

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UM ESTUDO DO CONTROLE DA QUALIDADE E
CAPABILIDADE DO PROCESSO DE FIAÇÃO
NUMA INDÚSTRIA TÊXTIL

Volume 1

Roberta Araujo Resende

DEDALUS - Acervo - EESC



31100008661



Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti

São Carlos
2000

Class	TESE-EESC
Citt.	F 4823
	V.1
Tombo	0105/00

31100008661

1084125

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

R433e Resende, Roberta Araujo
Um estudo do controle da qualidade e capacidade
do processo de fiação numa indústria têxtil / Roberta
Araujo Resende. -- São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.

Área: Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cesar Ribeiro
Carpinetti.

1. Controle da qualidade. 2. Controle do processo.
3. Capacidade. 4. Fiação. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Engenheira **ROBERTA ARAUJO RESENDE**

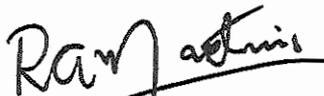
Dissertação defendida e aprovada em 14-02-2000
pela Comissão Julgadora:



Prof. Doutor **LUIZ CÉSAR RIBEIRO CARPINETTI** (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



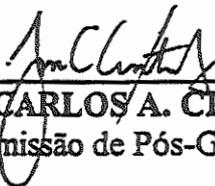
Prof. Doutor **ALFREDO COLENCI JUNIOR**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **ROBERTO ANTONIO MARTINS**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)



Prof. Associado **RENATO VAIRO BELHOT**
Coordenador da Área de Engenharia de Produção



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

**Dedico
aos meus pais, Marino e Clemery,
cujo amor, disciplina e apoio,
deram-me condições para chegar
até onde cheguei.**

Agradecimentos

A Deus;

Ao meu Pai, Marino, pelo apoio e permanente incentivo na execução deste trabalho;

Ao Corpo Docente e Funcionários da pós-graduação da Engenharia de Produção da EESC-USP;

Ao Prof. Dr. Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti pela oportunidade oferecida, ajuda constante e pronta colaboração durante todo o programa de mestrado;

Aos amigos da Tecelagem São Carlos pela oportunidade concedida e dedicação com que me receberam na empresa para a realização deste trabalho;

Aos amigos da Santista Têxtil pelo apoio e compreensão.

SUMÁRIO

• LISTA DE FIGURAS.....	i
• LISTA DE TABELAS.....	ii
• RESUMO.....	iii
• <i>ABSTRACT</i>	iv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 OBJETIVO	2
1.3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	3
1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	3
2. RETROSPECTIVA	5
2.1 HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DO CONTROLE DA QUALIDADE.....	5
2.1.1 Introdução.....	5
2.1.2 O Aparecimento da Inspeção.....	5
2.1.3 O Aparecimento do Controle Estatístico da Qualidade	8
2.1.4 O Controle do Processo.....	8
2.1.5 Inspeção por Amostragem.....	10
2.1.6 O Impacto da Segunda Guerra Mundial	11
2.1.7 A Era da Garantia da Qualidade	13
2.1.7.1 Custos da Qualidade.....	13
2.1.7.2 Controle da Qualidade Total	19
2.1.7.3 Engenharia da Confiabilidade.....	21
2.1.7.4 Zero Defeito.....	23
2.1.7.5 Evolução e Mudança	23
3. FERRAMENTAS APLICADAS AO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA QUALIDADE.....	25
3.1 FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS DA QUALIDADE	25
3.2. CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS (CEP).....	26
3.3 AS SETE FERRAMENTAS DA QUALIDADE	30
3.3.1 Estratificação	31
3.3.2 Folha de Verificação	31
3.3.3 Gráfico de Pareto	32
3.3.4 Diagrama de Causa-e-Efeito.....	33
3.3.5 Histograma	34
3.3.6 Diagrama de Dispersão	35
3.3.7 Gráficos de Controle	35
3.3.7.1 Tipos de Gráficos de Controle	37

3.3.7.2 Utilização dos Gráficos de Controle	39
3.3.8 Gráficos de Controle para Medições Individuais	40
3.3.8.1 Gráficos \bar{x} e R_m (Amplitude Móvel)	40
3.3.8.2 Gráfico Cusum	42
3.3.8.3 Gráfico Cusum Tabular ou Algorítmico	44
3.3.9 Interpretação de Gráfico de Controle	45
3.3.10 Limites de Controle e Limites de Especificação	47
3.3.11 Tamanho das Amostras e Freqüência de Amostragem	48
3.3.12 Amostragem Estratificada	49
3.4 CAPABILIDADE DE PROCESSO.....	51
3.4.1 Análise Gráfica da Capabilidade de Processos	51
3.4.2 Índices de Capabilidade.....	52
3.4.3 Índice C_p	52
3.4.4 Índice C_{pk}	53
3.4.5 Índices de Capabilidade para Situações em que Há Apenas um Limite de Especificação.....	53
4. TECNOLOGIA TÊXTIL.....	54
4.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA INDÚSTRIA TÊXTIL.....	54
4.2 OS CAMINHOS DA INDÚSTRIA TÊXTIL NACIONAL.....	57
4.3 TECNOLOGIA E PROCESSO DE FIAÇÃO.....	59
4.3.1 Características Físicas das Matérias Têxteis Visando a sua Utilização no Processo de Fiação.....	60
4.3.2 Limpeza e Preparação da Matéria-Prima (Algodão Virgem).....	61
4.3.3 Divisão da Matéria-Prima (Algodão) Fibra a Fibra	62
4.3.3.1 Cardação	62
4.3.4 Preparação à Fiação	63
4.3.4.1 Estiragem por Cilindros	63
4.3.4.2 Penteação	63
4.3.4.3 Preparação à Fiação das Fibras Curtas (Algodão)	63
4.3.5 Fiação Propriamente Dita.....	64
4.3.5.1 A Moderna Fiação Contínua.....	65
4.3.5.2 A Moderna Fiação Não-Convencional	65
4.3.6 Produção de Fios Retorcidos	66
4.4 TECNOLOGIA E PROCESSO DE TECELAGEM.....	67
4.4.1 Tecelagem Mecânica.....	68
4.4.2 Preparação para a Tecelagem	68
4.4.2.1 Bobinagem.....	69
4.4.2.2 Preparação da Teia	69
4.4.2.3 Preparação da Trama	70
4.4.3 Classificação das Máquinas de Tecer.....	71
5. A EMPRESA PESQUISADA.....	73
5.1 DADOS GERAIS DA EMPRESA.....	73
5.2 O PROCESSO PRODUTIVO E O CONTROLE DA QUALIDADE NA EMPRESA.....	73
5.2.1 Processo na Fiação	75
5.2.2 Processo na Tinturaria.....	77
5.2.3 Processo na Preparação	80
5.2.4 Processo na Tecelagem	82
5.2.5 Processo no Aveludamento	84
5.2.6 Processo no Acabamento.....	87

5.2.7 Processo no Bordado.....	89
5.2.8 Processo na Embalagem.....	89
5.2.9 Processo na Confecção.....	89
5.2.10 Processo na Expedição.....	92
6. AVALIAÇÃO DO CONTROLE DA QUALIDADE E CAPABILIDADE DO PROCESSO DE FIAÇÃO COM APLICAÇÃO DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS (CEP).....	93
6.1 FORMA ATUAL DE CONTROLE DA QUALIDADE DO PROCESSO DE FIAÇÃO.....	93
6.2 PARÂMETRO CRÍTICO - TÍTULO - DO FIO DE ALGODÃO.....	95
6.3 O ENSAIO DE TITULAGEM.....	95
6.4 APLICAÇÃO DO CEP.....	96
6.5 ANÁLISE DO CONTROLE DA QUALIDADE DOS PROCESSOS NAS CARDAS E PASSADEIRAS.....	97
6.5.1 Primeira Coleta de Dados, Construção e Análise dos Gráficos de Controle nas Cardas e Passadeiras.....	97
6.5.2 Segunda Coleta de Dados, Construção e Análise dos Gráficos de Controle nas Cardas e Passadeiras.....	100
6.5.3 Terceira Coleta de Dados, Construção e Análise dos Gráficos de Controle nas Cardas.....	103
6.6 AVALIAÇÃO DA CAPABILIDADE DOS PROCESSOS NAS CARDAS E PASSADEIRAS	104
6.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	107
7. CUSTO DA NÃO QUALIDADE RESULTANTE DO PROCESSO DE FIAÇÃO.....	110
7.1 O IMPACTO DA VARIABILIDADE DO TÍTULO DO FIO NO PROCESSO DE TINGIMENTO.....	110
7.2 O IMPACTO DA VARIABILIDADE DO TÍTULO DO FIO NO PROCESSO DE PREPARAÇÃO.....	110
7.3 O IMPACTO DA VARIABILIDADE DO TÍTULO DO FIO NO PROCESSO DE TECELAGEM.....	111
7.3.1 Paradas dos Teares por Quebra de Fio.....	111
7.3.2 Cálculo do Custo de Paradas dos Teares por Quebra de Fio.....	113
7.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	114
8. CONCLUSÃO.....	116
ANEXO A - PRIMEIRA COLETA DE DADOS: GRÁFICOS CARDAS E PASSADEIRAS.....	121
ANEXO B - SEGUNDA COLETA DE DADOS: GRÁFICOS CARDAS E PASSADEIRAS.....	151

ANEXO C - TERCEIRA COLETA DE DADOS: GRÁFICOS CARDAS	182
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	187
APÊNDICES	VOLUME 2

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

2.1 - Modelo econômico do custo da qualidade.....	17
2.2 - Perda da qualidade em função do afastamento do valor nominal: visão tradicional (esquerda) visão Taguchi (direita).....	18

Capítulo 3

3.1 - Variabilidade do resultado de um processo.....	27
3.2 - Comportamento de um processo sobre o tempo.....	29
3.3 - Ciclo de controle da qualidade de processo.....	30
3.4 - Máscara V com parâmetros de construção.....	43
3.5 - Ilustração gráfica da construção de amostras não estratificadas.....	50
3.6 - Ilustração de amostragem a partir da mistura ou mixing de peças.....	50

Capítulo 4

4.1 - Quadro comparativo da evolução dos teares.....	55
4.2 - Cadeia têxtil resumida.....	56
4.3 - Processo de preparação à fiação de fibras curtas.....	64

Capítulo 5

5.1 - Fluxograma do processo de fabricação de toalhas e roupões e seus pontos e formas de controle de qualidade.....	74
5.2 - Fluxograma do processo de fiação.....	76
5.3 - Fluxograma do processo de tingimento de fio.....	78
5.4 - Fluxograma do processo de tingimento de tecido.....	79
5.5 - Fluxograma do processo de preparação dos rolos de fios.....	81
5.6 - Fluxograma do processo de tecelagem.....	83
5.7 - Fluxograma do processo de aveludamento - felpudos.....	85
5.8 - Fluxograma do processo de aveludamento - aveludados.....	86
5.9 - Fluxograma do processo de acabamento de toalhas.....	88
5.10 - Fluxograma do processo de confecção de roupões/quimonos.....	91

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

2.1 - Etapas do Movimento da Qualidade.....	24
---	----

Capítulo 3

3.1 - Lista de fórmulas para limites de controle.....	38
3.2 - Classificação de processos a partir do índice C_p	53

Capítulo 4

4.1 - Parque têxtil instalado.....	58
------------------------------------	----

Capítulo 6

6.1 - Plano de inspeção durante o processo de fiação.....	94
---	----

RESUMO

RESENDE, R. A. Um Estudo do Controle da Qualidade e Capabilidade do Processo de Fiação numa Indústria Têxtil. São Carlos, 2000. 193p. 2v. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Fundamental para a obtenção de vantagens competitivas é a melhoria dos processos produtivos. Processos com qualidade de conformação insatisfatória não conseguem ser competitivos em custo, no mínimo em decorrência dos altos índices de refugo e retrabalho; não conseguem ser competitivos em prazos de entrega, já que o volume de produção aceitável será imprevisível; e finalmente não conseguem também ser competitivos em qualidade, já que muito provavelmente a perda de qualidade de produtos resultantes de processos com qualidade de conformação insatisfatória, será maior em função da dispersão excessiva dos resultados.

Este trabalho realiza um estudo no setor de Fiação de uma indústria têxtil, com a finalidade de avaliar o controle da qualidade e a capabilidade do processo de Fiação, por meio da aplicação de métodos estatísticos, no que se refere a um parâmetro crítico do processo, o título do fio de algodão. Além disso, analisa o impacto da variabilidade desse parâmetro nos processos subsequentes (Tinturaria, Preparação, Tecelagem), por meio de avaliação/quantificação do custo da não qualidade gerada pelas variações no processo.

O estudo conclui que o esforço de inspeção empreendido pela empresa não se justifica devido à alta variabilidade incontrolável do processo, decorrente do atraso tecnológico do processo de Fiação e das inúmeras variáveis independentes do processo. Destaca-se a importância de uma revisão das atividades e procedimentos de inspeção do título do fio de algodão empreendidos pela empresa, devido a evidência de ineficácia. Quanto ao custo da não qualidade da Fiação nos processos subsequentes, especialmente na Tecelagem, o valor encontrado pode não justificar grandes investimentos necessários na padronização do parque de máquinas do setor de Fiação.

[**Palavras Chave:** Controle da Qualidade, Capabilidade, Indústria Têxtil]

ABSTRACT

RESENDE, R. A. A Study of the Quality Control and Capability of the Spinning Process in a Textile Industry. São Carlos, 2000. 193p. 2v. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The most important to obtention of the competitive processes is the improving of the productive processes. Processes with insatisfactory conformation quality don't get to be competitives in cost, because of the high indexes of refuse and rework, they don't get to be competitives in time of delivery, because the volume of acceptable production will be unexpected; and finally they don't get also to be competitives in quality, because probably, the quality loss of products resulted from processes with insatisfactory conformation quality will be in function of the excessive dispersion of the results.

This work makes a study in the spinning section of a textile industry with the objective of evaluating the quality control and the capability of the spinning process, by means of the application of statistican methods, in relation to a critical parameter of the process, the cotton yarn count. Besides, it analyses the impact of the variability of this parameter in the subsequent processes (dyeing, preparation, weaving), by mean of valuation/quantification of the no quality cost produced by the variations in the process.

The study concludes that the effort of inspection undertaken by the mill doesn't justify due the uncontrollable high variability of the process, because of the technological delay of the spinning process, and the independent numberless variables of the process. Point out the importance of revision of activities and procedures of cotton yarn number inspection, undertaken by the mill, due the evidence of inefficacy. In relation to the not quality cost of the spinning in the subsequent processes, specially in the woven, the found value can not justify big investiments, necessary in the standardization of the spinning section machines.

[keywords: Quality Control, Capability, Textile Industry]

1. INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

Nas últimas décadas, as ofertas de produtos de consumo e bens duráveis tornaram-se cada vez maiores que a demanda, levando a maior parte dos sistemas produtivos a funcionar com ociosidade. Além disso, a demanda tornou-se diferenciada devido ao perfil mais complexo da classe média que está cada vez mais seletiva e exigente. Por outro lado, a recente abertura do mercado brasileiro expôs a indústria nacional a concorrência mundial, atingindo duramente vários segmentos industriais.

A indústria têxtil encontra-se num processo de mudança buscando rápida adaptação dos seus sistemas produtivos, como resposta às pressões da economia globalizada. Esse processo se intensifica devido à concorrência que enfrenta, principalmente, pela entrada de produtos de origem asiática no mercado nacional.

O setor têxtil, remanescente de décadas passadas, protegido por políticas governamentais, pouco investiu com vistas a alcançar padrões internacionais.

Somente nos últimos cinco anos iniciou-se a busca pela excelência. A modernização do chão-de-fábrica, com equipamentos modernos e flexíveis, passou a ser uma das metas dessa indústria, devido ao nível de obsolescência do parque instalado que se encontra totalmente defasado tecnologicamente.

Além disso, a indústria têxtil, assim como várias empresas de diferentes setores, tem procurado vantagens competitivas em qualidade, custo e prazos de entrega através do desenvolvimento de programas de gerenciamento da qualidade e certificação de sistemas da qualidade.

Fundamental para a obtenção dessas vantagens competitivas é a melhoria dos processos produtivos (JURAN, 1993). Processos com qualidade de conformação insatisfatória não conseguem ser competitivos em custo, no mínimo em decorrência dos altos índices de refugo e retrabalho; não conseguem ser competitivos em prazos de entrega, já que o volume de produção aceitável será imprevisível; e finalmente não conseguem também ser competitivos em qualidade, já que muito provavelmente a perda de qualidade de produtos, resultantes de processos com qualidade de

conformação insatisfatória, será maior em função da dispersão excessiva dos resultados (TAGUCHI et alli, 1990).

A variabilidade inerente a todos os processos de manufatura dá origem a produtos com características de qualidade que os tornam diferentes entre si. A análise das variações nos processos industriais utiliza-se de modelos estatísticos capazes de fornecer informações precisas sobre a natureza destas variações e seus possíveis reflexos na qualidade do produto.

O Controle Estatístico de Processo (CEP) é um método estatístico utilizado para controlar as variabilidades do processo e, através do uso dos Gráficos de Controle, monitora as características dos produtos com relação aos limites de especificação.

Os Gráficos de Controle, ou também chamados Cartas de Controle, estabelecem uma técnica para aumentar a produtividade, atuam efetivamente na detecção de defeitos, previnem ajustes desnecessários no processo, estabelecem uma informação de diagnóstico e permitem o cálculo da capacidade do processo.

Um processo estável (sob controle estatístico) apresenta previsibilidade. No entanto, é possível que mesmo um processo com variabilidade controlada e previsível produza itens defeituosos. Logo, não é suficiente simplesmente colocar e manter um processo sob controle. É fundamental avaliar se o processo é capaz de atender às especificações estabelecidas a partir dos desejos e necessidades dos clientes. Esta avaliação constitui o estudo da capacidade do processo. Ainda pode-se observar que, se o processo não é estável, ele possui um comportamento imprevisível e portanto não faz sentido avaliar a sua capacidade.

A pesquisa desenvolvida defende a importância da avaliação e análise, por meio de Ferramentas da Qualidade, do controle da qualidade e capacidade dos processos, possibilitando a melhoria dos processos com a aplicação de ações corretivas, refletindo na qualidade do produto que é principal arma competitiva e, portanto, ajudando a sobrevivência da empresa.

