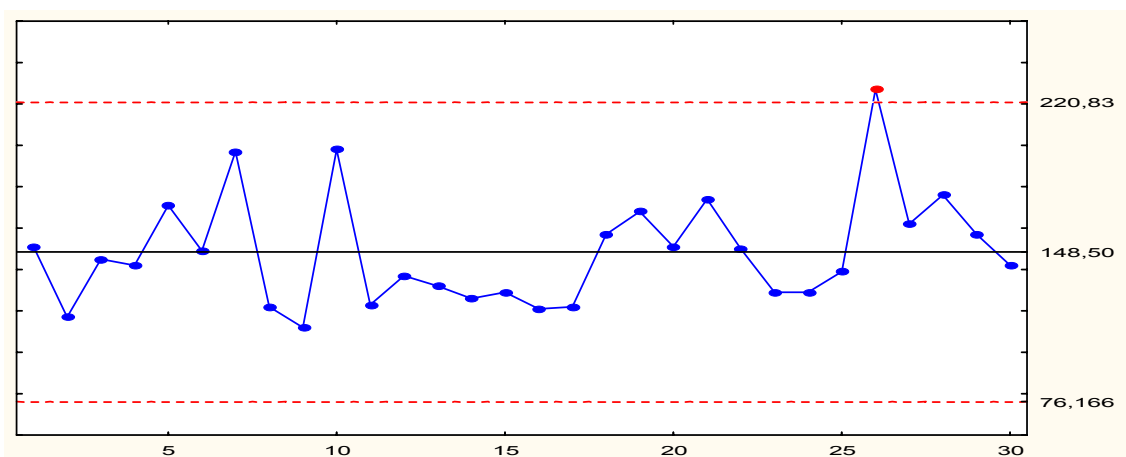


Figura 4.32: Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no suporte do transformador na coleta 2.

O Gráfico para Medidas Individuais vem reforçar a conclusão do Gráfico 4.31 ao mostrar a possível instabilidade do processo apresentando um pique extremo indicando excesso de variabilidade, ou seja, verifica-se a possibilidade da presença de causas especiais, sendo assim consideradas por estarem fora dos limites de

controle.

Os dados da nova coleta se encontram nos gráficos a seguir:

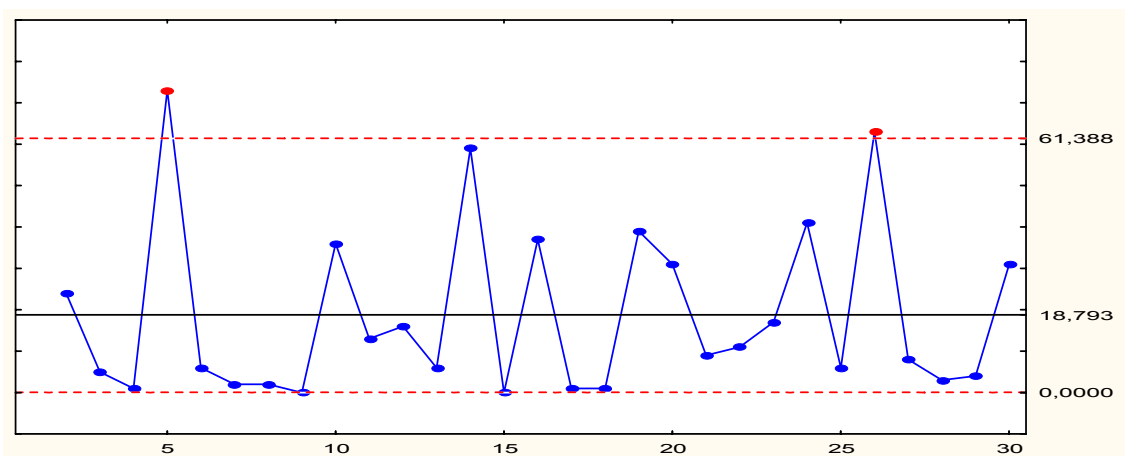


Figura 4.33: Gráfico das Amplitudes da variável espessura da tinta no suporte do transformador na coleta 3.

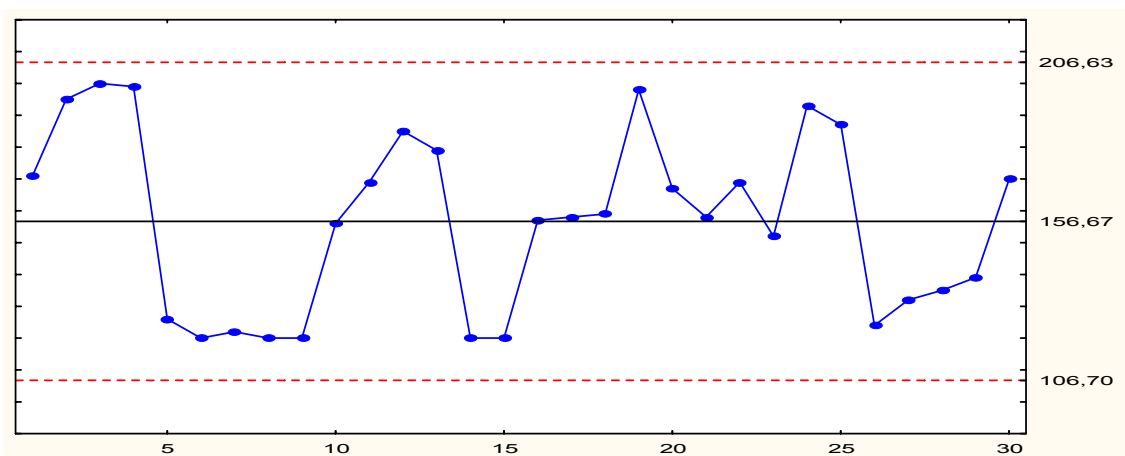


Figura 4.34 Gráfico para Medidas Individuais da variável espessura da tinta no suporte do transformador na coleta 3.

Pode-se observar a variabilidade no Gráfico das Amplitudes pelos picos extremos além da LSC e no gráfico para Medidas Individuais. É possível confirmar a variabilidade no processo ao observar mais de uma vez, dois de três pontos consecutivos incidindo além da linha de dois sigmas, considerados atípicos, verificando uma possível instabilidade no processo da pintura no suporte do transformador.

Concluindo se então que se deve fazer um trabalho específico também para este processo.

#### **4.6. Conclusões no Processo de Pintura**

Este trabalho foi desenvolvido com a utilização das técnicas estatísticas, e realizou o que autores sugerem, de não se restringir apenas à teoria ou ficar na Gerência, mas se estender ao chão de fábrica, possibilitando aos funcionários envolvidos no processo, tirar as suas próprias conclusões, avaliar de que modo poderão evoluir, e com isso contribuir decisivamente para a aplicação das ferramentas estatísticas que requerem um aprendizado contínuo (CAMPOS F, 1992) e (JURAN, 1993).

A visualização gráfica da espessura da tinta na fase do acabamento facilita a análise pelos funcionários envolvidos no processo, permitindo uma visão mais ampla de todo o funcionamento da linha e um envolvimento responsável em todas as questões inerentes à linha que exige uma Metodologia. Para o grau de instrução dos funcionários as ferramentas do CEP são de difícil utilização, porém devido à visualização gráfica facilita a identificação do problema.

Embasado nos critérios do referencial teórico do capítulo 2, selecionou-se os Gráficos de Controle X e AM, para a variável espessura. A avaliação da capacidade do processo acabou se restringindo ao radiador e da tampa do transformador, tendo em vista que apenas nessas duas partes foi possível obter o controle estatístico.

No que tange à pintura do radiador, apesar de ter sido possível estabilizar o processo deixando-o sob controle, não foi suficiente, pois, através do cálculo dos índices, verificou-se que o processo na visão da empresa é incapaz, necessitando um estudo maior para melhorá-lo.

Quanto à pintura da tampa, o tratamento das causas especiais também surtiu efeito, pois aí também foi possível estabilizar o processo, pelo controle estatístico, constatando-se, porém que o processo é relativamente incapaz, sendo necessário um controle contínuo por parte dos operadores.

Com relação à pintura no corpo e no suporte do transformador, apesar de ter havido uma melhora nesses processos, tanto o estudo como o empenho dos funcionários não foi suficiente para a estabilização do processo, permanecendo tais partes fora de controle, exigindo novas investigações das causas assinaláveis, talvez



envolvendo mais técnica no desempenho.

Assim e ainda que não seja possível atribuir o peso da tinta no custo final do transformador (excluídos os custos inerentes à fabricação do transformador) mas restringindo-se à fase que foi objeto deste trabalho – *aplicação da pintura*, e deduzindo ainda, os custos indiretos, tais como mão de obra, etc, considerando tão somente a matéria prima direta (tinta e solvente), os resultados obtidos nas espessuras médias das tintas aplicadas no radiador e na tampa, já espelham perdas consideráveis – na ordem de 21% para o radiador e de 25,7% para a tampa, acima da média tolerável pela empresa – entre  $120\mu\text{m}$  e  $150\mu\text{m}$ . Estas perdas (resultantes da fração da média das espessuras aferidas e da média tolerável da empresa) por si só constituem números de grandeza elevada, e que atreladas ao impacto da dolarização da matéria prima na confecção das tintas, permite-se afirmar, serem de extrema relevância.

E por fim, ao interpretar e analisar os gráficos aqui utilizados, cuja construção foi embasada nos dados coletados, foi possível visualizar algumas falhas no processo produtivo, necessitando uma maior atenção e controle nas atividades diárias, que apesar de não se constituírem em grandes falhas, mas são representativas para todo o processo, podendo ser solucionadas com uma boa orientação, mudanças comportamentais e até mesmo a supervisão de um Inspetor de Pintura Industrial.

Esta Empresa deve avaliar o processo de produção da pintura, baseando se nas técnicas aqui utilizadas, podendo com isso diminuir as variabilidades decorrentes das causas especiais, e com isso ter uma significativa redução nos custos do material utilizado na produção, aumentando assim os seus lucros.