1.2 OBJETIVO

Considerando que a perda da qualidade tem forte impacto negativo no custo e prazo de entrega, este trabalho propõe um estudo no setor de Fiação de uma Indústria

Têxtil, com a finalidade de avaliar o controle da qualidade e capacidade do processo de Fiação por meio da aplicação de métodos estatísticos. Esta aplicação refere-se a um parâmetro considerado crítico pela empresa. Além disso, objetiva-se analisar o impacto da variabilidade desse parâmetro nos processos subsequentes, por meio de avaliação/quantificação do custo da não qualidade gerada pelas variações no processo; e discutir e propor ações para a redução da variabilidade excessiva e melhoria do processo produtivo de forma geral.

1.3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O trabalho desenvolvido tem como base a pesquisa numa empresa, tendo como metodologia o levantamento de informações, a coleta de dados, análise e discussão de resultados e a proposição de ações.

1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

A pesquisa será explanada através dos seguintes capítulos:

Capítulo 1, de caráter introdutório, é dedicado a apresentação do trabalho, com a definição do objetivo justificado da pesquisa.

O Capítulo 2 apresenta uma retrospectiva, descrevendo, brevemente, a história da indústria têxtil e seu contexto atual e a evolução histórica e conceitos relacionados com o Controle da Qualidade.

No Capítulo 3, são apresentadas as Ferramentas da Qualidade aplicadas ao Planejamento de Controle da Qualidade, dando ênfase ao Controle Estatístico de Processos (CEP).

O Capítulo 4 descreve brevemente as técnicas básicas dos processos de Fiação e Tecelagem.

No Capítulo 5, é apresentada a empresa pesquisada, seus produtos, processos e suas formas atuais de Controle da Qualidade.

O Capítulo 6 mostra a avaliação do controle da qualidade e capacidade do processo de Fiação por meio do CEP, no que se refere a um parâmetro considerado crítico pela empresa - o título do fio de algodão.

O Capítulo 7 apresenta a avaliação/quantificação do custo da não qualidade gerado pela variabilidade excessiva do título do fio de algodão (parâmetro crítico)

resultante do processo de Fiação nos processos subsequentes - Tingimento, Preparação, Tecelagem.

O Capítulo 8 apresenta as conclusões finais do trabalho, com a análise geral dos dados e discussão de possíveis ações, objetivando a redução da variabilidade e melhoria do processo produtivo, gerando produtos mais qualificados.

2. RETROSPECTIVA

2.1 HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DO CONTROLE DA QUALIDADE

2.1.1 Introdução

Como conceito, conhece-se a qualidade a milênios. Só recentemente, é que ela surgiu como função de gerência formal. Em sua forma original, era relativa e voltada para inspeção; hoje, as atividades relacionadas com a qualidade se ampliaram e são consideradas essenciais para o sucesso estratégico.

Antes, qualidade era somente assunto dos departamentos de Produção e Operações. A qualidade hoje, acomoda funções diversificadas como Compras, Engenharia e Pesquisa de Marketing, recebendo atenção de diretores e executivos. Quase todas as modernas abordagens da qualidade foram surgindo progressivamente, através de evolução regular, e não de inovações marcantes. Resultaram de uma série de descobertas que remontam o século passado. Nos Estados Unidos, essas descobertas, segundo ABBOTT e LEAMAN (1982), podem ser organizadas em quatro “Eras da Qualidade” distintas: Inspeção, Controle Estatístico da Qualidade, Garantia da Qualidade e Gestão Estratégica da Qualidade.

2.1.2 O Aparecimento da Inspeção

Nos séculos XVIII e XIX, na opinião de CHANDLER (1977), não existia ainda o controle da qualidade tal como conhecemos hoje. Quase tudo era fabricado por artesãos e/ou trabalhadores experientes e aprendizes, sob a supervisão dos chamados mestres do ofício.

Segundo JURAN (1984), produzia-se pequena quantidade de cada produto; as peças eram ajustadas umas às outras manualmente e a inspeção, após os produtos prontos, para assegurar uma alta qualidade, era informal, quando feita.

Um produto que funcionava bem era visto como resultado natural da confiança nos artesãos qualificados para todos os aspectos do projeto, da produção e do serviço.

Conforme WOMACK et alli (1990), a inspeção informal só passou a ser necessária com o surgimento da produção em massa e a necessidade de peças intercambiáveis. Com aumento dos volumes de produção, as peças não mais podiam

ser encaixadas umas nas outras manualmente; o processo exigia um grande grupo de mão-de-obra qualificada, tornando-se, conseqüentemente, caro e demorado.

Os preços eram, quase sempre, acima do poder aquisitivo do consumidor médio, especialmente no caso das máquinas e equipamentos. O governo federal norte-americano não era capaz de comprar grande quantidade de armas de alta qualidade e baixo custo. Essas pressões deram origem, na abordagem de ABERNATHY e CORCORAN (1983), ao que se conhece como sistema norte-americano de produção: utilização de maquinário de finalidade especial para produzir peças que podiam ser trocadas uma pelas outras seguindo uma seqüência pré-estabelecida de operações. Quase todos os esforços iniciais estavam relacionados com a necessidade de armamento dos militares e eram coordenados de perto pelo Departamento de Material Bélico do Exército do Estados Unidos.

Do ponto de vista do controle da qualidade, a principal conquista, na concepção de HOUNSHELL (1984), foi a criação de um sistema racional de medidas, gabaritos e acessórios no início do século XIX.

Gabaritos e acessórios são dispositivos que colocam as ferramentas em posição ou seguram as peças enquanto estão sendo trabalhadas, mantendo-as presas para que as operações nas máquinas possam ser realizadas com exatidão e precisão.

Como cada peça trabalhada fica no lugar exatamente da mesma maneira, com todos os gabaritos e acessórios feitos a partir de um modelo padrão do produto a ser fabricado, fica assegurado um alto grau de intercambiabilidade.

Não obstante, as peças ainda podem ficar separadas umas das outras, podendo ter sido montadas incorretamente durante o trabalho das máquinas, feitas com matérias-primas imperfeitas ou com ferramentas gastas.

Para minimizar problemas na montagem final, quando as peças são unidas pela primeira vez, é preciso uma inspeção exata durante o processo de fabricação. Usa-se muitas vezes um sistema de medidas para este fim. Como os gabaritos e acessórios, as medidas baseiam-se num modelo-padrão do produto para assegurar a uniformidade.

Em 1919, havia um sistema de medidas sofisticado no arsenal nacional norte-americano de Springfield Amrmory, em Massachusetts. Este sistema conferiu uma nova respeitabilidade à inspeção, pois atividades antes executadas a olho nu, foram

substituídas por um processo mais objetivo e verificável. Dois inspetores usando um instrumento de medição tinham muito maior probabilidade de chegar a um mesmo resultado que dois outros que dependessem apenas de avaliação pessoal. Com o amadurecimento do sistema norte-americano de produção, as medições tornaram-se mais refinadas e a inspeção passou a ser a mais importante.

Segundo GARVIN (1988), no início do século XX, Frederick W. Taylor, pai da “Administração Científica”, deu mais legitimidade à atividade, separando-a como tarefa a ser atribuída a um dos oito chefes funcionais (encarregados) necessários para um bom gerenciamento da fábrica:

O inspetor, na visão de TAYLOR (1919), era o responsável pela qualidade do trabalho, e tanto os operários quanto os mestres (que providenciavam o uso das ferramentas de corte apropriadas, que verificavam se o trabalho estava no rumo certo e se os cortes eram feitos na parte certa da peça) tinham que cuidar para que o trabalho fosse acabado de maneira satisfatória. É claro que ele podia trabalhar melhor se fosse um mestre na arte de acabar o trabalho bem e depressa.

As atividades de inspeção foram relacionadas mais fortemente com o controle da qualidade, em 1922, com a publicação da obra *The Control of Quality in Manufacturing*, de G. S. Radford.

No livro de RADFORD (1922) chegou-se, de acordo com GARVIN (1988), ao tratamento de muitos princípios considerados centrais no moderno controle da qualidade: a necessidade de conseguir a participação dos projetistas logo no início da atividades associadas à qualidade e a associação da melhoria da qualidade com a maior produção e custos mais baixos. Seu enfoque principal era, entretanto, a inspeção. Nove dos vinte e sete capítulos do livro foram dedicados a este tema.

A ênfase era sempre estabelecida em conformidade de sua relação com a inspeção. Nas palavras de RADFORD (1922): “o principal interesse do comprador na qualidade era aquela igualdade ou uniformidade que se obtém quando o fabricante atende às especificações estabelecidas”.

Segundo BICKING (1958), a situação se manteve inalterada por muitos anos. O controle da qualidade limitava-se à inspeção e às atividades restritas como a contagem, a classificação pela qualidade e reparos. A solução de problemas era vista como fora do campo de ação do departamento de inspeção.

Mas, nos dez anos seguintes, o papel do profissional da qualidade seria redefinido. O estímulo à mudança foi a pesquisa feita nos *Bell Telephone Laboratories*, que teve como resultado o que hoje se chama de Controle Estatístico da Qualidade.

2.1.3 O Aparecimento do Controle Estatístico da Qualidade

O ano de 1931 representou um marco no movimento da qualidade. A obra *Economic Control of Quality of Manufacturing Product*, de Shewhart, publicada naquele ano, conferiu pela primeira vez um caráter científico à matéria. Grande parte do moderno controle da qualidade pode ser atribuída àquele livro, na ótica de GARVIN (1988).

Nele, Shewhart deu uma definição precisa e mensurável de controle de fabricação, criou poderosas técnicas de acompanhamento e avaliação da produção diária e propôs maneiras de se melhorar a qualidade. Shewhart fazia, de fato, parte de um grupo maior dos *Bell Telephone Laboratories* que estava investigando problemas na área da qualidade.

As pesquisas do grupo, segundo ABBOTT e LEAMAN (1982), foram suscitadas pelas preocupações dos engenheiros da *Western Electric*, a responsável pela área de produção do sistema *Bell*, que estavam em busca de maior padronização e uniformidade na rede nacional de telefonia. Como, indagaram os engenheiros, poder-se-ia obter o máximo de informação sobre a qualidade das unidades com o menor volume possível de dados de inspeção? E como os dados deveriam ser apresentados? Em 1924, a *Western Electric* criou um Departamento de Engenharia e Inspeção para tratar dessas questões; e este departamento passou a ser, mais tarde, o *Departamento de Garantia da Qualidade dos Bell Laboratories*.

O grupo, que contava com luminares como Shewhart, Harold Dodge, Harry Romig, Edward Deming e, mais tarde, Joseph Juran, ficou em grande parte responsável pela criação da matéria atual conhecida como o Controle Estatístico da Qualidade.

2.1.4 O Controle do Processo

Foi Shewhart, de acordo com GARVIN (1988), o primeiro a reconhecer que variabilidade era um fato concreto na indústria e que ela seria entendida por meio dos princípios da probabilidade e da estatística.

Shewhart observou que era improvável que duas peças fossem fabricadas precisamente de acordo com as mesmas especificações. Haveria um certo grau de variação das matérias-primas, da habilidade dos operadores e equipamentos. Até a mesma peça produzida por um único operador, numa única máquina, provavelmente revelaria alguma variação com o tempo. Do ponto de vista gerencial, isso exigia que o problema da qualidade fosse repensado.

A questão não era mais a existência de variação. Era certo que ela continuaria existindo, até certo ponto, independentemente das providências que fossem tomadas. Entretanto, como distinguir as variações aceitáveis das flutuações que indicassem problemas? Toda a análise derivou do conceito de controle estatístico de Shewhart:

“Dir-se-á que um fenômeno está sob controle quando, recorrendo-se à experiência passada, se puder prever, pelo menos dentro de certos limites, como o fenômeno deve variar no futuro. Entende-se, aqui, que previsão significa que se possa determinar, pelo menos aproximadamente, a probabilidade de que o fenômeno observado fique dentro de determinados limites”.

Shewhart formulou, segundo ABBOTT e LEAMAN (1982), técnicas estatísticas simples para determinação desses limites, além de métodos gráficos de representação de valores de produção para avaliar se eles ficavam dentro da faixa aceitável.

O resultado obtido foi o Gráfico de Controle do Processo, um dos instrumentos mais eficazes usados pelos profissionais contemporâneos da qualidade. Separando as causas anormais (que podem ser atribuídas a um determinado fator) de variação daquelas inerentes a um processo de produção, é possível fazer distinção entre problemas devidos simplesmente ao acaso. Além do mais, são retiradas amostras de produtos durante a produção, em vez de esperar o término da montagem de um produto. Enquanto Shewhart levava seu trabalho sobre controle de processos, outros pesquisadores dos *Bell Laboratories* estavam fazendo progresso com a prática

da amostragem, segundo elemento crítico no crescimento do Controle Estatístico da Qualidade. ABBOTT e LEAMAN (1982) atribuem a Harold Dodge e Harry Romig o pioneirismo nesta tentativa.

2.1.5 Inspeção por Amostragem

Para GARVIN (1988), as técnicas de amostragem partem da premissa simples de que uma inspeção 100 por cento é a maneira mais eficiente de se separar os bons produtos dos maus. Uma alternativa clara é verificar um número limitado de produtos de um lote de produção e, depois, decidir, com base nesta verificação, se o lote inteiro é aceitável. Mas este processo envolve certos riscos. Como as amostras nunca são inteiramente representativas, pode-se, ocasionalmente, aceitar um lote de produção que possua, na realidade, inúmeros produtos com defeito. Também pode ocorrer um erro relacionado: pode-se rejeitar um lote de produção que seja, na verdade, de qualidade perfeitamente aceitável.

Dodge e Romig, conforme ABBOTT e LEAMAN (1982), reconheceram esses problemas, chamados riscos do consumidor e do produtor, tendo elaborado planos para lidar com eles sistematicamente. Conseguiram formular planos de amostragem que asseguravam que, para um determinado nível de defeitos, a probabilidade de se aceitar, sem saber, um lote insatisfatório ficaria limitado a um certo percentual. Verificar-se-ia um determinado número de produtos para um lote de tamanho especificado.

Se, de acordo com as tabelas de amostragem, o número de produtos defeituosos daquele grupo fosse maior que o número permissível, todo o lote seria rejeitado. Por mais útil que fosse, o método teve aplicação limitada. Só se aplicava a lotes de produção individuais, e não a todo o nível da qualidade produzido por um processo de fabricação.

Harold F. Dodge e Harry G. Romig, para superar essa deficiência, elaboraram a partir daí, um novo conceito: o Nível de Qualidade Médio Produzido (AOQL). Indicava ele o percentual máximo de produtos com defeito que o processo produziria em duas condições: inspeção por amostragem em lotes e a separação individual dos produtos bons dos defeituosos em todos os lotes que já tivessem sido rejeitados com base na amostragem.

Estas conquistas, na visão de GARVIN (1988), foram fundamentais na melhoria da qualidade dos equipamentos e serviços telefônicos da época. Os custos de inspeção baixaram, a qualidade melhorou e, com menos defeitos a serem corrigidos, os empregados tornaram-se mais produtivos.

Surpreendentemente, porém, nem as técnicas de amostragem nem os gráficos de controle de processo tiveram muito impacto fora do sistema *Bell*. Quase toda a pesquisa original foi publicada em revistas técnicas de circulação limitada. Só com o advento da Segunda Guerra Mundial e com a necessidade de produzir armas em grande escala, é que os conceitos de controle estatístico da qualidade passaram a ter um público maior.

2.1.6 O Impacto da Segunda Guerra Mundial

De acordo com DODGE (1969), o departamento de Guerra, em dezembro de 1940, formou um comitê para sugerir padrões na área da qualidade. Os padrões foram publicados em 1941 e 1942. Seu principal enfoque foi a elaboração e o uso dos Gráficos de Controle.

Mais ou menos na mesma época, o Departamento de material Bélico do Exército dos Estados Unidos estava enfrentando problema em conseguir grandes quantidades de armamentos e munições de muitos fornecedores, com níveis de qualidade aceitáveis. Estavam sendo examinadas duas alternativas: muito treinamento dos empreiteiros na utilização dos Gráficos de Controle de Processo e a criação de um sistema de procedimento de Amostragem para Aceitação a serem aplicados pelos inspetores do Governo.

A Segunda alternativa foi a escolhida e, em 1942, criou-se uma seção de Controle da Qualidade no Departamento de Guerra, onde a maioria do pessoal era formada de estatísticos dos *Bell Laboratories*. Este grupo criou um conjunto de tabelas de amostragem baseadas no conceito de Níveis Aceitáveis de Qualidade (AQL, *Acceptable Quality Levels*) ou NQA (Nível de Qualidade Aceitável): a pior qualidade (percentual máximo de defeitos) que um fornecedor poderia manter num determinado período e, mesmo assim, ser considerado satisfatório.

Havia dois tipos de inspeção: a inspeção normal, que exigia menos verificação, era feita quando os produtos em exame tivessem revelado, recentemente,

um índice de defeitos mais baixo ou igual ao AQL. Fazia-se, por outro lado, uma inspeção mais rigorosa quando o índice de defeitos tivesse, recentemente, superado o AQL. Estas técnicas, segundo ABBOTT e LEAMAN (1982), tiveram enorme êxito. O principal ponto de estrangulamento, que retardava a produção de material bélico, estava na inspeção - foi logo eliminado.

Nos primeiros oito meses que se seguiram à introdução dos métodos em larga escala, os inspetores conseguiram processar volumes muito maiores, pois, como observou SAFFORD (1946), o número de inspetores do Departamento de Material Bélico por milhão de dólares de material aceito caiu de 42 para 12. Também foram conseguidos substanciais melhoras da qualidade.

Enquanto isso, o Setor de Pesquisa e Desenvolvimento da Produção (OPRD, *Office of Production Research and Development*) do Conselho de Produção Bélica estava organizando mais programas de treinamento. Uma vez mais, pesquisadores dos *Bell Laboratories* tiveram um papel preponderante, desta vez em cooperação com importantes Universidades. Shewhart, por exemplo, foi importante ao convencer o OPRD da validade da proposta inicial. Naquela ocasião, as técnicas de Controle Estatístico da Qualidade ainda tinham tido pouca aplicação fora da companhia telefônica. Observou GRANT e LEAVENWORTH (1980):

“O que nós professores, tínhamos na época era fé - fé em que as técnicas estatísticas se revelassem muito úteis no controle da qualidade de muitos tipos de produção”.