#### **4.7. Sugestões para a Empresa**

Nesta dissertação, analisou-se apenas, a pintura em duas camadas, com espessura definida através de especificação. No instante em que a aplicação e implantação nesse processo mostrem ganho, sugere-se a implantação do CEP para todos os tipos de pintura como tais como pintura a zinco e a pó, e também em tanques aonde o cliente vier a especificar outra espessura de tinta.

Seria interessante por parte da empresa avaliar variáveis tais como pintor e turno, através de uma estratificação dos dados coletados, já que as mesmas aparentemente parecem ter relação forte com a variabilidade dos processos.

Com base nos dados obtidos será conveniente efetuar-se uma avaliação exata das perdas, em termos econômicos, para que possa avaliar no futuro um investimento nessa área, seja para treinamento do pessoal, seja na aquisição de novos e modernos equipamentos/instrumentos medidores.

O treinamento e a capacitação do pessoal se faz necessária, principalmente para os jatis (função que exercem os responsáveis pelo procedimento de limpeza dos elementos a serem pintados), para os pintores, bem como de supervisores ou encarregados de campo. Este treinamento deve ser tanto teórico quanto prático e envolver aspectos de motivação e conscientização para a importância da qualidade.

Enfatiza-se para que seja destacado um elemento a ser capacitado na função de Inspetor de Pintura Industrial, para uma supervisão e inspeção permanente no processo de pintura industrial. Como sugestão informamos já existem empresas que detêm sistemas de qualificação deste tipo de profissionais. Entre estas existe a Petrobrás, que possui a Norma N-2004- Qualificação de Inspetores de Pintura, e que estabelece as regras para a qualificação centralizada desses profissionais.

Como recomendação ainda e face às dificuldades elencadas no item 5.1 – Limitações do Trabalho, quanto à correção de defeitos, deve-se nortear uma preocupação de aplicação, sem defeitos, transferindo-se parcialmente a responsabilidade do controle da qualidade por conta do aplicador, o qual deve mediante os modelos propostos, assegurar-se que a aplicação esteja sendo feita em conformidade com os requisitos solicitados. E para que o controle de qualidade seja ainda confiável, com a utilização de instrumentos, estes deverão ser aferidos/calibrados periodicamente, sendo necessário um procedimento de aferição com padrão de referência. Será necessário ainda avaliar a eventual presença de substâncias contaminantes que possam prejudicar a adesão de esquema de pintura e com isso permitir ainda identificar eventuais defeitos superficiais tais como: respingos de solda, graxas, entre outros, que às vezes se faz necessária a remoção.

#### **4.8. Considerações Finais**

Sugere-se que seja feito o CEP para todos os tipos de pintura tais como a zinco e a pó, e também em tanques aonde o cliente vier a especificar outra espessura de tinta.

Verificar, se a Metodologia proposta é aplicável em outras áreas da Empresa.

Como foi visto no item 4.5 do presente trabalho, segue a suposição da função da distribuição normal simplificando muito a aplicação nesta Empresa onde os funcionários não têm um conhecimento do CEP, no entanto é conhecido que outros tipos de gráficos são melhores que os Gráficos X e AM para sinalizar pequenos deslocamentos de forma mais rápida como o Cusum, Ewma.

Como pode se verificar o comportamento dos dados através dos Gráficos de Normalidade, os mesmos não estavam tão bem representados, seria interessante então verificar a necessidade de se refazer este trabalho com outras distribuições de probabilidade.

## **5. CONCLUSÃO**

Ao apresentar uma visão geral de qualidade e também a utilização do CEP como ferramenta de análise através dos gráficos de controle e índices, teve-se o propósito na busca da melhoria contínua da qualidade, de um melhor acompanhamento do desempenho desse processo, através da visualização gráfica do comportamento da espessura da tinta ao longo do tempo, pois o CEP é muito poderoso não só para controlar o processo que está sob controle, mas também daquele que continua sob avaliação, sendo o mesmo indispensável para todas as empresas que visam o melhoramento dos seus processos produtivos reduzindo assim o custo de seu produto.

Apesar da variabilidade continuar ainda alta ao se analisar a proposta da Metodologia aplicada, pode-se observar uma melhora significativa no processo em algumas partes do transformador, onde com a aplicação da mesma pode-se identificar através do diagrama de causa e efeito o que estava afetando o processo e permitindo conhecer melhor a linha da pintura dos tanques e com isso facilitando a análise dos resultados e soluções em alguns problemas, confirmando que a mesma foi adequada facilitando assim sua aplicação.

Ao se analisar os gráficos de controle com base nos dados coletados foi possível executar várias ações de melhorias no processo, ações essas que foram sendo colocadas em prática durante a implantação.

Não se pode perder de vista que a aplicação das técnicas estatísticas necessita de aprendizado contínuo. O conhecimento do processo juntamente com o esforço de implantação possibilita a obtenção de resultados, contribuindo para o sucesso do projeto.

### **5.1. Limitação do Trabalho**

Ainda que as ferramentas estatísticas sejam antigas, a aplicação destas no Brasil, pode-se considerar recente (como já citado, em torno dos anos 90) e, portanto há relativamente pouco tempo, que as empresas vêm utilizando. Em diversas ocasiões, ainda que tenham ciência de sua existência, somente as utilizam quando pressionadas ou até mesmo defrontadas com a obrigação de fazer uso das

mesmas, em razão do aparecimento de ISO 9000-2000 em seus clientes, os quais estabelecem suas exigências e/ou especificações.

No âmbito do “chão de fábrica” o controle da qualidade tradicional, com ênfase em inspeção no produto final, é muito freqüente, mas não é indicado em se tratando de tintas, pois a identificação de defeitos após a sua aplicação, além da impossibilidade do reparo para restaurar as propriedades originais, acarreta ainda em paralisação dos serviços, na perda de tempo, gastos adicionais com tintas, mão-de-obra e eventuais perdas do lucro cessante. Tal situação explicaria em parte, o que impele a empresa a aceitar ou admitir as margens de consumo hoje acima dos 30% convencionados, uma vez que não dispunha de dados, relativos às perdas atingidas. Frise-se, que o reparo em um esquema de pintura por melhor que seja, não lhe repõe as propriedades do esquema originalmente aplicado. Esse fator citado acima levou a limitação desse trabalho.

## REFERÊNCIAS

BAPTISTA, Nilson. **Introdução ao estudo de controle estatístico de processo, CEP**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996.

CAMORIM, Paulo C. L. **Apostila de pintura industrial**. São Paulo: ABRACO, 1978.

CAMPOS Humberto. **Estatística experimental não paramétrica**. 4. ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da USP, 1983.

CAMPOS, V. Falconi. **Controle de qualidade total**. Rio de Janeiro: Block, 1992.

CHAMP, C. W.; WOODALL W. H. **Exact results for shewart control charts with supplementary runs rules**. *Tecchnometcs*, 29, 1987.

CONOVER, J. W. **Practical nonparametric statistics**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley & sons, 1980.

CONTROL CHARTS. North Carolina Department of Transportation, Productivity Managemant Section. Disponível em: <<http://www.ncdot.org/financial/productivity/CPI/CPIToolbox/CONTROL.pdf>>. Acesso: 30 jan. 2003.

CONTROL CHART PROPERTIES. Qualityamerica.com. Disponível em: <[http://www.qualityamerica.com/knowledgecente/knowctrControl\\_Chart\\_Properties.htm](http://www.qualityamerica.com/knowledgecente/knowctrControl_Chart_Properties.htm)>. Acesso: em 29 jan. 2003.

CROSBY, Philip B. **Qualidade é investimento**. Rio de Janeiro: J. Olimpio, 1979.

DANIEL, W. W. **Bioestatistics A Foundation for Analysis in the Health Sciences**. New York:John Wiley, 1995.

DAVIS, M. M.; AQUILO N. J.; CHASE R. B. **Fundamentos da administração da produção**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DELLARETTI FILHO O; DRUMONT, F.B. **Itens de controle e avaliação de**

**processos**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1994.

DEMING, W. Edwards. **Economia para a indústria, o governo e a educação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

DEMING W. Edwards. **Qualidade**: a revolução da administração. Rio de Janeiro: Saraiva , 1990.

DISTRIBUTION. Qualityamerica.com. Disponível em:  
<<http://www.qualityamerica.com/knowledgecente/knowctrdistributions.htm>>. Acesso:  
em 30 jan. 2003.

FREEDAN, D.; PISANI, R.; PURVES R. **Statistics**. 4<sup>th</sup>. ed. New York: Norton & Company, 1997.

FEIGENBAUM, Armand V. **Total quality control**: engineering and managemant. New York: MacGraw Hill, 1986.

GOGUE, M. Jean. Improving the art of decision making, dez. 1998. Disponível em:  
<<http://www.fr-deming.org/afed-A1.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2003.

GUEDES, A. Terezinha. Introdução ao controle estatístico da qualidade. In: JORNANDA REGIONAL DE ESTATÍSTICA DE MARINGÁ, 1., 1997, Maringá. **Anais...** Maringá: EDUEM , 1997.

ISHIKAWA, Kaoru. **Controle de qualidade total (à maneira japonesa)**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1993.

JOHN, W. M. Peter. **Statistical methods in engineering and quality assurance**. New York: John Wiley & Sons, 1990.

JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. **Controle da qualidade**. 4. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil , 1993. V. 6. E V.7.

JURAN, J. M. **Juran na liderança pela qualidade**. 3. ed. São Paulo: Pioneira, 1995.

JURAN, J. M. **Juran planejamento para a qualidade**. São Paulo: Pioneira, 1990.  
KELLER, A. Paul. The relationship between process capability studies and process

control limits. **QUALITYAMERICA.COM**, set. 2001. Disponível em: <<http://www.qualityamerica.com/knowledgecente/articles/PAKProCap1.htm>>. Acesso em: 23 jan. 2003.

KLEIN, Morton. Two Alternatives to the Shewhart X Control Chart. **Journal of Quality Technology**, New York, Oct. 2000. Disponível em: [http://www.asq.org/pub/jqt/past/vol32\\_issue4/qtec-427.pdf](http://www.asq.org/pub/jqt/past/vol32_issue4/qtec-427.pdf). Acesso em: 13 jan. 2003.