A finalidade dos programas que foram, por fim, levados a cabo, era a rápida disseminação destas técnicas por outros ramos da indústria. De acordo com os relatos do *Holbrook Working*, os cursos foram ministrados pela primeira vez no *Carnegie Institute of Technology* em 1941 e em *Stanford* em 1942. No fim da guerra, participavam instituições de vinte e cinco estados dos Estados Unidos, quando foram treinadas, ao todo, oito mil pessoas em cursos que iam desde os programas de um dia, oferecidos para executivos, até seminários intensivos de oito dias para engenheiros, inspetores e outros profissionais de controle da qualidade.

A maioria daqueles que foram treinados pouco empenho fizeram para aplicar as técnicas aprendidas. Os conceitos estatísticos ainda eram uma espécie de

novidade, e seu histórico reduzido. Mas algumas empresas conseguiram ganhos espetaculares, relatados em seminários de acompanhamento e que se revelaram importantes no sentido de induzir outras empresas a experimentarem os métodos de Controle de Processo e Amostragem.

Logo, segundo ABBOTT e LEAMAN (1982), os alunos deste programa, que tinham comparecido aos cursos, começaram a formar sociedades locais de controle da qualidade. Em outubro de 1945, treze desses grupos se congregaram para formar a Sociedade dos Engenheiros da Qualidade; um ano depois, fundiram-se com outra federação, tornando-se a Sociedade Americana de Controle da Qualidade (ASQC).

Hoje, a ASQC continua sendo o grupo profissional dominante neste campo. Enquanto isso, a primeira publicação norte-americana sobre o assunto, a *Industrial Quality Control*, era publicada em julho de 1944 pela *Buffalo Society of Quality Control Engineers*. Mais tarde, ela se tornou a *Quality Progress*, a revista oficial da ASQC.

De acordo com GARVIN (1988), no fim dos anos 40, então, o controle da qualidade já estava estabelecido como disciplina reconhecida. Seus métodos eram, porém, basicamente estatísticos e seu impacto confinou-se em grande parte à fábrica.

Pouca coisa mudaria até a publicação de diversas obras que representaram marcos nos anos 50 e início da década de 60. Essas obras introduziram a grande era da qualidade que veio a seguir, a Era da Garantia da Qualidade.

2.1.7 A Era da Garantia da Qualidade

No período da Garantia da Qualidade, segundo GARVIN (1988), a qualidade passou de uma matéria restrita para outra com implicações mais amplas para o gerenciamento. A prevenção de problemas continuou sendo seu objetivo fundamental, mas os instrumentos da profissão ganharam expansão para muito além da estatística, centrado em quatro elementos distintos: Quantificação dos Custos da Qualidade, Controle Total da Qualidade, Engenharia da Confiabilidade e Zero Defeito.

2.1.7.1 Custos da Qualidade

Até a década de 50, na perspectiva de GARVIN (1988), a maioria das tentativas de se melhorar a qualidade eram baseadas na premissa implícita de que defeitos tinham um custo.

Quanto eles custavam era uma questão de opinião, pois poucas empresas tinham se dado ao trabalho de totalizar as despesas em que incorriam, porque os produtos não eram feitos corretamente da primeira vez.

Na falta deste padrão de medida, os gerentes, acostumados a tomar decisões baseadas em números reais, não tinham por que prosseguir. Para eles, continuava sendo crítica a seguinte pergunta: qual era o grau da qualidade suficiente?

Em 1951, segundo GARVIN (1988), Joseph Juran abordou esta questão na primeira edição de seu livro *Quality Control Handbook*, publicação que logo se tornaria a “Bíblia” da profissão. Sob a ótica de JURAN (1951), no primeiro capítulo deste *Handbook*, é discutida a economia da qualidade e propunha a hoje famosa analogia com o “ouro da mina”. Observou que os custos para se atingir um determinado nível da qualidade podiam ser divididos em : custos evitáveis (custos decorrentes da falta de qualidade) e custos inevitáveis (custos para se obter qualidade).

Os inevitáveis eram os custos associados à prevenção, inspeção, amostragem, classificação e outras iniciativas de controle da qualidade.

Custos evitáveis eram os dos defeitos e das falhas dos produtos - mal sucateado, horas de trabalho necessárias para se refazer os produto e repará-lo, processamento de reclamações e prejuízos financeiros resultantes de clientes insatisfeitos. Assim, os custos das falhas “ouro da mina” podiam ser drasticamente reduzidos, desde que se investisse na melhoria da qualidade. O retorno desses esforços poderia ser substancial: naquela oportunidade, JURAN (1951), calculou que os prejuízos evitáveis, provocados por problemas da qualidade equivaliam, de um modo geral, de 500 a 1.000 dólares por operador na produção por ano. Os gerentes tinham, então, uma maneira de decidir quanto investir na melhoria da qualidade. Mais despesas com prevenção, provavelmente, eram justificadas desde que os custos das falhas continuassem elevados.

Conforme JURAN (1951), o conceito também ilustrava outro princípio importante: as decisões tomadas no início da cadeia de produção (por exemplo,

quando os engenheiros fizessem o esboço do projeto de um novo produto) tinham implicações para o nível de custos da qualidade em que se incorria mais adiante, tanto na fábrica quanto no campo.

Os custos da qualidade podem ser classificados em:

Custos Devido à Falhas Internas: são custos associados aos defeitos (erros, não conformidades, etc.), que são detectados antes do despacho do produto. Estes custos desapareceriam se os produtos fossem isentos de defeitos. Exemplos de custos decorrentes de falhas internas são:

- refugo: material, horas de trabalho, etc.;
- re-trabalho: horas de re-trabalho;
- re-inspeção, re-teste: horas de trabalho de re-inspeção de produtos retrabalhados;
- inspeção total: horas de trabalho em inspeção total de lotes com nível de qualidade inaceitável;
- redução de preço de venda devido à baixa qualidade.

Custos Devido à Falhas Externas: são custos associados aos defeitos encontrados no produto depois de comercializado. Estes custos também desapareceriam se os produtos fossem isentos de defeitos. Exemplos destes custos são:

- custos de assistência técnica no período de garantia;
- custos de rompimento de contrato por não atendimento das especificações de qualidade;
- custos por ações na justiça.

Custos de Avaliação da Qualidade: são os custos decorrentes das atividades de verificação do grau de conformidade com os requisitos de qualidade. exemplos destes custos são:

- inspeção e teste de recebimento: os custos das atividades de verificação da qualidade de componentes/produtos comprados de fornecedores;
- inspeção em processo;

- inspeção final e teste;
- auditorias de qualidade;
- manutenção da rastreabilidade e acuracidade de equipamentos de inspeção e teste.

Custos de Prevenção: são os custos decorrentes das atividades necessárias para reduzir ao mínimo os custos devido à falhas e os custos de avaliação. Exemplos destes custos são:

- Planejamento da qualidade: são os custos de todas as atividades que coletivamente criam o planejamento amplo e detalhado das metas da qualidade.
- Revisão de novos produtos em desenvolvimento: são os custos decorrentes das atividades de incorporação e garantia da qualidade do produto na fase de desenvolvimento.
- Controle de processo: são os custos decorrentes das atividades de controle de qualidade do processo.
- Auditorias da qualidade: são os custos de avaliação da execução de atividades da qualidade.
- Qualificação e desenvolvimento de fornecedores: são os custos de avaliação da qualidade de fornecedores previamente à seleção de fornecedores e durante o contrato de fornecimento.
- Treinamento: são os custos de treinamento em programas de qualidade.

O modelo econômico tradicionalmente adotado para ilustrar a variação do custo total da qualidade (decorrente dos custos parciais), em função do nível de qualidade de conformação, é mostrado na FIGURA 2.1.

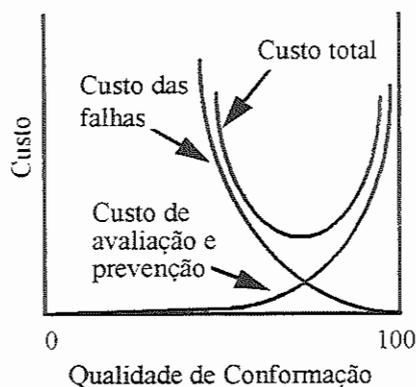


FIGURA 2.1 - Modelo econômico do custo da qualidade (JURAN, 1993)

A consideração da contribuição relativa dos custos parciais da qualidade na composição do custo total, com base nesse modelo econômico pode ser útil na indicação de possibilidades de redução do custo total da qualidade. Para isso, a curva do custo total da qualidade é dividida em três zonas. Na zona a esquerda do ponto ótimo, os custos devido à falhas são muito maiores do que os custos de prevenção de falhas. Portanto, existe uma oportunidade de redução de custos através da melhoria da qualidade de conformação. De outro modo, segundo este modelo, quando os custos de avaliação são maiores que os custos das falhas, o nível de qualidade sendo praticado não é sustentável economicamente. Ou seja, supõe-se que existe uma porcentagem de defeituosos que deve ser esperada na produção e que é considerada viável economicamente. Portanto, a partir de certa porcentagem decrescente de defeituosos a sua redução seria mais cara do que as economias resultantes dela. Essa porcentagem de defeituosos, conhecida como Nível Aceitável de Qualidade, reflete o pensamento dominante no Ocidente segundo o qual o custo por falta de qualidade seria inexistente desde que dentro das especificações de projeto, e constante fora dos limites especificados, conforme ilustrado na FIGURA 2.2a.

À essa visão, se opõe a teoria de Taguchi sobre custos da qualidade, baseada na Função Perda da Qualidade (TAGUCHI et alli, 1990). Para Taguchi, é importante pensar na qualidade em termos da “perda causada à sociedade durante o uso do produto como resultado de variações funcionais e efeitos prejudiciais”. Variações funcionais refere-se à variação do desempenho do produto com relação ao pretendido em projeto. Taguchi usa o conceito da “Função Perda da Qualidade” para quantificar

qualidade como uma “perda devido a variações funcionais”. Ele argumenta que a perda é minimizada quando o parâmetro da qualidade se encontra no seu valor nominal. Ele usa uma função quadrática, como ilustrado na FIGURA 2.2b.

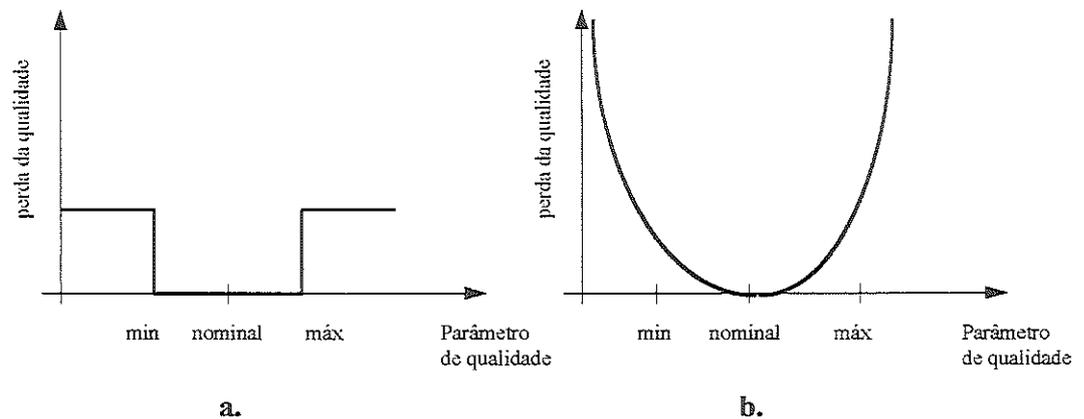


FIGURA 2.2 - Perda da qualidade em função do afastamento do valor nominal: visão tradicional (esquerda) visão de Taguchi (direita) (CARPINETTI, 1998)

Claramente, a variação dos custos da falta da qualidade conforme o modelo proposto por Taguchi é bem mais condizente com a realidade que o modelo convencionalmente aceito. Ou seja, conforme o valor do parâmetro da qualidade se afasta do seu valor nominal, os custos devido por exemplo à garantia e aos serviços de assistência ao cliente tendem a crescer. Os custos da falta da qualidade devido à não conformidades como re-trabalho é também variável em função do quanto o valor do parâmetro da qualidade se afasta do nominal.

Outro aspecto importante a se considerar é que o modelo convencional não leva em consideração os custos subjetivos decorrentes da falta de qualidade como:

- desperdício e ineficiência;
- perda de vendas por problemas de qualidade;
- perda de clientes por falta de credibilidade;
- custos de re-projeto por razões de qualidade (ou falta de qualidade);
- custos extras de fabricação, possíveis horas extras de trabalho;
- refugo não computado;
- custos adicionais devido à excessiva variabilidade do processo.

Ainda um outro custo bastante subjetivo é o decorrente da impossibilidade de conquista de novos mercados pela falta de margem de competitividade na satisfação do cliente.

Por outro lado, a concepção de Taguchi torna explícita a relação direta entre redução de variabilidade e redução de ineficiência e desperdício.

Portanto, o conceito de Nível de Qualidade Aceitável é justificado apenas quando se considera o problema de melhoria da qualidade sob a óptica desse modelo. Ou seja, esse modelo é baseado na visão tradicionalmente utilizada para a avaliação da qualidade, onde, para melhorar a qualidade de fabricação a prioridade é dada (muitas vezes única e exclusivamente) aos investimentos em novos processos, e os investimentos são avaliados considerando-se somente os retornos no curto prazo. A esta visão, entretanto, se opõe a visão da filosofia da Qualidade Total, onde melhorias significativas da qualidade podem ser obtidas através da mudança do paradigma de produção (por exemplo, maior integração entre projeto/fabricação/vendas, gerência participativa, treinamento, trabalho em equipes, delegação de responsabilidades, etc.). Estas mudanças são de efeito mais demorado, porém duradouro. Ou seja, no longo prazo, os gastos com prevenção são amortizados, os custos de falhas e avaliação diminuem, a qualidade do produto aumenta e o custo total da qualidade diminui.

2.1.7.2 Controle da Qualidade Total

Segundo GARVIN (1988), em 1956 Feigenbaum levou esse princípio a um passo adiante, propondo o “Controle Total da Qualidade”. Produtos de alta qualidade, argumentava ele, não teriam probabilidade de serem produzidos se o departamento de fabricação fosse obrigado a trabalhar isoladamente. O princípio em que se assenta esta visão de qualidade total, segundo FEIGENBAUM (1961), é que para conseguir uma verdadeira eficácia, o controle precisa começar pelo projeto do produto e só terminar quando o produto tiver chegado às mãos de um consumidor que fique satisfeito. Com isso, concluía que o primeiro princípio a ser reconhecido era de que a “qualidade é um trabalho de todos”.

Feigenbaum observou que todos os produtos novos, à medida que iam passando do projeto para o mercado, envolviam aproximadamente as mesmas

atividades. Do ponto de vista da qualidade, eles podiam ser agrupados em três categorias: controle de novos projetos, controle de material recebido e controle de produtos ou local de produção. O primeiro, por exemplo, envolvia avaliações, antes da produção, da “fabricabilidade” de um projeto, bem como a depuração de novas técnicas de fabricação por meio de produção piloto. Para terem êxito, essas atividades exigiam a cooperação de muitos departamentos. De fato, à medida que os produtos iam passando pelas três etapas principais, tinha que ocorrer a participação de grupos distintos como os de Marketing, Engenharia, Comparas, Fabricação, Expedição e Atendimento ao Cliente. Caso contrário, poder-se-iam cometer erros logo no início do processo, os quais causariam problemas mais adiante, durante a montagem ou, o que era pior, após o produto ter chegado às mãos de um cliente. Para fazer o sistema funcionar, muitas empresas criaram um sistema de matrizes, em que listavam as responsabilidades dos departamentos na fileira de cima e as atividades necessárias na coluna da esquerda. Estas matrizes, quase sempre revelavam uma considerável superposição de funções, pois poucas atividades, provavelmente, estariam livres de erro se fossem atribuídas a um único departamento ou se fossem executadas em série. Portanto, de acordo com FEIGENBAUM (1961), equipes interfuncionais tornavam-se essenciais; elas asseguravam a representação de pontos de vista variados e que os departamentos, os quais em outras circunstâncias agiam autonomamente, trabalhassem juntos. A alta gerência era responsável final pela eficácia do sistema. Para mantê-la interessada, Feigenbaum, como Juran, propôs uma cuidadosa mensuração e elaboração de relatórios dos custos da qualidade.

Os dois especialistas, enfatiza GARVIN (1988), também concordavam quanto à necessidade de um novo tipo de profissional da área da qualidade. Os métodos estatísticos ainda eram importantes, daí porque ambos os autores dedicaram grandes partes de seus livros a explicações do Controle do Processo e da Amostragem, assim como as técnicas tradicionais de Inspeção e Medições.

Mas o sistema da qualidade passara a incluir agora o desenvolvimento de novos produtos, a seleção de fornecedores e o atendimento aos clientes, além do controle de fabricação. Para fazer frente a estas responsabilidades, tanto Feigenbaum quanto Juran argumentavam que era preciso adicionar uma nova função, a da Engenharia de Controle da Qualidade.

Ela deveria estar intimamente relacionada com o planejamento da qualidade em alto nível, a coordenação das atividades de outros departamentos, o estabelecimento de padrões de qualidade e a determinação de medidas da qualidade. Estas atividades exigiam, de acordo com GARVIN (1988), uma combinação de habilidades gerenciais. Delas se depreendia que a formação estatística não mais bastava para garantir a competência de um profissional da área da qualidade.

2.1.7.3 Engenharia da Confiabilidade

Para GARVIN (1988), mais ou menos na mesma época em que Feigenbaum e Juran estavam apresentando esses argumentos, outra parte da matéria surgia com uma crença mais forte ainda na teoria da probabilidade e na estatística: a Engenharia da Confiabilidade, que tinha por objetivo garantir um desempenho aceitável do produto ao longo do tempo. Este campo esteve intimamente associado ao crescimento, após a guerra, da indústria aeroespacial e da indústria eletrônica nos Estados Unidos. Assim sendo, um de seus principais pontos de apoio foi a área militar. Em 1950, o Departamento de Defesa criou um Grupo Ad Hoc de Confiabilidade de Equipamentos eletrônicos e, em 1957, foi publicado um grande relatório sobre o assunto. Este relatório acabou levando a inúmeras especificações militares que estabeleciam os requisitos de um programa formal de confiabilidade.