KUMI, Hitoshi. **Métodos estatísticos para a melhoria da qualidade**. São Paulo: Gente, 1993.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. 3<sup>rd</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.

NELSON, Lloyd S. Control charts: rational subgroups and effective applications, **Journal of Quality Technology**, New York, v. 20, no. 1, Jan. 1988. Disponível em: <[http://www.qualityamerica.com/knowledgcente/knowctrRational\\_Subgroups.htm](http://www.qualityamerica.com/knowledgcente/knowctrRational_Subgroups.htm)>. Acesso em: 29 jan. 2003.

NUNES, L.P.; LOBO, C. A. **Pintura industrial**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1990.

NUNES, Ney V. **Pintura industrial**. Rio de Janeiro, 1976. Apostila da ABRACO.

NUNES, Laerce P; EVANGELISTA, Issac N. M. Abordagem sistemática da pintura industrial. In: SEMINARIO NACIONAL DE CORROSÃO, 11. 1984 Rio de Janeiro. **Anais....** Rio de Janeiro: ABRACO, 1984.

PALADINI, E. Pacheco. **Controle de qualidade**: uma abordagem abrangente. São Paulo: Atlas 1990.

PALADINI, E. Pacheco. **Gestão da qualidade**: teoria e prática. São Paulo: Atlas 1999.

PALADINI, E. Pacheco. **Qualidade total na prática**: implantação e avaliação de sistemas da qualidade total. São Paulo: Atlas, 1997.

PARANTHAMAN, D. **Controle da qualidade**. Technical teacher's training institute, Madras. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.



PYZDEK, Thomas. Control Charts interpretation. In: \_\_\_\_\_. **The complete Guide to the CQE**. [S. l.]: Quality Publishing, 1996. Disponível em: <<http://www.qualityamerica.com/knowledgecente/articles/CQEIVH3d.html>>. Acesso em: 29 jan. 2003.

RAWLINGS, O. John. **Applied regression analysis a research tool**. California: Wadsworth&Brooks, 1988.

SAMOHYL, W. Robert. **Controle estatístico do processo**. Florianópolis. Notas de aula, UFSC, 2001.

SAMOHYL, R. W., ROMAO, V. C. Procedimentos de detecção e Eliminação de Erros Grosseiros (blunders, outliers) e Não-Normalidade no Ajustamento de Redes GPS In: IO2002-10º Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional, 2002, Portugal.

SHAPIRO-WILK TEST. NIST/SEMATECH e Handbook of Statistical Methods. Disponível em: < <http://www.itl.nist.gov/div898/hanbook/prc/section2/prc213.htm>>. Acesso em: 30 jan. 2003.

SIEGEL, Sidney. **Estatística não paramétrica**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1981.

SOARES, M. V. P. P. Gonçalo. **Aplicação do controle estatístico de processo em indústria de bebidas**: um estudo de caso 2001. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SOMMER, Willy A. Apostila: **Avaliação da qualidade**. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis: UFSC, 2000.

SOONG, T.T. **Modelos probabilísticos em engenharia e ciências**. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S.<sup>a</sup>, 1986

STATSOFT **Statistics 6.0**:statsoft, Inc, 1984-2002,Tulsa-USA Local. Disponível em: <http://www.statsoft.com>. Acesso em 30 jan.2003

SUTHERLAND, W. J. Quality Engineering. Michigan Technological University. Michigan, no.14, Sept. 2002. Disponível em: <<http://www.me.mtu.edu/~jwsuth/qual2002/lect14.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2003.

TAMPERING. Qualityamerica.com. Disponível em:  
<<http://www.qualityamerica.com/knowledgecente/knowctrTampering.htm>>. Acesso em: 28 jan. 2003.

TRANSFORMATION. Disponível em:  
<<http://www.math.umbc.edu/~arghya/datatran.html>>.

TOLEDO, José C. **Qualidade industrial**: conceitos, sistemas e estratégias. São Paulo: Atlas, 1987.

VIEIRA, Sonia. **Estatística para a qualidade** Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1999.

WERKEMA, Maria Cristina. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento do processo**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.



## APÊNDICE B – Dados coletados.

### RADIADOR

1ªColeta	2ªColeta	3ªColeta
161	222	170
130	137	185
150	194	133
190	218	182
155	188	215
160	209	164
147	186	164
158	158	166
150	154	183
147	125	161
163	121	155
173	151	165
148	165	168
155	130	161
170	164	132
160	180	168
177	200	167
166	160	190
150	127	182
168	122	137
162	122	170
180	121	179
208	164	171
160	137	172
154	144	193
160	157	137
135	157	169
97	165	176
	215	139
		153

**CORPO**

1ªColeta	2ªColeta	3ªColeta
160	218	185
177	145	190
177	198	216
154	209	179
150	208	172
154	210	187
160	198	173
156	175	199
163	151	174
130	260	158
155	158	238
136	121	179
157	145	176
163	120	163
136	161	180
172	132	145
184	130	145
138	148	184
130	163	182
150	185	164
164	155	144
179	248	144
167	201	154
170	149	128
168	131	122
163	131	134
145	126	163
155	176	186
84	158	134
165	129	138

**TAMPA**

1ªColeta	2ªColeta	3ªColeta
195	182	152
199	176	182
188	157	173
163	191	158
176	180	156
176	164	153
167	203	197
180	168	201
188	170	185
156	164	168
160	158	212
155	203	190
177	226	178
150	260	194
194	239	190
144	213	138
165	193	132
160	196	191
184	165	170
169	196	154
185	183	161
195	200	156
166	254	182
169	194	197
185	195	184
157	195	179
158	206	149
140	193	168
201	193	157
164	174	196

**SUPORTE**

1ªColeta	2ªColeta	3ªColeta
152	151	171
182	117	195
173	145	200
158	142	199
156	171	126
153	149	120
197	197	122
201	122	120
185	112	120
168	198	156
212	123	169
190	137	185
178	132	179
194	126	120
190	129	120
138	121	157
132	122	158
191	157	159
170	168	198
154	151	167
161	174	158
156	150	169
182	129	152
197	129	193
184	139	187
179	227	124
149	162	132
168	176	135
157	157	139
196	142	170

## APÊNDICE C - Verificando a Normalidade dos dados em todas as partes do Transformador.

### RADIADOR

1ª Coleta

K-S  $d=,17581$ ,  $p> .20$

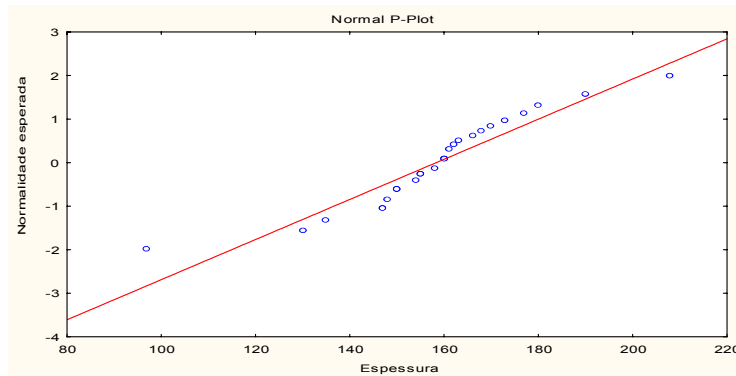


Figura R1: Gráfico Normal de probabilidade na 1ª coleta no Radiador.

2ª Coleta

K-S  $d=,14958$ ,  $p> .20$ ; Lilliefors  $p<,10$   
Shapiro-Wilk  $W=,93009$ ,  $p=,05530$

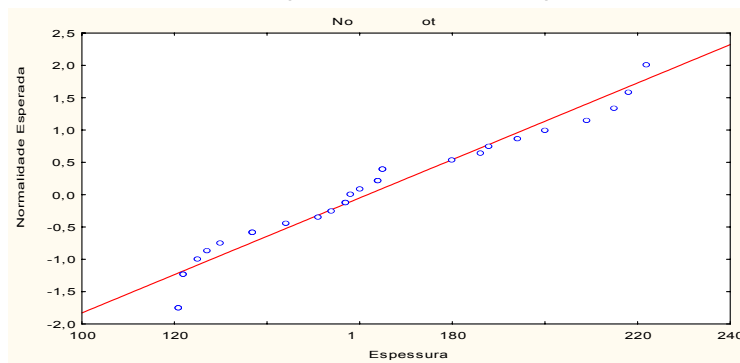


Figura R2: Gráfico Normal de probabilidade na 2ª coleta no Radiador.

3ª Coleta

K-S  $d=,14358$ ,  $p> .20$ ; Lilliefors  $p<,15$   
Shapiro-Wilk  $W=,93312$ ,  $p=,07393$

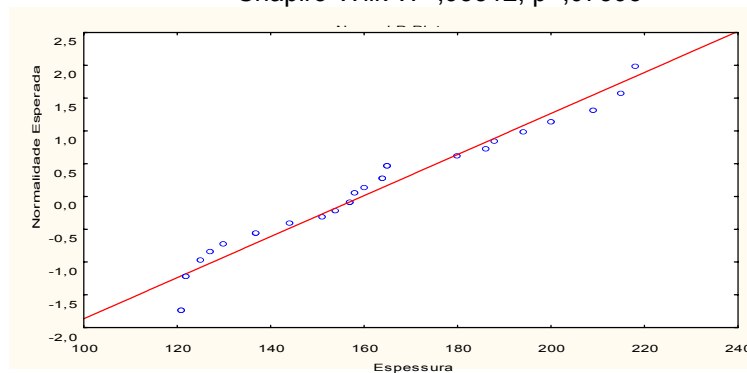


Figura R4: Gráfico Normal de probabilidade na 3ª coleta no Radiador.