Na perspectiva de GRANT e LEAVENWORTH (1980), certamente que era preciso prestar mais atenção ao desempenho do produto ao longo do tempo. O primeiro passo foi definir com maior precisão a confiabilidade: “a probabilidade de um produto desempenhar uma função especificada sem falhas, durante um certo tempo e sob condições preestabelecidas”.

Associada aos recursos da moderna teoria da probabilidade, esta definição levou a métodos formais de previsão do desempenho de equipamentos ao longo do tempo. Também resultou em técnicas de redução dos índices de falhas enquanto os produtos ainda estavam no estágio do projeto. Grande parte da análise, segundo GARVIN (1988), baseava-se no conceito de distribuição de probabilidades. Isso não passava de uma relação matemática que especificava a confiabilidade de um produto (ou, inversamente, sua taxa de falhas), como função do tempo.

Os engenheiros logo verificaram que diferentes condições de operação e diferentes produtos aproximavam-se melhor por meio de formas matemáticas diferentes. Para JURAN (1951), as mais conhecidas eram a função exponencial, que partia da premissa de que o índice de falhas de um produto permanecia relativamente inalterado durante toda a sua vida útil; a distribuição de Weibull, que permitia que as taxas de falhas aumentassem ou diminuíssem com o tempo, se os produtos melhorassem ou se deteriorassem de acordo com a idade; e a “curva da banheira”, assim chamada devido à sua forma característica, que afastava a premissa de que as taxas fossem constantes ou variassem regularmente no tempo, argumentando, ao invés disso, o que havia era um período de adaptação (quando as taxas de falhas eram altas), um período de operação normal (quando as taxas de falhas eram constantes e relativamente baixas) e uma fase de desgaste (quando as falhas aumentavam sempre e o produto deteriorava).

Essas relações eram, então, associadas a programas de testes meticulosos que simulavam condições extremas de operação, para estimular níveis de confiabilidade, mesmo antes de os produtos atingirem uma produção a plena escala. O verdadeiro objetivo da matéria era melhorar a confiabilidade e reduzir as taxas de falhas ao longo do tempo.

Segundo JURAN e GRZYNA (1980), para atingir esses objetivos, aplicava-se diversas técnicas: a Análise de Modo e Efeito de Falhas (FMEA, *Failure Mode and Effect Analysis*), que examinavam sistematicamente como um produto poderia falhar e, com base nisso, propunha projetos alternativos; a análise de componentes individuais, que calculava a probabilidade de falhas de componentes chaves, e feito isso, procurava eliminar ou reforçar os elos mais fracos; a reavaliação, que exigia que as peças fossem usadas abaixo de seus níveis de tensão especificados; e a redundância que exigia o uso de sistema paralelos para assegurar a existência de *backups* sempre que um componente ou subsistema falhasse.

Como o Controle Total da Qualidade, a Engenharia de Confiabilidade visava, antes de mais nada, prevenir a ocorrência de defeitos. Ela também enfatizava as habilidades de engenharia e atenção para a qualidade durante todo o processo de projeto.

Zero Defeito, de acordo com GARVIN (1988), é a última inovação. Até então, marco da Era da Garantia da Qualidade, seguiu uma trilha diferente: concentrava-se nas expectativas de gerenciamento e nas relações humanas.

2.1.7.4 Zero Defeito

Para WOMACK et alli (1990), o Zero Defeito teve sua gênese na *Martin Company* em 1961-62. Naquela época, *Martin* estava construindo mísseis para o exército dos Estados Unidos. Sua qualidade, de maneira geral satisfatória, só era conseguida por meio de uma maciça inspeção. Foram oferecidos estímulos aos empregados para baixar ainda mais o índice de defeito, juntamente com inspeção e testes mais intensos ainda, que resultaram, em dezembro de 1961, na produção de um míssil sem discrepância alguma e em 1962, um míssil perfeito, sem problemas físicos ou documentais. O programa resultante chamou-se “Zero Defeito”.

Ressaltava muito a filosofia, a motivação e a conscientização, dando menos ênfase a propostas específicas e técnicas de soluções de problemas. A *Martin* estava lutando contra quase trinta anos de história do controle de qualidade, uma vez que a ética da qualidade dominante na época eram os AQL ou NQA, ou seja, a idéia, associada com as técnicas de amostragem, de que bastava um nível de defeitos diferentes de zero.

2.1.7.5 Evolução e Mudança

Zero Defeito, na visão de GARVIN (1988), foi o último movimento importante da Era da Garantia da Qualidade. Juntamente com a Engenharia da Confiabilidade, o Controle da Qualidade Total e os Custos da Qualidade, ajudaram a expandir as fronteiras da profissão da área da Qualidade. Atividades de Projeto, Engenharia, Planejamento e Serviços passaram a ser tão importantes quanto a Estatística e o Controle da Produção, porém eram necessárias novas habilidades gerenciais, especialmente na área de relações humanas.

Assim, a coordenação entre as funções tornou-se um preocupação fundamental e os profissionais da área da qualidade desviaram sua atenção para o delineamento das atividades de outros departamentos.

Finalizando, a tabela a seguir, extraída de GARVIN (1988), traça a evolução de todo o processo, desde a Inspeção até a Garantia da Qualidade, mostrando como o gerenciamento da qualidade nos Estados Unidos vem se expandindo em círculos cada vez mais largos, incorporando a cada passo do processo, elementos do que a precedeu.

TABELA 2.1 - Etapas do Movimento da Qualidade (GARVIN, 1988)

ETAPAS DO MOVIMENTO DA QUALIDADE			
Identificação de características	Inspeção	Controle Estatístico da Qualidade	Garantia da Qualidade
Preocupação Básica	Verificação	Controle	Coordenação
Visão da Qualidade	Um problema a ser resolvido	Um problema a ser resolvido	Um problema a ser resolvido, mas que seja enfrentado proativamente
Ênfase	Uniformidade dos produtos	Uniformidade do produto com menos inspeção	Toda a cadeia de produção, desde o projeto até o mercado, e a contribuição de todos os grupos funcionais, especialmente dos projetistas, para prevenir falhas da qualidade
Métodos	Aparelhos de medidas e mensuração	Instrumentos e técnicas estatísticas	Programas e sistemas
Papel dos Profissionais da Qualidade	Inspeção, classificação, contagem e avaliação	Solução de problemas e a aplicação de métodos estatísticos	Mensuração da qualidade, planejamento da qualidade e projeto de programas
Quem é responsável pela Qualidade	O departamento de inspeção	Os departamentos de engenharia	Todos os departamentos, embora a alta gerência só se envolva periféricamente com os projetos, o planejamento e a execução das políticas da qualidade
Orientação e abordagem	“Inspecciona a Qualidade”	“Controla a Qualidade”	“Constrói a Qualidade”

3. FERRAMENTAS APLICADAS AO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA QUALIDADE

É extensa a literatura que trata desse assunto, podendo-se citar ISHIKAWA, JURAN, WERKEMA, entre outros. A apresentação a seguir é baseada principalmente na publicação da professora Maria Cristina Catarino Werkema (1995).

3.1 FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS DA QUALIDADE

A variabilidade, também denominada variação ou dispersão, está presente em todos os processos de produção de bens e de fornecimento de serviços. São várias as causas da sua presença, como:

- Alteração nas condições sob as quais as observações são tomadas. Por exemplo: matérias-primas, equipamentos, métodos de trabalho, condições ambientais, operadores envolvidos, etc..
- Sistema de medição empregado.

Assim, percebe-se que na fabricação de um produto atuam diversos fatores que afetam suas características de qualidade. Nesse sentido, o processo pode ser visualizado com um conjunto de censos de variação que provocam as mudanças nas diversas características da qualidade dos produtos, o que poderá dar origem aos produtos defeituosos. Entretanto, mesmo o produto não-defeituoso apresenta variações dentro dos limites de sua especificação, o que significa dizer que estes produtos não são exatamente idênticos. Portanto, um produto será considerado defeituoso se as suas características da qualidade não satisfizerem a uma determinada especificação, e será considerado perfeito ou não-defeituoso em caso contrário.

A redução da variabilidade dos processos implica em uma diminuição do número de produtos defeituosos. O emprego de ferramentas estatísticas contribui para que essa redução possa ser alcançada de forma eficaz.

Existem dois tipos de causas para a variação na qualidade dos produtos provenientes de um processo:

- Causas Comuns ou Aleatórias.

- Causas Especiais ou Assinaláveis.

A variação provocada por causas comuns, também conhecida como variabilidade natural do processo, é inerente ao processo considerado. Quando apenas estas causas estão atuando em um processo, a qualidade de variabilidade se mantém em uma faixa estável, conhecida como faixa característica do processo. Diz-se, neste caso, que o processo está sob controle estatístico, apresentando um comportamento estável e previsível.

Já as causas especiais surgem esporadicamente, devido a uma situação particular que faz com que o processo se comporte de modo muito diferente do usual. Diz-se, neste caso, que o processo está fora de controle estatístico. Neste caso, geralmente, a sua variabilidade é bem maior que a natural.

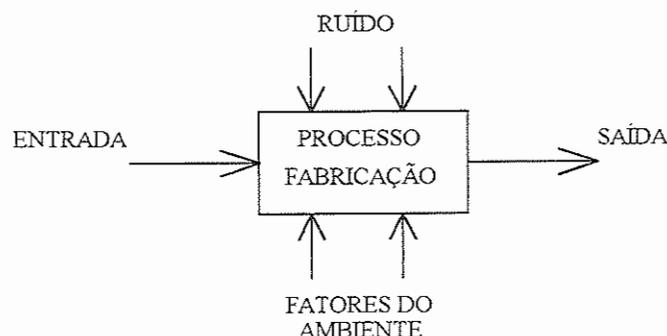
Logo, será possível reduzir a variabilidade dos processos por meio das seguintes ações:

- Eliminação das causas especiais de variação ou anomalias.
- Redução das causas comuns de variação.

Para que a redução da variabilidade e controle da capacidade de um processo seja alcançada é fundamental diferenciar, na prática, os dois tipos de causas de variação. Por meio do emprego da Estatística é possível distinguir, de forma objetiva e econômica, as causas comuns das causas especiais de variação.

3.2. CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS (CEP)

A primeira constatação importante para justificar o Controle Estatístico de Processo é que todo processo apresenta um certo grau de variabilidade em seu resultado. Ou seja, se entendemos um processo como a transformação de um conjunto de parâmetros de entrada (por exemplo material, máquina, método, trabalho) em uma saída, como um produto acabado ou semi acabado (FIGURA 3.1), sempre haverá um certo grau de variabilidade entre produtos. Por exemplo, no processo de usinagem de um eixo cuja dimensão nominal seja de 25,0 mm, devido à impossibilidade de o processo ser absolutamente repetitivo, a dimensão dos eixos fabricados se distribuirá em torno do valor nominal (FIGURA 3.1).



PARÂMETRO DE QUALIDADE

DEFINIÇÃO EM PROJETO

RESULTADO DO PROCESSO



FIGURA 3.1 - Variabilidade do resultado de um processo (CARPINETTI, 1998)

Shewhart¹, em seu trabalho pioneiro, observou que as causas da variabilidade dos processos podem ser genericamente classificadas em:

- Causas Crônicas: são as causas de variabilidade inerentes, crônicas, do processo, assim como ele foi concebido. Ou seja, dispersão do resultado do processo devido a problemas como por exemplo método inadequado, equipamentos ou ajustagem do equipamento não apropriado, por falta de treinamento ou supervisão etc. Ou seja, é o resultado da somatória de causas de variabilidade inerentes, crônicas ao processo assim como ele concebido e projetado.
- Causas Esporádicas: são variações esporádicas que se devem a problemas momentaneamente presentes e que desajustam o processo. Por exemplo, ferramenta quebrada ou desgastada, flutuação do ponto de ajuste da máquina, ou contaminação da matéria-prima, erros de operador, etc. Ou seja, se devem a problemas esporádicos, ocasionalmente presentes.

¹ W. Shewhart, *The Economic Control of Quality of Manufactured Products*, 1931.

Shewhart observou também que um conjunto (ou uma população) de resultados de um processo (como por exemplo a dimensão de um eixo usinado) sujeitos somente à variabilidade decorrente de causas crônicas, se distribui segundo uma distribuição Normal (distribuição em forma de sino).

Partindo dessas premissas, pode-se supor que num instante inicial um determinado processo esteja apenas sujeito à causas crônicas de variabilidade. Conforme o processo progride no tempo, existe a possibilidade da variabilidade do processo ser alterada devido à ação de causas esporádicas. Com isso, pode-se ter alterações:

- da média do processo (FIGURA 3.2a);
- da dispersão do processo (FIGURA 3.2b);
- de ambas (FIGURA 3.2c).

Ainda que todo e qualquer processo esteja sujeito a um certo grau de variabilidade, a variabilidade excessiva é indesejável, já que acarreta:

- perda da qualidade do resultado do processo (produto): já que haverá uma grande dispersão do resultado em torno do valor nominal;
- perda de eficiência, produtividade e aumento de custos: devido a retrabalho, refugo, custos de garantia, etc..

Com base nessa argumentação, Shewhart propôs o uso dos gráficos de controle como forma de, através do monitoramento, detectar quando o processo deixa de operar dentro dos limites definidos como “o melhor possível”.

Assim, considerando-se o processo de controle, tem-se as seguintes etapas básicas (FIGURA 3.3):

- Coleta de dados: através de instrumentos de medição, o resultado do processo (ou um parâmetro de qualidade do produto, resultante do processo, e.g. diâmetro de uma peça usinada) é coletado e registrado;
- Avaliação do processo: através de estudo de capacidade é possível avaliar a capacidade tecnológica do processo para atender às especificações de projeto; através de gráficos de controle é possível estabelecer os limites de variabilidade do processo e monitorar o processo

ao longo do tempo com o objetivo de identificar possíveis ocorrências de descontrole estatístico do resultado do processo de fabricação;

- Diagnóstico do problema: através do conhecimento do processo e da análise de todas as possíveis causas que ocasionam o resultado indesejável do processo, procura-se identificar as causas mais prováveis para a ocorrência do problema;
- Ação corretiva: a partir da consideração e identificação das causas mais prováveis para a ocorrência do problema, busca-se implementar uma ação corretiva visando a eliminação do problema e o restabelecimento do processo em controle estatístico (ou seja sujeito apenas ou principalmente à causas crônicas de variabilidade).

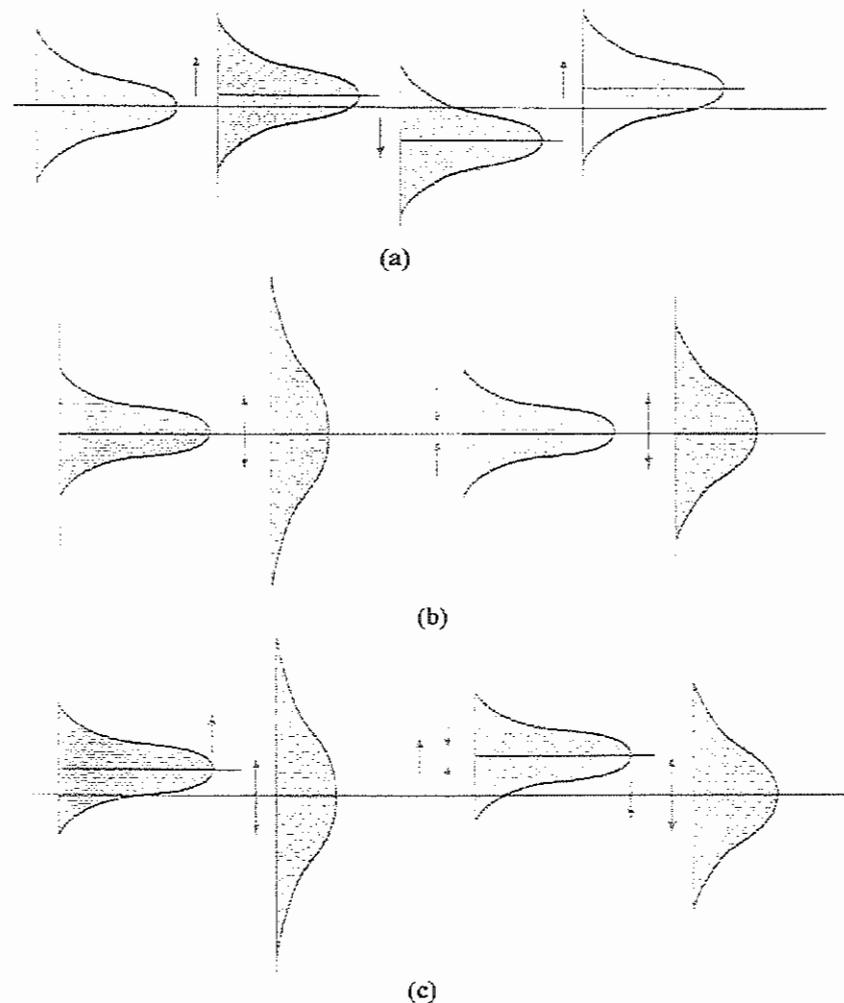


FIGURA 3.2 - Comportamento de um processo sobre o tempo (CARPINETTI, 1998)

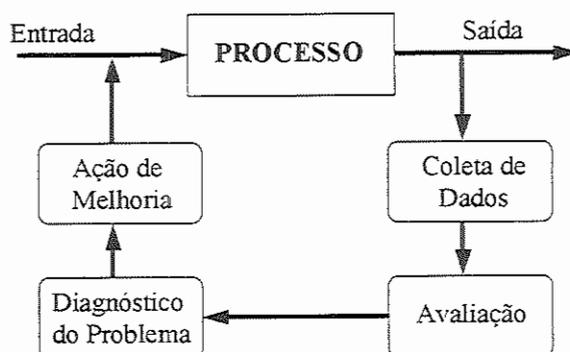


FIGURA 3.3 - Ciclo de controle da qualidade de processo (CARPINETTI, 1998)

Portanto o Controle Estatístico de Processo tem por finalidade:

- Detectar a presença de problemas esporádicos.
- Monitorar o resultado da ação de melhoria do processo, ou seja, a eliminação de causas esporádicas de variabilidade e a redução da variabilidade natural do processo.

O controle de fabricação é realizado pelo produtor durante o processo produtivo. A finalidade é manter a qualidade do produto satisfatoriamente uniforme, prevenindo a produção de itens fora da especificação de fabricação.

Todos os processos apresentam variabilidade. As características de um produto fabricado irão apresentar uma variação inevitável, devido às variações sofridas pelos fatores que compõem o processo produtivo. Estas variações podem resultar de diferenças entre máquinas, mudanças nas condições ambientais, variações entre lotes de matérias-primas, diferenças entre fornecedores, entre outras.

É importante verificar a estabilidade dos processos, já que processos instáveis provavelmente irão resultar em produtos defeituosos, perda de produção, baixa qualidade e, de modo geral, em perda da confiança do cliente.

3.3 AS SETE FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Dentre as Ferramentas Estatísticas para o Controle da Qualidade é importante destacar as chamadas “Sete Ferramentas da Qualidade”:

- 1 - Estratificação,
- 2 - Folha de Verificação,

- 3 - Gráfico de Pareto,
- 4 - Diagrama de Causa e Efeito,
- 5 - Histograma,
- 6 - Diagrama de Dispersão,
- 7 - Gráfico ou Carta de Controle.

As Sete Ferramentas da Qualidade podem ser utilizadas para a coleta, o processamento e a disposição das informações sobre a variabilidade dos processos produtivos. Além destas, pode-se destacar as seguintes técnicas estatísticas: Amostragem, Análise de Variância, Análise de Regressão, Planejamento de Experimentos, Otimização de Processos, Análise Multivariada e Confiabilidade.

3.3.1 Estratificação

A estratificação consiste na divisão de um grupo em diversos subgrupos com base em fatores apropriados, os quais são conhecidos como fatores de estratificação. As principais causas de variação que atuam nos processos produtivos constituem possíveis fatores de estratificação de um conjunto de dados. Em outras palavras, os fatores equipamentos, insumos, pessoas, métodos, medidas e condições ambientais são fatores naturais para a estratificação dos dados. Alguns exemplos de fatores de estratificação bastante utilizados são: turno, tempo (dia, semana, mês), operador, lote de matéria-prima e máquina (tipo, fabricante).

Assim, estratificação consiste no agrupamento da informação (dados) sob vários pontos de vista, de modo a focalizar a ação.

3.3.2 Folha de Verificação

A folha de verificação é a ferramenta da qualidade utilizada para facilitar e organizar o processo de coleta e registro de dados, de forma a contribuir para otimizar a posterior análise dos dados obtidos. Uma folha de verificação bem elaborada é o ponto de partida de todo procedimento de transformação de opiniões em fatos e dados.

Assim, uma folha de verificação é um formulário no qual os itens a serem examinados já estão impressos, com a finalidade de facilitar a coleta e o registro dos dados

O tipo a ser utilizado depende do objetivo da coleta de dados. Normalmente a folha de verificação é construída após a definição das categorias para estratificação dos dados. Tipos mais empregados:

- Folha de verificação para a distribuição de um item de controle de um processo produtivo.
- Folha de verificação para classificação.
- Folha de verificação para localização de defeitos.
- Folha de verificação para identificação de causas de defeitos.

3.3.3 Gráfico de Pareto

O gráfico de Pareto é um gráfico de barras verticais que dispõe a informação de forma a tornar evidente e visual a priorização de temas. A informação assim disposta também permite o estabelecimento de metas numéricas viáveis de serem alcançadas.

O princípio de Pareto estabelece que os problemas relacionados à qualidade (percentual de itens defeituosos, número de reclamações de clientes, modos de falhas de máquinas, perdas de produção, gastos com reparos de produtos dentro do prazo de garantia, ocorrências de acidentes de trabalho, atrasos na entrega de produtos, entre outros), os quais se traduzem sob a forma de perdas, podem ser classificados em duas categorias: os “poucos vitais” e os “muitos triviais”. Os poucos vitais representam um pequeno número de problemas, mas que no entanto resultam em grandes perdas para a empresa. Já os muitos triviais são uma extensa lista de problemas, mas que apesar de seu grande número, convertem-se em perdas pouco significativas. Em outras palavras, o princípio de Pareto estabelece que se forem identificados, por exemplo, cinquenta problemas relacionados à qualidade, a solução de apenas cinco ou seis destes problemas já poderá representar uma redução de 80 ou 90% das perdas que a empresa vem sofrendo devido à ocorrência de todos os problemas existentes.

O princípio de Pareto também estabelece que um problema pode ser atribuído a um pequeno número de causas. Logo, se forem identificadas as poucas causas

vitais dos poucos problemas vitais enfrentados pela empresa, será possível eliminar quase todas as perdas por meio de um pequeno número de ações. Ou seja, em um primeiro momento devemos concentrar nossa atenção sobre os poucos vitais, deixando de lado os muitos triviais, para que os problemas possam ser resolvidos da forma mais eficiente possível.

O princípio de Pareto foi inicialmente estabelecido por J. M. Juran, que adaptou aos problemas da qualidade a teoria para modelar a distribuição de renda desenvolvida pelo sociólogo e economista italiano Vilfredo Pareto (1843-1923). Pareto mostrou, em 1897, que a distribuição de renda é muito desigual, com a maior parte de riqueza pertencendo a muito poucas pessoas. Juran foi o primeiro a notar que esta mesma idéia se aplicava aos problemas da qualidade - a distribuição dos problemas e de suas causas é desigual e, portanto, as melhorias mais significativas poderão ser obtidas se nossa atenção for concentrada, primeiramente, na direção dos poucos problemas vitais e logo a seguir na direção das poucas causas vitais destes problemas.

3.3.4 Diagrama de Causa-e-Efeito

O diagrama de causa-e-efeito é uma ferramenta utilizada para apresentar a relação existente entre um resultado de um processo (efeito) e os fatores (causas) do processo que, por razões técnicas, possam afetar o resultado considerado.

Frequentemente, o resultado de interesse do processo constitui um problema a ser solucionado e, então, o diagrama de causa-e-efeito é utilizado para sumarizar e apresentar as possíveis causas do problema considerado, atuando como um guia para a identificação da causa fundamental deste problema e para a determinação das medidas corretivas que deverão ser adotadas.

A estrutura do diagrama de causa-e-efeito lembra o esqueleto de um peixe, por isto é conhecido também como Diagrama de Espinha de Peixe. Uma terceira denominação para este diagrama é Diagrama de Ishikawa, em homenagem ao Professor Kaoru Ishikawa, que construiu o primeiro diagrama de causa-e-efeito para explicar a alguns engenheiros de uma indústria japonesa como os vários fatores de um processo estavam inter-relacionados.

3.3.5 Histograma

As características da qualidade associadas a todos os produtos resultantes de processos de produção e de serviços apresentam variabilidade. No entanto, se o processo estiver sob controle estatístico, ou seja, se estiver estável, apesar dos valores individuais assumidos pelas características da qualidade variarem de um para o outro, eles seguirão um padrão, o qual é conhecido como distribuição. É importante ressaltar que a distribuição representa o padrão de variação de todos os resultados que podem ser gerados por um processo sob controle e, portanto, ela representa o padrão de variação de uma população. Por este motivo, em estatística os conceitos de população e distribuição são intercambiáveis.

Assim, distribuição é um modelo estatístico para o padrão de ocorrência dos valores de uma determinada população.

Com o objetivo de conhecer as características da distribuição associada a alguma população de interesse, retiramos uma amostra desta população e medimos, para os elementos da amostra, os valores assumidos pela variável considerada. Está claro que quanto maior for o tamanho da amostra, maior será a quantidade de informação obtida sobre a distribuição mas, ao mesmo tempo, também maior será a dificuldade de percepção das características gerais desta distribuição a partir da grande massa de dados que será gerada. Portanto, uma ferramenta que nos permita resumir as informações contidas em um grande conjunto de dados será muito útil neste contexto. O histograma é um gráfico capaz de cumprir este objetivo.

Definição:

O histograma é um gráfico de barras no qual o eixo horizontal, subdividido em vários pequenos intervalos, apresenta os valores assumidos por uma variável de interesse. Para cada um destes intervalos é construída uma barra vertical, cuja área deve ser proporcional ao número de observações na amostra cujos valores pertencem ao intervalo correspondente.

Quando todos os intervalos, nos quais o eixo horizontal é dividido, têm o mesmo tamanho, o que representa a situação mais comum para construir o histograma, basta fazer a altura de cada barra proporcional ao número de observações na amostra que assumem valores no intervalo correspondente.

Assim, o histograma dispõe as informações de modo que seja possível a visualização da forma da distribuição de um conjunto de dados e também a percepção da localização do valor central e da dispersão dos dados em torno deste valor central.

3.3.6 Diagrama de Dispersão

O diagrama de dispersão é um gráfico utilizado para a visualização do tipo de relacionamento existente entre duas variáveis.

O entendimento dos tipos de relações existentes entre as variáveis associadas a um processo, contribui para aumentar a eficiência dos métodos de controle do processo, para facilitar a detecção de possíveis problemas e para o planejamento das ações de melhoria a serem adotadas.

As duas variáveis apresentadas em um diagrama de dispersão podem ser:

- Duas causas de um processo.
- Uma causa e um efeito de um processo.
- Dois efeitos de um processo.

3.3.7 Gráficos de Controle

Os gráficos (cartas) de controle são ferramentas para o monitoramento da variabilidade e para a avaliação da estabilidade de um processo.

Um gráfico de controle é constituído por uma linha central, também chamada de linha média (LM); um par de limites de controle, representados um abaixo (limite inferior de controle - LIC) e outro acima (limite superior de controle - LSC) da linha média; e valores característicos marcados no gráfico representando o estado de um processo. Caso todos os valores traçados estejam dentro dos limites de controle, sem nenhuma tendência particular, o processo é considerado sob controle. No entanto, no caso dos pontos caírem fora dos limites de controle ou apresentarem uma disposição anormal, o processo é considerado fora de controle.

Existem dois tipos de causas para a variação na qualidade dos produtos resultantes de um processo, definidas, segundo KUME (1993), como:

- Causas Comuns ou Aleatórias:

Estas causas provocam uma variação inevitável, mesmo usando matérias-primas e métodos padronizados na realização da operação.

- Causas Especiais ou Assinaláveis:

A variação devida a essas causas consiste na existência de fatores importantes a serem examinados. Podem ser evitadas e não devem ser descuidadas (ex.: casos gerados pelo não cumprimento de certos padrões ou pela aplicação de padrões inadequados).

Com base nas definições acima, afirma-se que o processo está fora de controle (“Existem causas assinaláveis de variação e o processo não está sob controle”), caso os pontos incidam fora dos limites de controle ou demonstrem uma tendência particular. Para o controle, as causas assinaláveis devem ser eliminadas, com sua repetição evitada. Já, as variações conseqüentes das causas aleatórias são admissíveis.

Na construção do gráfico de controle, a variação ocorrida por causas aleatórias deve ser estimada. Isso é feito dividindo-se os dados em subgrupos nos quais os lotes de matérias-primas, as máquinas, os operadores e outros fatores são comuns, de forma que dentro do subgrupo a variação possa ser, aproximadamente, considerada igual à variação devida a causas aleatórias.

Portanto, basicamente, um gráfico de controle é uma representação visual de uma característica da qualidade medida ou calculada para uma amostra de itens, grafada em função do número da amostra ou de alguma outra variável indicadora do tempo (ordem cronológica).

Os gráficos de controle variam conforme os valores característicos ou finalidade. De forma geral, os limites de controle são calculados pela fórmula:

$$(\text{valor médio}) \pm 3 * (\text{desvio-padrão}),$$

o desvio-padrão é o da variação gerada pelas causas aleatórias. Esse tipo de gráfico é chamado de gráfico de controle 3-sigma.

Assim, pode-se definir que os Gráficos de Controle têm como finalidades:

- Verificar se o processo está sob controle, ou seja, a sua estabilidade. Para isso, somente valores observados em amostras são disponíveis. Não existindo padrões de comparação, a Linha Média e os Limites de Controle

são baseados na informação fornecida pelas amostras. A variação entre os valores amostrais, além daquela que se poderia atribuir ao acaso, indicará falta de controle ou de estabilidade. A situação é a da fase inicial de um programa de controle de fabricação.

- Verificar se o processo permanece sob controle. Corresponde à verificação da conformidade do processo de fabricação relativamente a um padrão que estabelece o valor da Linha Média e dos Limites de Controle. A variação dos valores amostrais, além daquela admitida no padrão e atribuída ao acaso, indicará que o processo saiu de controle. A situação é a que existe quando se deseja manter a fabricação em determinado nível de qualidade.
- Melhorar o processo, isto é reduzir a variabilidade.

3.3.7.1 Tipos de Gráficos de Controle

Existem dois tipos de gráficos de controle, definidos conforme WERKEMA (1995):

- Gráficos de Controle para Variáveis:

Quando a característica da qualidade é expressa por um número em uma escala contínua de medidas. Alguns exemplos são os gráficos de controle para o rendimento de uma reação química, a espessura de uma peça e o tempo de entrega de um produto ao cliente.

- Gráficos de Controle para Atributos:

Quando as medidas representadas no gráfico resultam de contagens do número de itens do produto que apresentam uma característica particular de interesse (atributo). Alguns exemplos são os gráficos de controle para o número de peças cujos diâmetros não satisfazem às especificações (peças defeituosas), para o número de arranhões em um determinado tipo de lente de vidro e para o número de roupas danificadas em uma lavanderia.

Gráficos de controle mais utilizados:

1. Gráficos para Variáveis:
 - a) Gráfico da média \bar{x} ;

- b) Gráfico da amplitude R ;
 - c) Gráfico do desvio padrão s ;
 - d) Gráfico de medidas individuais x .
2. Gráfico para Atributos:
- a) Gráfico da fração defeituosa p ;
 - b) Gráfico do número de itens defeituosos pn ;
 - c) Gráfico do número de defeitos c ;
 - d) Gráfico do número de defeitos por unidade u .

Os gráficos de controle são ferramentas muito efetivas em diversas etapas dos Ciclos PDCA para melhorar e para manter a qualidade.

A TABELA 3.1 apresenta uma lista de fórmulas para limites de controle.

TABELA 3.1 - Lista de Fórmulas para Limites de Controle (KUME, 1993)

Tipos de Gráfico de Controle	Limite Superior de Controle (LSC), Linha Central (LC), Limite Inferior de Controle (LIC)
\bar{x}	$\text{LSC} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$ $\text{LC} = \bar{\bar{x}}$ $\text{LIC} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$
R	$\text{LSC} = D_4 \bar{R}$ $\text{LC} = \bar{R}$ $\text{LIC} = D_3 \bar{R}$
x	$\text{LSC} = \bar{\bar{x}} + 2,66 \bar{R}m$ $\text{LC} = \bar{\bar{x}}$ $\text{LIC} = \bar{\bar{x}} - 2,66 \bar{R}m$
pn	$\text{LSC} = \bar{p}n + 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}$ $\text{LC} = \bar{p}n$ $\text{LIC} = \bar{p}n - 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}$
p	$\text{LSC} = \bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$ $\text{LC} = \bar{p}$ $\text{LIC} = \bar{p} - 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$
c	$\text{LSC} = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$ $\text{LC} = \bar{c}$ $\text{LIC} = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$
u	$\text{LSC} = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n}$ $\text{LC} = \bar{u}$ $\text{LIC} = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n}$

3.3.7.2 Utilização dos Gráficos de Controle

KUME (1993) define a utilização dos gráficos de controle:

- Gráfico $\bar{x} - R$:

Usado para controlar e analisar um processo com valores contínuos da qualidade do produto (ex.: comprimento, peso ou concentração), possibilitando um número maior de informações a respeito do processo.

\bar{x} : valor médio de um subgrupo.

R : amplitude do subgrupo.

Geralmente usa-se um gráfico R e um \bar{x} combinados, com a intenção de controlar a variação dentro de um subgrupo.

- Gráfico x :

Os dados de um processo são marcados individualmente, quando estes são obtidos num longo intervalo ou quando a formação de subgrupos não é eficaz, e o resultado pode ser usado como um gráfico de controle. Não havendo subgrupos, R não pode ser calculado, então é usada a amplitude móvel R_m , de dados sucessivos, no cálculo dos limites de controle de x .

- Gráfico pn , Gráfico p :

Utilizado quando a característica da qualidade é representada pelo número de itens defeituosos ou fração defeituosa. O gráfico pn do número de itens defeituosos é usado para amostras de tamanho constante, enquanto para amostras de tamanho variável usa-se o gráfico p da fração defeituosa.

- Gráfico c , Gráfico u :

Usados no controle e análise de um processo por meio dos defeitos em um produto (ex.: riscos em metal revestido, número de soldas defeituosas num aparelho de televisão ou irregularidades na trama de tecidos). Para um produto de tamanho constante utiliza-se o gráfico c do número de defeitos, para um produto de tamanho variável usa-se o gráfico u .

3.3.8 Gráficos de Controle para Medições Individuais

Existem muitas situações em que não é possível ou razoável formar amostras de mais de um elemento. Alguns exemplos dessas situações são (CARPINETTI, 1998):

- taxa de produção muito baixa: o que torna inaceitável permitir que se acumule observações para formar amostras $n > 1$ antes de proceder a análise;
- em inspeção automatizada: onde é viável medir cada unidade manufaturada;
- em situações onde não faz sentido tomar várias medidas que vão diferir quase que exclusivamente devido a erros de medição. Por exemplo, controle da temperatura de um forno ou controle do número de partículas no ar.

Nesses casos, gráficos de controle apropriados devem ser usados. Gráficos normalmente usados quando tem-se amostras individuais são (DEVOR, CHANG & SUTHERLAND, 1992):

- Gráficos \bar{x} e R_m (Amplitude Móvel “Moving Average”);
- Gráficos EWMA (Média Móvel Ponderada Exponencialmente ou “Exponentially Weighted Moving-Average”);
- Gráfico Cusum (“Cumulative-Sum Control Chart”);
- Gráfico Cusum Tabular ou Algorítmico (“Tabular or Algorithmic Cusum”).

Esses gráficos são discutidos a seguir.