## CORPO

1ª Coleta

K-S d=,10905, p> .20; Lilliefors p> .20

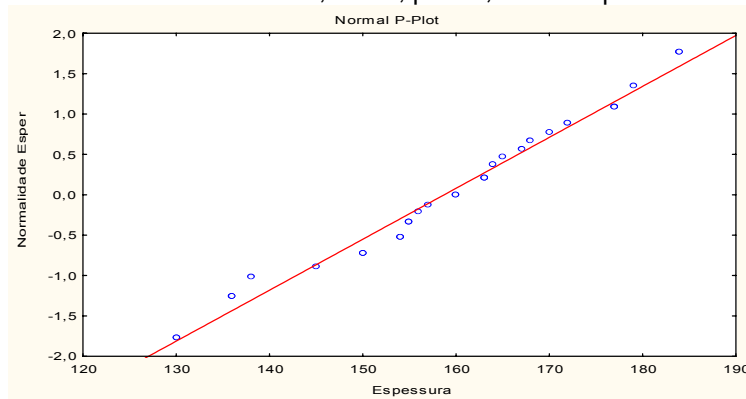


Figura C1: Gráfico Normal de probabilidade na 1ª coleta no Corpo.

2ª Coleta

K-S d=,15221, p> .20; Lilliefors p<,10

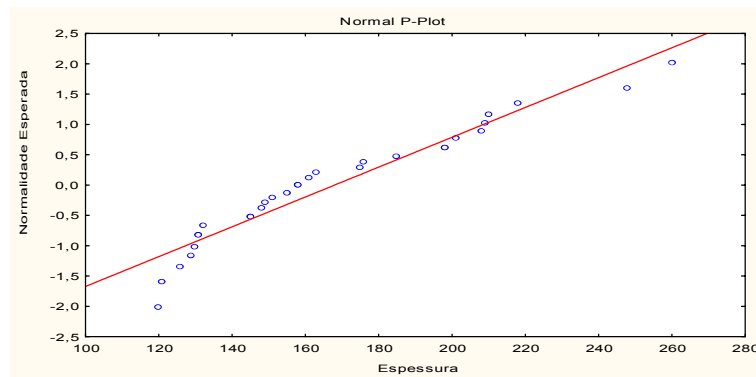


Figura C2: Gráfico Normal de probabilidade na 2ª coleta no Corpo.

3ª Coleta

K-S d=,10745, p> .20; Lilliefors p> .20

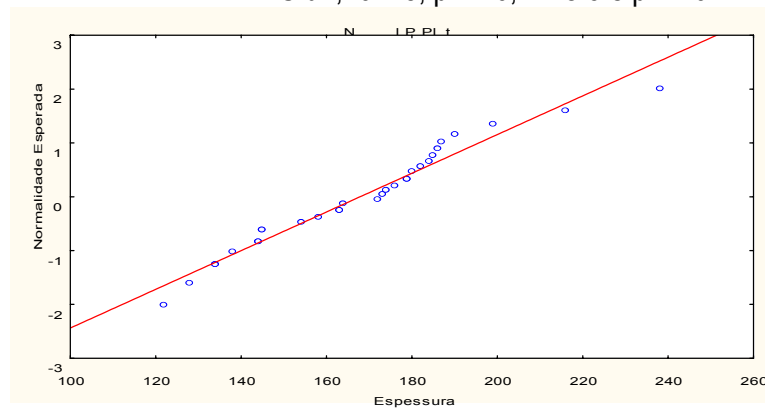


Figura C3: Gráfico Normal de probabilidade na 3ª coleta no Corpo.



## TAMPA

1ª Coleta

K-S  $d=,10951$ ,  $p> .20$ ; Lilliefors  $p> .20$   
Shapiro-Wilk  $W=,96911$ ,  $p=,51517$

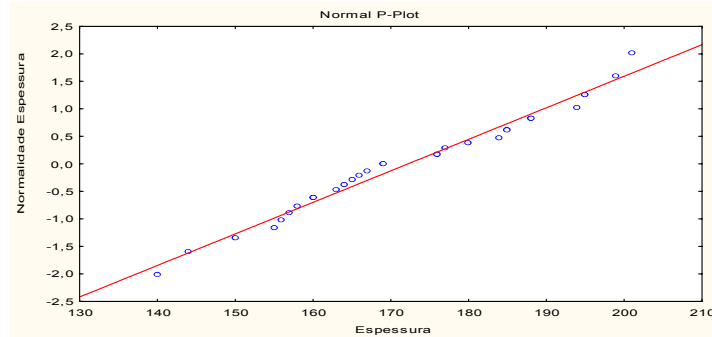


Figura T1: Gráfico Normal de probabilidade na 1ª coleta na Tampa.

2ª Coleta

K-S  $d=,15439$ ,  $p> .20$ ; Lilliefors  $p<,10$

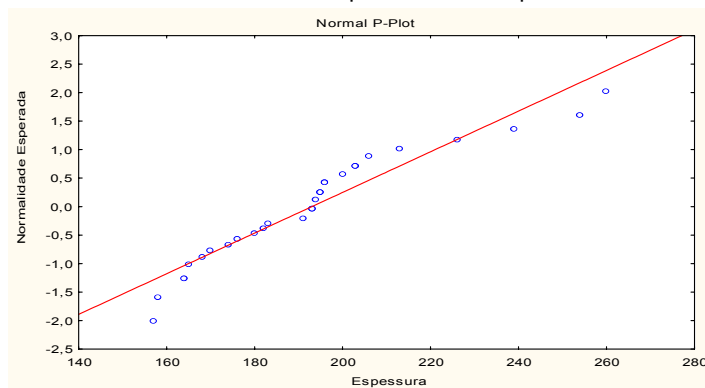


Figura T2: Gráfico Normal de probabilidade na 2ª coleta na Tampa.