3.3.8.1 Gráficos \bar{x} e R_m (Amplitude Móvel)

Para a construção de gráficos \bar{x} e R_m , deve-se assumir que k observações individuais consecutivas são disponíveis e que estas observações são aproximadamente distribuídas segundo uma Distribuição Normal. Os seguintes passos devem ser seguidos (DEVOR, CHANG & SUTHERLAND, 1992):

- 1) Calcular a média das observações passadas, dada por:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{k}$$

onde k deve ser maior que 25. Esta média será usada para formar a linha central do gráfico de x .

2) Calcular as amplitudes (“Moving Range”) para amostras artificiais de tamanho n :

O tamanho das amostras deve ser pequeno, preferencialmente dois ou três elementos. As amplitudes são calculadas pela diferença entre máximo e mínimo valores dentro de cada amostra artificial.

3) Calcular a amplitude média \bar{R}_m das $(k - n + 1)$ amplitudes, dada por:

$$\bar{R}_m = \frac{\sum_{i=1}^{k-n+1} R_{m_i}}{k - n + 1}$$

Esse valor será a linha média do gráfico de R_m .

4) Calcular os limites do gráfico da amplitude:

\bar{R}_m é usado como uma estimativa da amplitude média \bar{R} . Os limites do gráfico da amplitude são dados por:

$$LS = D_4 \cdot \bar{R}_m$$

$$LI = D_3 \cdot \bar{R}_m$$

onde D_3 e D_4 são as constantes usadas para a construção do gráfico R .

5) Calcular os limites do gráfico das medidas:

Dividir \bar{R}_m por d_2 (valor variável em função de n) para estimar o desvio-padrão do processo. Os limites de controle são dados por:

$$LS = \bar{x} + 3 \frac{\bar{R}_m}{d_2}$$

$$LI = \bar{x} - 3 \frac{\bar{R}_m}{d_2}$$

3.3.8.2 Gráfico Cusum

O gráfico Cusum incorpora (acumula) a informação da seqüência de amostras através do registro no gráfico da soma acumulada dos desvios, em relação ao valor alvo, das médias amostrais. Por exemplo, suponha que amostras de tamanho $n \geq 1$ são coletadas, e \bar{x}_j seja a média da j -ésima amostra. Assim, se μ_0 é o valor alvo para a média do processo, o gráfico Cusum é construído através do registro do valor

$$C_i = \sum_{j=1}^i (\bar{x}_j - \mu_0)$$

para a i -ésima amostra. C_i é chamado de soma cumulativa até (e incluindo) a i -ésima amostra. Por incorporar (em cada ponto) a informação de todas as amostras anteriores, o gráfico Cusum é mais eficiente que os gráficos de Shewart para detectar pequenas alterações no processo. Além disso, o gráfico Cusum é também adequado para amostras de tamanho $n = 1$.

Assim, se o processo permanece estável em torno da média μ_0 , a soma cumulativa definida pela expressão acima deve se distribuir aleatoriamente em torno de zero. Entretanto, se a média se desviar para um valor $\mu_i > \mu_0$, então ocorrerá uma tendência crescente da soma cumulativa. Inversamente, se a média se desviar para um valor $\mu_i < \mu_0$, então ocorrerá uma tendência decrescente de soma cumulativa. Portanto, se o gráfico registrar uma tendência crescente ou decrescente, isso deve ser considerado como uma evidência de alteração da média do processo.

Para o gráfico Cusum, os limites de controle não são linhas horizontais como nos gráficos de Shewhart. Um procedimento formal para se identificar se o processo está fora de controle é através do uso de uma “máscara V”. Uma máscara V típica é mostrada na FIGURA 3.4.

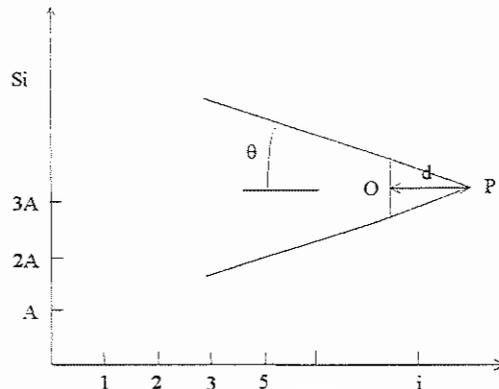


FIGURA 3.4 - Máscara V , com parâmetros de construção (MONTGOMERY, 1991)

O procedimento de decisão consiste em “sobrepor” a máscara V ao gráfico Cusum com o ponto O no último valor de C_i e com a linha \overline{OP} paralela ao eixo horizontal. Se todas as somas cumulativas anteriores estiverem contidas na região interna da máscara, o processo estará em controle. Entretanto, se algum C_j estiver localizado na região externa, o processo será considerado fora de controle.

A capacidade da máscara V em detectar desvios da média do processo depende dos parâmetros d , a distância entre os pontos O e P , e θ , a inclinação dos braços da máscara (FIGURA 3.4). Assim, se σ_x é o desvio-padrão do processo (ou da distribuição das médias de amostras de tamanho maior que 1), Δ a alteração na média que se deseja detectar, α a probabilidade de se cometer um Erro do Tipo I (supor que houve um desvio do valor médio quando na verdade não houve), e β a probabilidade de se cometer um Erro do Tipo II (não se perceber que houve um desvio da média), então as expressões para os parâmetros d e θ são conforme segue (MONTGOMERY, 1991):

$$d = \frac{2}{\delta^2} \ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right),$$

onde:
$$\delta = \frac{\Delta}{\sigma_x} \quad \text{e} \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta}{2A}\right),$$

onde: A é um fator de relação entre as unidades das escalas dos eixos vertical e horizontal. Para β pequeno, obtenção a expressão simplificada:

$$d = -2 \frac{\ln \alpha}{\delta^2}$$

Deve-se observar que se as amostras consistirem de mais de uma observação ($n > 1$), então o desvio-padrão do processo, σ_x , é substituído pelo desvio padrão da distribuição das médias $\sigma_{\bar{x}}$.

3.3.8.3 Gráfico Cusum Tabular ou Algorítmico

Conforme MONTGOMERY (1991), Gráficos Cusums podem ser construídos ambos para observações individuais e para as médias de subgrupos racionais.

O Cusum Tabular ou Algorítmico é outra forma de representar Cusums.

Considere que x_i seja a i -ésima observação no processo. Quando o processo está em controle, x_i tem uma distribuição normal com média μ_0 e desvio-padrão σ . Assume-se que σ é conhecido ou que uma estimativa está disponível.

Algumas vezes supõe-se μ_0 como valor objetivo para característica x . Se o processo desvia ou varia deste valor objetivo, o Cusum dá um sinal, e um ajuste é feito para alguma manipulação da variável afim de trazer o processo de volta ao objetivo. Também, em alguns casos um sinal do Cusum indica a presença de uma causa que deve ser investigada como no caso do gráfico Shewhart.

O Cusum Tabular trabalha por derivações cumulativas de μ_0 que estão acima do objetivo com uma característica C^+ e derivações cumulativas de μ_0 que estão abaixo do objetivo com outra estatística C^- . As estatísticas C^+ e C^- são chamadas “one-sided upper and lower cusums” (cusum acima e cusum abaixo), respectivamente. Elas são calculadas como segue (MONTGOMERY, 1991):

$$C_i^+ = \max \left[0, x_i - (\mu_0 + k) + C_{i-1}^+ \right]$$

$$C_i^- = \max \left[0, (\mu_0 - k) - x_i + C_{i-1}^- \right],$$

onde $C_0^+ = C_0^- = 0$.

Nas equações acima, k é usualmente chamado de valor de referência e é freqüentemente escolhido entre o objetivo μ_0 e o valor fora de controle μ_1 que se interessa detectar.

Então, se a variação é expressada em unidades de desvio como $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$ (ou $\delta = |\mu_1 - \mu_0|/\sigma$), então k é metade da variação,

$$k = \frac{\delta}{2}\sigma = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{2}$$

Nota-se que C_i^+ e C_i^- desvios cumulativos do valor objetivo μ_0 são maiores do que k , com ambas quantidades tendendo a zero. Se C_i^+ e C_i^- excederem o intervalo de decisão H , o processo é considerado fora de controle.

Um valor razoável para H é cinco vezes o desvio padrão do processo ($H = 5\sigma$).

3.3.9 Interpretação de Gráfico de Controle

A compreensão correta do estado do processo é fundamental no controle de processo. Para tanto, a interpretação do gráfico de controle é necessária, e se for observado algo suspeito deve-se imediatamente tomar providências apropriadas. O processo sob controle apresenta estabilidade, não havendo mudanças em sua média e variação.

Critérios indicativos de falta de controle de um processo, WERKEMA (1995):

- **Pontos Fora dos Limites de Controle**

Esta é a indicação mais evidente de falta de controle de um processo, a qual exige uma investigação imediata da causa de variação assinalável responsável pela sua ocorrência.

Muitas vezes a ocorrência de pontos fora dos limites de controle pode ser o resultado de erros de registro dos dados, de cálculo ou de medição. Esta falta de controle do processo também pode ocorrer, por exemplo, em consequência da utilização de algum instrumento descalibrado, de uma ação incorreta realizada por algum operador ou de defeitos nos equipamentos.

- **Periodicidade**

A periodicidade está presente quando a curva traçada no gráfico de controle apresenta repetidamente uma tendência para cima e para baixo, em intervalos de tempo que tem aproximadamente a mesma amplitude.

Alguns exemplos de causas especiais que podem provocar o surgimento da periodicidade são mudanças sistemáticas nas condições ambientais, cansaço do operador, rotatividade regular de operadores ou máquinas, flutuação na voltagem, na pressão ou em alguma outra variável de equipamentos utilizados na produção e alterações sazonais na qualidade da matéria-prima.

- **Seqüência**

Uma seqüência é uma configuração em que vários pontos consecutivos do gráfico de controle aparecem em apenas um dos lados da linha média. O número de pontos nesta situação é denominado comprimento da seqüência.

Uma seqüência indica uma mudança no nível do processo. Estas mudanças podem ser resultado, por exemplo, da introdução de novos operadores, matérias-primas ou máquinas, de alterações no método de inspeção ou nos padrões operacionais e de mudanças na habilidade, atenção ou motivação dos operadores.

- **Tendência**

Uma tendência consiste em um movimento contínuo dos pontos do gráfico de controle em uma direção (ascendente ou descendente).

A ocorrência de uma tendência constituída por sete ou mais pontos consecutivos ascendentes ou descendentes é uma indicação de falta de controle do processo.

As tendências são geralmente provocadas pelo desgaste ou deterioração graduais de ferramentas ou de equipamentos, mas também podem ser devidas a fatores humanos, tais como cansaço do operador ou presença de supervisores. Mudanças graduais nas condições ambientais (temperatura, pressão e umidade) também podem resultar em tendências. Em processos químicos, este tipo de configuração pode surgir como resultado da sedimentação ou separação dos componentes de uma mistura.

- **Aproximação dos Limites de Controle**

A aproximação dos limites de controle corresponde à ocorrência de dois de três pontos consecutivos fora dos limites 2σ , apesar destes pontos ainda estarem dentro dos limites de controle 3σ .

Quando os pontos grafados tendem a cair próximos ou mesmo levemente fora dos limites de controle, com relativamente poucos pontos próximos da linha média, podem existir duas diferentes distribuições sobrepostas gerando o resultado do processo (duas máquinas que trabalham de maneiras diferentes, por exemplo). Em casos deste tipo é aconselhável construir gráficos de controle separadamente para os dois diferentes processos que estão gerando os resultados da característica da qualidade de interesse.

- **Aproximação da Linha Média**

Quando a maioria dos pontos grafados está distribuída muito próximo da linha média, dentro das linhas centrais $1,5\sigma$ e, portanto, apresentando uma variabilidade menor do que a esperada, obtém-se uma indicação de que podem ter ocorrido erros nos cálculos dos limites de controle ou de que as amostras foram formadas de maneira inadequada.

Portanto, a aproximação da linha média não significa um estado de controle, mas pode estar indicando a mistura de dados provenientes de populações distintas em um mesmo subgrupo, o que aumenta muito a largura dos limites de controle. Neste caso será necessário mudar o modo de formação dos subgrupos.

3.3.10 Limites de Controle e Limites de Especificação

Segundo WERKEMA (1995), é importante enfatizar que não existe relacionamento entre os limites dos gráficos de controle e os limites de especificação para o processo. Os limites de controle resultam da variabilidade natural do processo. Já os limites de especificação são determinados externamente, podendo ser estabelecidos pela gerência, pelos engenheiros responsáveis pela produção ou pelos responsáveis pelo planejamento do produto. Observa-se que os limites de especificação devem refletir as necessidades dos clientes. É necessário conhecer a variabilidade inerente ao processo durante o estabelecimento das especificações, mas

deve-se sempre lembrar de que não existe relacionamento matemático ou estatístico entre os limites de controle e os limites de especificação.

A comparação dos dados gerados pelo processo com os limites de especificação deve ser feita com base na unidade de medida estabelecida nas especificações. Se os limites de especificação são determinados com base em itens individuais gerados pelo processo, eles devem ser comparados com as observações referentes a cada item e não com valores médios. Por este motivo, os limites de especificação não devem ser representados no gráfico de controle \bar{x} .

Um processo pode se enquadrar em qualquer uma das quatro categorias apresentadas a seguir:

- processo não está sob controle e produz itens defeituosos.
- processo não está sob controle, mas não produz itens defeituosos.
- processo está sob controle, mas produz itens defeituosos.
- processo está sob controle e não produz itens defeituosos.

Conclui-se que os limites de controle permitem avaliar se o processo está ou não sob controle estatístico, e os limites de especificação permitem avaliar se o processo produz ou não itens defeituosos.

3.3.11 Tamanho das Amostras e Frequência de Amostragem

Na construção dos gráficos de controle, precisa-se definir o tamanho da amostra e a frequência da amostragem. Em geral, amostras grandes tornam mais fácil a detecção de pequenas alterações da média. A situação mais desejável seria coletar amostras grandes e frequentemente. Entretanto, essa opção é, na maioria das vezes, inviável economicamente. As alternativas viáveis seriam:

- tomar amostras pequenas frequentemente;
- tomar amostras grandes, porém menos frequentes.

Na prática, especificamente em produção seriada de grandes lotes, a melhor opção é trabalhar com amostras pequenas, coletando amostras frequentemente.

Uma maneira mais objetiva de abordar esse problema, é através do uso do conceito de ARL (Average Run Length), que indica o número médio de pontos

decorridos (plotados no gráfico) antes que se perceba um problema (violação de uma das regras de controle estatístico). Ou seja, o número de amostras decorridas (ou tempo de produção) entre a ocorrência do problema e a indicação no gráfico. (MONTGOMERY, 1991)

3.3.12 Amostragem Estratificada

Em muitas situações, é comum supor que resultados de processos paralelos e supostamente idênticos possam ser combinados para formar uma única amostra. Por exemplo, uma peça de cada máquina de um conjunto de 4 máquinas trabalhando em paralelo formando uma amostra de tamanho $n = 4$ (FIGURA 3.5). Deve-se perceber que, por mais similares que sejam os processos, e ainda que sujeitos à causas crônicas e esporádicas de variabilidade de mesma natureza, essas causas de variabilidade vão se manifestar de maneira diferenciada para cada máquina. (CARPINETTI, 1998)

Assim, quando não se estratifica os dados resultantes de processos diferentes, a média e amplitude amostrais representam a média dos valores obtidos por diferentes processos e a amplitude a diferença máxima entre esses valores. É fácil perceber que essas estatísticas não estão relacionadas com a média de resultados de um particular processo e a amplitude dos resultados. Ou seja, quando se estratifica os resultados (cada processo tratado separadamente), as estatísticas de amostras sucessivas vão descrever o comportamento do processo ao longo do tempo. Ao passo que, quando não se estratifica os resultados (como ilustrado na FIGURA 3.5), qualquer diferença entre as máquinas se manifestará dentro da amostra, através do aumento da amplitude ou variação da média amostral, não sendo possível perceber, a partir do gráfico, qual máquina ou processo está operando em descontrole ou apresentando variação excessiva ou flutuação da média. Portanto, deve-se construir gráficos de controle a partir de dados estratificados por máquina.

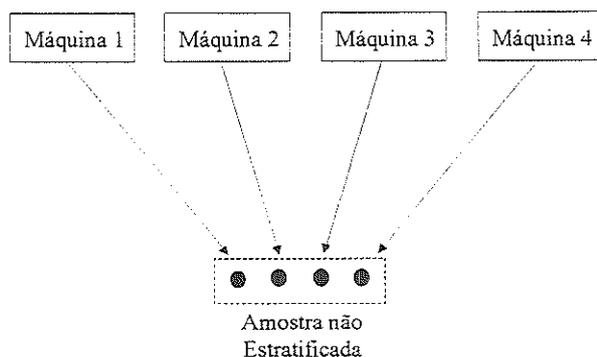


FIGURA 3.5 - Ilustração gráfica da construção de amostras não estratificadas (CARPINETTI, 1998)

Ainda um outro problema relacionado à formação de amostras ocorre quando os resultados de uma ou diversas máquinas são combinados em um fluxo de saída, por exemplo em uma esteira, como ilustrado na FIGURA 3.6. Nesse caso, perde-se a informação sobre a ordem temporal de produção das peças. Assim, se as amostras forem formadas a partir de peças retiradas aleatoriamente do fluxo de saída, as estatísticas calculadas a partir dessas amostras deixam de ter significado para o controle da média ou dispersão dos processos. Portanto, a construção das amostras deve ser feita antes que as peças se misturem umas com as outras.

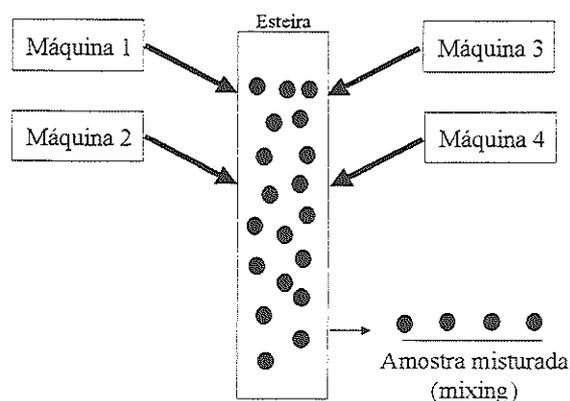


FIGURA 3.6 - Ilustração de amostragem a partir da mistura ou mixing de peças (CARPINETTI, 1998)



3.4 CAPABILIDADE DE PROCESSO

Um processo estável (sob controle estatístico) apresenta previsibilidade. No entanto, é possível que mesmo um processo com variabilidade controlada e previsível produza itens defeituosos. Logo, não é suficiente simplesmente colocar e manter um processo sob controle. É fundamental avaliar se o processo é capaz de atender às especificações estabelecidas a partir dos desejos e necessidades dos clientes. É justamente esta avaliação que constitui o estudo da capacidade do processo. Ainda pode-se observar que, se o processo não é estável, ele possui um comportamento imprevisível e, portanto, não faz sentido avaliar a sua capacidade.