3ª Coleta

K-S  $d=,11164$ ,  $p> .20$ ; Lilliefors  $p>$   
Shapiro-Wilk  $W=,97095$ ,

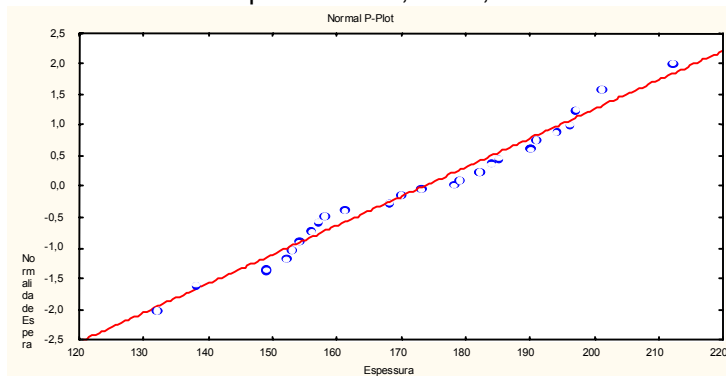


Figura T3: Gráfico Normal de probabilidade na 3ª coleta na Tampa.

## SUPORTE

1ª Coleta

K-S  $d=,12154$ ,  $p> .20$ ; Lilliefors  $p> .20$

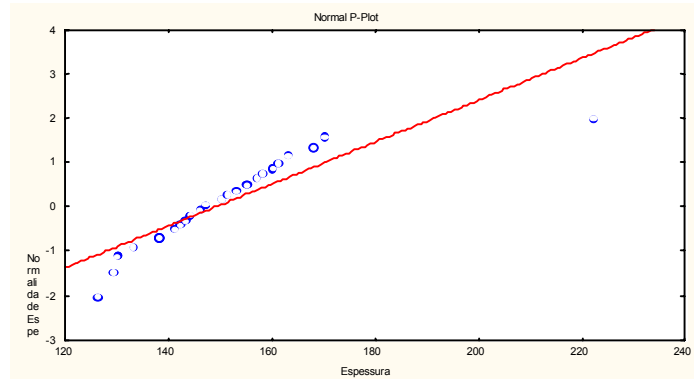


Figura S1: Gráfico Normal de Probabilidade na 1ª Coleta no Suporte.

2ª Coleta

K-S  $d=,12963$ ,  $p> .20$ ; Lilliefors  $p> .20$

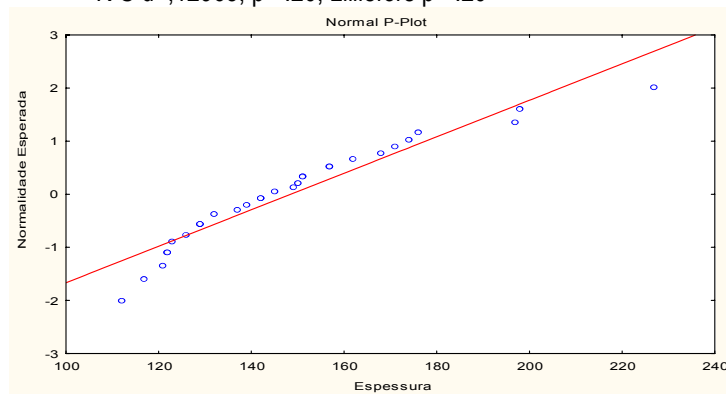


Figura S2: Gráfico Normal de Probabilidade na 2ª Coleta no Suporte.

3ª Coleta

K-S  $d=,13102$ ,  $p> .20$ ; Lilliefors

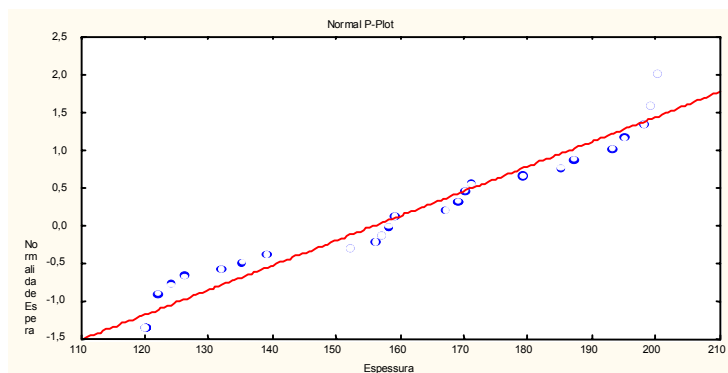


Figura S3: Gráfico Normal de Probabilidade na 3ª Coleta no Suporte.