A capacidade do processo é definida a partir da faixa $\pm 3\sigma$, a qual é denominada faixa característica do processo. Se o processo estiver sob controle e se for verdadeira a suposição de normalidade, 99,73% dos valores da variável x de interesse devem pertencer a esta faixa. Então, para o estudo da capacidade do processo deve ser comparada esta faixa com as especificações.

Como μ e σ são desconhecidos, eles deverão ser estimados por meio de dados amostrais para que a capacidade do processo possa ser avaliada. A média μ é bem estimada pela média amostral \bar{x} , enquanto σ pode ser estimado por s , \bar{s}/c_4 ou \bar{R}/d_2 .

Estudos de capacidade de processo são essenciais para o planejamento e controle da qualidade de fabricação em desenvolvimento e homologação de processos, fornecendo informações como:

- adequabilidade de processo;
- necessidade de promover ajustes no processo ou estudos para a redução da variabilidade do processo;
- desempenho necessário para novos processos;
- intervalo de amostragem mais adequado para o controle estatístico do processo.

3.4.1 Análise Gráfica da Capacidade de Processos

A análise gráfica da capacidade de um processo consiste na comparação de histogramas e/ou gráficos seqüenciais construídos para a característica da qualidade de interesse com os limites de especificação.

Um processo pode não ser capaz por apresentar:

- Elevada variabilidade.
- Média deslocada em relação ao ponto médio dos limites de especificação (valor nominal).

3.4.2 Índices de Capacidade

Outra forma de expressão da capacidade de um processo consiste no cálculo dos chamados índices de capacidade. Estes índices são números adimensionais que permitem uma quantificação do desempenho dos processos.

Os índices de capacidade processam as informações de forma que seja possível avaliar se um processo é capaz de gerar produtos que atendam às especificações provenientes dos clientes internos e externos.

Para utilizar os índices de capacidade é necessário que:

- processo esteja sob controle estatístico.
- A variável de interesse tenha distribuição próxima da normal.

3.4.3 Índice C_p

Caso a variável de interesse tenha especificação bilateral, o índice C_p é definido por:

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

O índice C_p relaciona aquilo que se deseja produzir (LSE - LIE), que corresponde à variabilidade permitida ao processo, com a variabilidade natural do processo (6σ). É fácil perceber que quanto maior for o valor de C_p , maior será a capacidade do processo em satisfazer às especificações, desde que a média μ esteja centrada no valor nominal.

Como o desvio padrão σ do processo usualmente é desconhecido, deve-se substituí-lo por uma estimativa: s , \bar{R}/d_2 ou \bar{s}/c_4 .

A TABELA 3.2 apresenta um critério para classificação de processos segundo o índice C_p , o qual vem sendo utilizado por diversas empresas. O valor mínimo exigido para C_p é 1,33.

TABELA 3.2 - Classificação de Processos a Partir do Índice C_p , conforme WERKEMA (1995)

CLASSIFICAÇÃO DO PROCESSO	VALOR DE C_p	PORPORÇÃO DE DEFEITUOSOS (p)
CAPAZ OU ADEQUADO (VERDE)	$C_p \geq 1,33$	$p \leq 64$ ppm
ACEITAVEL (AMARELO)	$1 \leq C_p < 1,33$	$64 \text{ ppm} < p \leq 0,27 \%$
INCAPAZ OU INADEQUADO (VERMELHO)	$C_p < 1$	$p > 0,27 \%$

3.4.4 Índice C_{pk}

O índice C_{pk} permite avaliar se o processo está sendo capaz de atingir o valor nominal da especificação, já que ele leva em consideração o valor da média do processo. Logo, o índice C_{pk} pode ser interpretado como uma média da capacidade real do processo. C_{pk} é definido por

$$C_{pk} = \text{MIN} \left[\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right]$$

C_{pk} é calculado em relação ao limites de especificação mais próximo da média do processo. Quando a média do processo coincide com o valor nominal da especificação, tem-se $C_p = C_{pk}$. Novamente, como a média μ e o desvio padrão σ do processo usualmente são desconhecidos, deve-se substituí-lo por estimativas adequadas: \bar{x} e s , \bar{R}/d_2 ou \bar{s}/c_4 .

3.4.5 Índices de Capabilidade para Situações em que Há Apenas um Limite de Especificação

- Quando existe apenas o limite inferior de especificação.

$$C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}$$

- Quando existe apenas o limite superior de especificação.

$$C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma}$$

Neste caso, também é usual a utilização de estimativas da média e do desvio-padrão para o cálculo dos índices.

4. TECNOLOGIA TÊXTIL

4.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA INDÚSTRIA TÊXTIL

Anteriormente ao século XVIII não havia indústria propriamente dita, não sendo próprio, portanto, afirmar que a indústria têxtil remonta os tempos da antiguidade. Porém, na realidade naquela época sua produção era artesanal e manual.

Na Europa, antes da utilização manufatureira do fio de algodão no século XVIII, as fibras utilizadas eram apenas a lã, o linho e a seda. (OLIVEIRA, 1997)

Na Inglaterra, a possibilidade de se usar o algodão e os inventos desenvolvidos contribuíram significativamente para a evolução e expansão da indústria têxtil. Esses inventos eram equipamentos simples e manuais que melhoravam alguns aspectos das ações de fiação e tecelagem, porém foram bastante utilizados até meados de 1800.

Por volta de 1785, surgiu o primeiro tear mecânico, apresentado em Manchester, inventado por E. Cartwright.

Inúmeros estudos e propostas foram sendo realizados ao longo de um processo moroso e disperso, que são ligados às tentativas de mecanização do velho tear Chinês de lacetes, que vinha já de 1200 AC.

A indústria têxtil é originalmente a indústria da produção de tecidos, recebendo essa denominação o conjunto de empresas que se utilizam de procedimentos e de máquinas destinado a transformar fibras em tecidos. Como os tecidos são produzidos com fios, a indústria de fiação é considerada também têxtil, assim como as beneficiadoras (tinturarias e estamparias) e confecções.

A utilização dos tecidos ampliou-se muito nos últimos anos. Se no início era preponderante sua aplicação no vestuário, hoje estende-se nos produtos automobilísticos, aeroespaciais, médicos, da construção civil e a tantas outras.

A partir de 1800 e durante dois séculos, muitos foram os inventos e aperfeiçoamentos que surgiram diretamente aplicáveis às indústrias em formação.

Em 1809, os teares Jacquard foram postos em prática e permitiram a realização de desenhos e estampas resultantes do cruzamento entre os fios de urdume e trama. Essa máquina é comandada por um sistema de cartões perfurados.

A idéia dos cartões perfurados proposta por Jacquard foi utilizada posteriormente para realizar operações de entrada e saída de dados nos computadores eletrônicos.

“Após a II Guerra, foram introduzidas grandes melhorias nos sistemas de fiação, que melhoraram a qualidade dos fios produzidos, sendo que nos meados de 1970 apareceu o novo sistema de fiação open end que ampliou a capacidade produtiva”.

(NEVES, 1987)

Uma representação da evolução dos teares, mostrando os tipos de equipamentos pode ser vista na FIGURA 4.1:

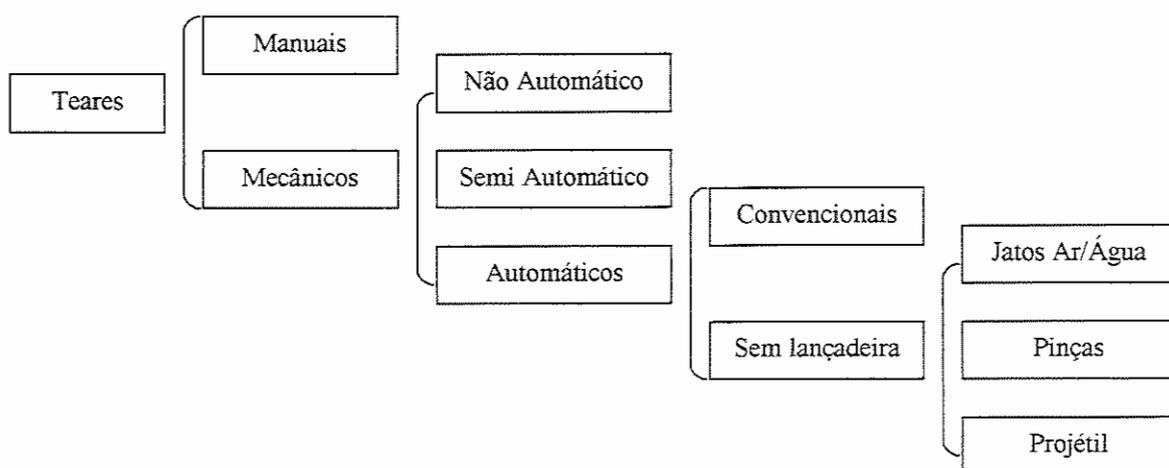


FIGURA 4.1 - Quadro comparativo da evolução dos teares (ARAUJO & CASTRO, 1984)

Atualmente, os teares mais modernos utilizam dispositivos automáticos sem lançadeiras, com projéteis, inicialmente utilizados no tear Sulzer e comercializados a partir de 1953, ou impulsionados por jatos de ar e água. (OLIVEIRA, 1997)

A história que descreve a evolução da indústria têxtil em Portugal apresenta-nos fatos que transcrevem nossa própria realidade, pois naquele país, antes do século XVIII, a produção têxtil era uma atividade artesanal, doméstica e manual. Mesmo em tais condições essa atividade teve períodos de prosperidade e decadência, conforme

os fatores internos e externos da época. Por vezes as políticas dos reis protegiam as indústrias proibindo as importações de tecidos estrangeiros, e outras vezes faziam ao contrário.

Hoje, as empresas em geral passam por uma fase de modernização, em nível mundial, buscando maior eficiência, produtividade, qualidade de seus produtos, a fim de competir no mercado globalizado. Essa também é a situação da indústria têxtil. No Brasil, essa modernização caminha a passos lentos, porém na Europa e países asiáticos tal processo encontra-se em plena evolução.

A indústria têxtil é formada por uma ampla cadeia de produção, na qual participam desde agro-indústrias até indústrias de tecelagem ou confecção, sendo responsáveis pela produção de fibras têxteis até a venda do produto final ao consumidor, conforme o demonstrado na FIGURA 4.2 a seguir:

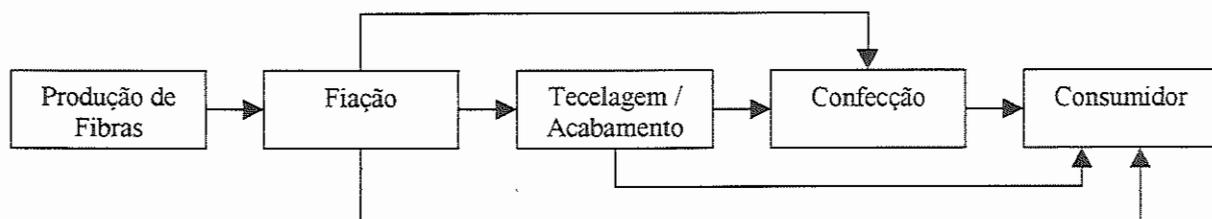


FIGURA 4.2 - Cadeia têxtil resumida (OLIVEIRA, 1997)

Cada uma das áreas possui suas sub-áreas e por consequência seus processos e equipamentos produtivos.

Referente à produção de fibras, destacam-se as produtoras e beneficiadoras de fibras naturais de origem vegetal e animal, e também as indústrias químicas produtoras das fibras sintéticas.

A Fiação se destaca pelas indústria de manufatura dos fios têxteis e de beneficiamento, tinturarias e acabamento.

Na área de Tecelagem temos as indústrias de tecelagem tais como malharia e tecidos planos.

Finalmente, a indústria da Confecção, responsável pelo consumo dos derivados das Tecelagens e Fiações, fabricando as inúmeras peças de vestuário a serem consumidas.

Praticamente, em toda cadeia têxtil existirão produtos derivados de seus processos que poderão diretamente ser oferecidos a outras áreas ou ao mercado consumidor.

4.2 OS CAMINHOS DA INDÚSTRIA TÊXTEL NACIONAL

“O Brasil passou por diversas políticas de desenvolvimento industrial, iniciando-se na década de 40, que proporcionaram ao país, essencialmente agrícola, a passagem para uma nação preponderantemente industrial”.
(SATO, 1995)

As indústrias consideradas tradicionais, como a têxtil, trilharam para a evolução de forma diferente, com um perfil histórico muito mais longo. A indústria têxtil foi a primeira manufatura a se instalar no Brasil, registrando-se a instalação da primeira fábrica em Petrópolis (RJ), por volta de 1817, por concessão régia do trono imperial de Portugal que, até essa época, proibia qualquer atividade manufatureira no território que pudesse concorrer com as fábricas da metrópole. (OLIVEIRA, 1997)

O impulso nas indústrias têxteis nacionais ocorreu durante a Segunda Guerra (1939-1945). Isto aconteceu devido, principalmente, ao impedimento da vinda de produtos dos tradicionais fornecedores europeus e norte-americanos que se encontravam voltados para as atividades bélicas, mantendo-se a indústria têxtil brasileira fechada e protegida pelos governos que se sucederam.

A consequência desse fechamento foi a baixa absorção dos novos conceitos de produção que alteraram, mundialmente, o comportamento das indústrias, sendo as mesmas acordadas bruscamente por um processo de liberalização do comércio exterior, iniciada no ano de 1991, que reduziu as alíquotas de importação em um momento totalmente desfavorável pelo qual passava a economia brasileira: altas taxas de inflação, profunda recessão, sobrecarga tributária, elevados encargos sociais, custo do capital proibitivo e infra-estrutura deficiente.

A TABELA 4.1 mostra a distribuição de tipos de equipamentos, quanto ao nível tecnológico, no atual parque têxtil instalado, no mercado brasileiro, conforme:

TABELA 4.1: Parque têxtil instalado (IMEI*. 1993/94)

Parque instalado		1993	1994
Tecelagem	Teares com lançadeira	140.145	135.579
	Teares com projétil	4.530	4.678
	Teares de pinça	20.236	21.040
	Teares jato de ar	3.690	4.140
	Teares jato d'água	74	152
	Total	168.675	165.589
Fiação	Fusos	9.500.000	
	Rotores Open-End	192.000	
Malharia	Circular	6.970	
	Retilínea	20.000	
	Kettenstul	3.425	
	Malimo	27	
Confecção	Costura Reta	348.560	
	Overloque	257.140	

* IMEI - Instituto de Estudos e Marketing Industrial.

“Como resultado, muitas dessas empresas tradicionais que preferiram aplicar o capital na ciranda financeira ao invés de investir na modernização de suas instalações e recursos humanos capacitados encerraram suas atividades, isto devido à entrada no país de tecidos e produtos têxteis, oriundos da Ásia, com preços muito competitivos, gerados por uma mão-de-obra barata e subsídios governamentais de matérias-primas”. (MIRANDA, 1995)

“O Brasil vive um desafio que determinará a sobrevivência ou não dessa indústria, considerando que os teares modernos trabalham com velocidades de até 2000 rpm, enquanto que 90% dos teares instalados operam abaixo dos 200 rpm, podemos inferir o grau de sucateamento em que se encontra a indústria têxtil nacional”. (ALVAREZ & RAHMILEVITZ, 1988)

“Ainda, se levarmos em conta que com uma máquina obsoleta, dificilmente se conquistará o padrão de qualidade necessário para se conseguir competitividade o quadro torna-se mais negro ainda”. (SILLY, 1995)

Deve-se ressaltar que, apesar da evolução das máquinas produtivas em todos os setores da indústria têxtil, o processo de formação de tecidos não mudou muito desde a fabricação na antiguidade nos teares mais antigos: os fios de urdume dispostos em sentido longitudinal são trançados por fios de trama, dispostos no sentido transversal.

Os equipamentos modernos de produção têxtil permitem uma maior produtividade, devido aos novos sistemas de acionamento, e a maior flexibilidade, devido aos dispositivos computadorizados incorporados, que refletem uma maior possibilidade de definições de padrões de estampas e figuras, além de redução significativa no tempo de “set-up” da máquina.

Entretanto, para a sobrevivência e fortalecimento das empresas, não basta apenas adquirir modernos equipamentos. É preciso saber gerenciar a tecnologia e o processo produtivo, possibilitando aumentos na produtividade e melhoria da qualidade dos produtos.

4.3 TECNOLOGIA E PROCESSO DE FIAÇÃO

Sob a designação de “Fiação” entende-se o conjunto das operações necessárias à transformação de fibras têxteis (em rama) em fios. Existe uma grande variedade de fibras que podem ser utilizadas para esse fim, contudo apenas um número limitado de fibras são utilizadas industrialmente. As características físicas das fibras são fatores determinantes do tipo de tecnologia a utilizar. (ARAÚJO & CASTRO, 1984)

O processo de fiação completo pode compreender três aspectos que podem ou não coexistir simultaneamente:

- limpeza, abertura e homogeneização da matéria-prima;
- regularização e redução da massa por unidade de comprimento;
- coesão da massa fibrosa linear.

Por razões de metodologia e de seguimento do processo é normal considerarem-se 3 fases:

- Limpeza ou depuração: Englobam-se nesta fase todos os tratamentos cuja finalidade consiste em separar a fibra em bruto das matérias estranhas que a ela se encontram ligadas.
- Preparação: As operações de preparação à fiação podem agrupar-se em 2 subgrupos. No primeiro englobamos todos os tratamentos sobre a matéria mais ou menos individualizada, com a finalidade principal de continuar a limpeza e conseguir que o produto final tenha uma boa regularidade, sem procurar no entanto uma redução da massa fibrosa por unidade de comprimento.
É neste conjunto de operações que habitualmente se aproveita para fazer a mistura dos vários componentes fibrosos, a fim de se conseguir uma mistura íntima, homogênea e regular. No segundo subgrupo, procura-se prioritariamente obter uma redução da massa fibrosa por unidade de comprimento, de uma forma progressiva ao longo das várias máquinas constituintes do processo.
- Fiação propriamente dita: Esta é a operação, durante a qual a matéria-prima já preparada será reduzida à finura final (ou massa por unidade de comprimento) previamente fixada, obtendo ainda a consistência necessária à sua utilização posterior através da aplicação da torção.

4.3.1 Características Físicas das Matérias Têxteis Visando a sua Utilização no Processo de Fiação

A fiação consiste essencialmente em transformar a matéria-prima fibrosa num fio com a massa por unidade de comprimento desejada. As características físicas da matéria-prima condicionam ou definem o processo de fiação a ser utilizado, bem como o fio mais fino (com menor massa por unidade de comprimento) que pode ser produzido.

As características físicas das fibras mais relevantes para o processo de fiação são as seguintes:

- Finura: condiciona a capacidade de fiação ou limite de finura do fio.

- Comprimento da fibra elementar: determina o processo de fiação, quer no caso de fibras isoladas, quer em feixes; no caso do trabalho sobre fibras isoladas vai condicionar a regularidade da “estiragem”.
- Flexibilidade: condiciona a capacidade de torção.
- Resistência e elasticidade: determinam a utilização dos fios.
- Grau de impurezas: condiciona o rendimento da matéria-prima e atua mesmo ao nível da capacidade de deslizamento, quando as impurezas se encontram fixadas fortemente à fibra e não são eliminadas nas operações preliminares.

A importância de cada uma destas características é bastante variável, em função das matérias-primas, sejam elas de origem natural ou obtidas por meio de processo industriais, isto é, regeneradas e sintéticas.

4.3.2 Limpeza e Preparação da Matéria-Prima (Algodão Virgem)

O algodão chega à fiação sob a forma de fardos em que a matéria-prima se encontra fortemente comprimida e intimamente misturada a restos de folhas e à cápsula que a continha, sementes ou partes de sementes, impurezas terrosas, etc. O algodão encontra-se aglomerado sob a forma de emaranhados de fibras de maior ou menor dimensão provocados em parte pela grande pressão necessária à confecção dos fardos o que não vai facilitar a extração individual das impurezas estranhas ao algodão.

Devido à pequena dimensão dessas impurezas a sua eliminação só é possível pela divisão desses emaranhados a uma dimensão mínima, a que se chama flocos. O trabalho de depuração exige portanto uma divisão, a que correntemente se chama “abertura”. A abertura consiste, portanto, na redução das camadas de algodão retiradas dos fardos a flocos, de forma manual ou automática, o que vai permitir uma libertação gradual de parte das impurezas. Essa libertação só será completa num estágio posterior do processo de fabricação, em que por sua vez os flocos serão desagregados e as fibras individualizadas completamente.

A depuração ou limpeza é feita, portanto, em 2 fases: a chamada abertura-batedura e a fase da divisão mais fina tratada à frente, aquando da cardação. No entanto, a depuração continuará durante todo o processo de fabricação, com um grau

maior ou menor, incluindo o contínuo de fiação, ao nível do qual ainda se continua a verificar a queda de pequenas partículas vegetais.

Esta depuração inicial, a abertura-batedura consegue-se pela utilização de um conjunto de máquinas que podem ser agrupadas nas seguintes famílias:

- abre-fardos ou abridores de fardos;
- misturadores;
- carregadores;
- limpadores batedores;
- condensadores pneumáticos;
- abridores;
- batedores.

4.3.3 Divisão da Matéria-Prima (Algodão) Fibra a Fibra

A divisão da matéria-prima fibra a fibra tem por finalidade prepará-la para as operações posteriores de redução de espessura ou da massa por unidade de comprimento, o que lhe permitirá chegar ao estágio final do fio. O conjunto de operações a serem executadas depende da natureza das fibras e do produto final desejado. Na fiação de fibras de algodão, esta divisão da matéria é efetuada por cardação.

4.3.3.1 Cardação

O objetivo principal da cardação consiste em separar as fibras umas das outras, libertando-as das impurezas que ainda possam arrastar consigo e das fibras que, pelas suas características físicas, prejudicariam a qualidade do fio a fabricar. A cardação possibilita ainda uma mistura mais íntima das fibras.

A carda permite também uma depuração complementar, que no caso do algodão se traduz na eliminação dos emaranhados de fibras (“neps” ou borbotos), algumas fibras curtas e de fibras imaturas.

Finalmente, a cardação efetua uma redução da massa por unidade de comprimento da matéria fibrosa que sairá da carda sob a forma de uma fita de fibras contínua que irá alimentar as máquinas seguintes.

Tradicionalmente as cardas são alimentadas por mantas de batedor (podendo modernamente ser alimentada por flocos provenientes diretamente da seção de abertura).

4.3.4 Preparação à Fiação

4.3.4.1 Estiragem por Cilindros

A idéia básica de estiragem por cilindros é simples. Se se introduzir uma fita ou uma mecha entre uma par de cilindro giratório em contato e seguidamente entre outro par de cilindros movimentando-se a uma velocidade seis vezes maior que o primeiro, a fita ou mecha resultante será seis vezes mais comprida e mais fina que a introduzida no primeiro par de cilindros. Neste caso, diz-se que se efetuou uma estiragem de seis.

4.3.4.2 Penteação

A penteação tem por objetivos endireitar e paralelizar as fibras e ainda remover fibras curtas e impurezas por intermédio de pentes assistidos por escovas, cilindros e por vezes facas.

4.3.4.3 Preparação à Fiação das Fibras Curtas (Algodão)

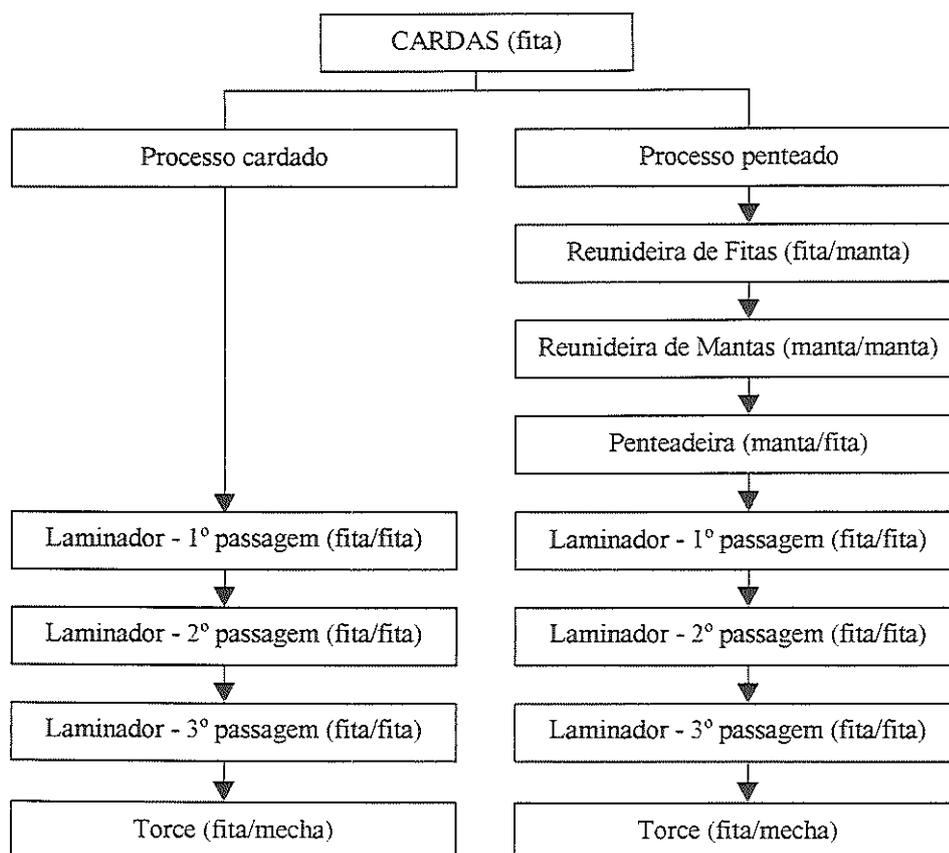
A preparação à fiação tem por objetivo obter, a partir de uma fita cardada, uma mecha com uma espessura tal que permita ao contínuo de fiação fiar um fio com a espessura desejada.

Na fiação das fibras curtas existem duas vias de produzir fio:

- Processo do fio cardado: por meio deste obtêm-se fios com massas por unidade de comprimento, situadas, em média, entre 15 e 100 gramas por quilômetro de comprimento.
- Processo do fio penteado: através deste obtêm-se fios mais finos e de melhor qualidade, cuja massa por unidade de comprimento se situa entre 5 e 30 gramas por quilômetro de comprimento. Para se obterem estes fios, utiliza-se matéria-prima da melhor qualidade e as fibras necessitam de ser tratadas numa penteadeira ue elimina uma parte das fibras mais curtas,

assim como pequenas impurezas que tenham escapado à ação de limpeza da carda.

As máquinas encontradas na preparação à fiação de fibras curtas encontram-se em forma esquemática na FIGURA 4.3.



Obs: As designações entre parênteses, encontradas a seguir a cada uma das máquinas, indicam a forma como a matéria se apresenta à entrada e à saída. Assim, por exemplo, na penteadeira encontramos (manta/fita) o que quer dizer, que a penteadeira é alimentada por mantas e a sua saída é uma fita.

FIGURA 4.3 - Processo de preparação à fiação de fibras curtas (ARAUJO & CASTRO, 1984)

Conforme se pode verificar pela análise da FIGURA 4.3, o processo de fiação do fio penteado é um processo mais elaborado e especializado que o do fio cardado, exigindo um maior número de máquinas com funções específicas.

4.3.5 Fiação Propriamente Dita

O último estágio de fabricação do fio, ou fiação propriamente dita é efetuado sobre um tipo de máquina de funcionamento contínuo.

4.3.5.1 A Moderna Fiação Contínua

Um contínuo de fiação é uma máquina que executa simultaneamente as operações de estiragem, torção e enrolamento do fio final.

O Contínuo de Anéis Moderno

O contínuo de anéis moderno é uma máquina extremamente eficiente, e sem dúvida o sistema mais utilizado na fiação de fios produzidos a partir de fibras descontínuas. A sua constituição é a seguinte:

- um dispositivo de alimentação que depende da forma como se apresenta a matéria a fiar.
- um sistema de estiragem que depende da natureza do produto têxtil (fibra curta, média ou longa).
- um sistema de torção que depende do tipo de máquina independentemente do produto têxtil trabalhado.
- um sistema de enrolamento, que depende do tipo de máquina quanto ao princípio utilizado, apresentando, porém, um dispositivo de formação de bobinas dependente do tipo de bobina a produzir.

4.3.5.2 A Moderna Fiação Não-Convencional

Embora o contínuo convencional de anéis seja a mais importante máquina de fiação utilizada, têm aparecido nos últimos anos técnicas de fiação novas, algumas das quais têm tido elevado sucesso comercial, especialmente para certas finalidades específicas.

Fiação por Rotor ou Fiação “Open-end”

A fiação por rotor, também conhecida por fiação “open-end”, é talvez o método não convencional que mais sucesso comercial tem tido, sobretudo na fiação de fibras de comprimento muito curto.

4.3.6 Produção de Fios Retorcidos

O processo de fiação convencional produz fios que são geralmente designados por fios simples ou singelos, cuja característica essencial é o fato de as fibras componentes se encontrarem torcidas em espiral à volta do eixo do fio. É possível reunir dois ou mais fios simples, combinando-os por meio de torção de modo a produzir um fio retorcido com características bem diferentes.

A torção (ou retorção) aplicada a um fio de vários cabos, é normalmente oposta à dos fios simples componentes, resultando num fio estável.

No entanto, para efeitos especiais (crêpe) essa retorção é aplicada no mesmo sentido da dos fios individuais, o que resulta em fios elásticos, que quando não se encontrar sob tensão se encarrapitam.

A máquina normalmente utilizada para produzir fios retorcidos é conhecida por retorcedor.

O princípio de funcionamento do retorcedor consiste em alimentar os fios a ser retorcidos através de uma par de cilindros, retorcedendo-os em seguida por intermédio de um fuso em rotação. Existem vários tipos de retorcedor conforme as características do fio pretendido:

- retorcedor ascendente;
- retorcedor de anéis;
- retorcedor de dupla torção;
- retorcedores especiais;
- retorcedores para fios de fantasia.

O sistema de alimentação dos retorcedores varia imenso dependendo do tex, número de fios componentes, do tamanho e tipo da bobina alimentadora. Algumas empresas preferem bobinar cones individuais para cada fio simples, enquanto que outras preferem alimentar diretamente de canelas de contínuo. Para a obtenção de uma paralelização perfeita, qualidade e eficiência, muitas empresas preferem juntar os fios componentes (dois ou mais) numa bobina só, antes de retorcer.

4.4 TECNOLOGIA E PROCESSO DE TECELAGEM

Designa-se geralmente por tecelagem o processo pelo qual se produzem os tecidos. Uma noção restrita, a mais antiga e que prevalece após vários séculos, refere-se ao cruzamento em ângulos retos de dois sistemas de fios paralelos: a teia e a trama. (ARAUJO & CASTRO, 1984)

Assim, os tecidos são produzidos pelo cruzamento da teia com a trama usando um aparelho especial chamado tear, ou mais modernamente, máquina de tecer.

A teia é o sistema dos fios paralelos ao comprimento do tecido como ele é produzido.

A trama é o sistema dos fios paralelos à largura do tecido. Os fios da trama são cruzados um a um com os fios da teia que se encontram já previamente dispostos no tear. Esse cruzamento é feito de modo a que cada fio da trama (ou cada passagem) fique por cima ou por baixo de determinados fios da teia. Ao modo como se faz este cruzamento chama-se “Ponto”. Tecer é, portanto, executar os movimentos necessários para realizar o Ponto e, assim, produzir um tecido. Esses movimentos fundamentais são três, em qualquer tipo de tecelagem, primitiva ou automática, manual ou mecânica:

- dividir os fios da teia em duas folhas ou camadas, uma superior e outra inferior. Forma-se assim um espaço entre elas a que se chama “Cala”. É do modo como se faz essa divisão que resulta o “Ponto”;
- introduzir na cala um (ou mais que um) fio de trama - a que se chama “passagem”;
- encostar essa passagem ao tecido já produzido.

As soluções encontradas ao longo dos séculos para a execução destas três operações ou “movimentos” variam muito, indo desde o mais rudimentar trabalho feito à mão com o auxílio de alguns paus, até à modernas soluções mecânicas e automatizadas das máquinas de tecer ultra-rápidas e eficazes. Pouco se sabe no entanto da origem da tecelagem, mas pode dizer-se que o seu aparecimento representa um estado já avançado da inteligência do homem pré-histórico, existindo

vestígios, embora reduzidos e dispersos, em várias regiões do mundo primitivo de formas já complexas de tecelagem.

4.4.1 Tecelagem Mecânica

Chama-se tecelagem mecânica à produção de tecidos em máquinas, cuja força motriz não provém do esforço direto do homem através dos seus braços e pernas para acionar as diferentes partes do tear e realizar os movimentos fundamentais da tecelagem, conforme foram já descritos, ou seja abreviadamente: abertura da cala, inserção da trama, batimento da passagem. Os outros movimentos ditos auxiliares são também realizados por mecanismos próprios cujo conjunto constitui o tear mecânico. Esses movimentos são os seguintes:

1. desenrolamento da teia, que pode ser negativo ou positivo;
2. enrolamento do tecido produzido (positivo ou negativo);
3. mudança das caixas para tecer com várias lançadeiras;
4. mudança de lançadeira (nos teares ditos automáticos);
5. mudança de canelas (nos teares ditos automáticos);
6. caça teia - para parar o tear em caso de quebra de um fio da teia;
7. caça tramas - para parar o tear no caso de quebra de um fio da trama;
8. pente móvel - para parar o tear no caso de a lançadeira ficar presa a meio da cala;
9. mecanismo de acionamento do tear por um motor elétrico individual.

As soluções para os variados problemas mecânicos que os movimentos referidos levantam foram sendo encontradas ao longo de um processo de invenção moroso e disperso.

4.4.2 Preparação para a Tecelagem

Sendo a tecelagem o cruzamento em ângulos retos de dois sistemas de fios paralelos, a teia e a trama, torna-se necessário proceder a operações preliminares de preparação quer da teia quer da trama, por métodos adequados. Esses métodos são diferentes nos dois casos, dado que a teia deve ser previamente feita ou “urdida” fora do tear e, em seguida, montada no tear e a trama é inserida passagem por passagem

durante o processo de tecelagem. Assim, tanto a preparação dos fios para a teia como para a trama carece de cuidados técnicos adequados, que são realizados numa operação preliminar, dita Bobinagem.

As operações de preparação para a tecelagem serão assim sistematizadas em:

- Bobinagem
- Preparação da teia
- Preparação da trama

4.4.2.1 Bobinagem

A bobinagem consiste na passagem do fio de uma bobina para outra, considerada pelo seu formato e tamanho e capacidade de fio, como mais adequada para a operação que se deseja realizar.

Durante a bobinagem o fio é desenrolado da bobina primitiva, e sendo passado através de dispositivos especiais é enrolado na nova bobina. Esta operação presta-se à realização de uma função de depuração, ou seja, a eliminação de pontos defeituosos do fio. Esses defeitos podem ser:

- Pontos finos e fracos
- Pontos grossos
- Borbotos (slubs)
- Nós

Existem três tipos de bobinagem, conforme o fim que se destina o fio:

- Bobinagem para teia
- Bobinagem para trama
- Bobinagem para tingir

4.4.2.2 Preparação da Teia

Até que se possa iniciar a tecelagem, a preparação da teia consta de várias operações cuja perfeição de execução tem consequências decisivas no processo de tecelagem, na sua “economia” e na qualidade do tecido produzido. Essas operações são as seguintes:

- Urdideira: Urdir uma teia é construir um sistema de fios paralelos, rigorosamente individualizados, do mesmo comprimento e com a mesma tensão. Este sistema é enrolado num eixo chamado “órgão” que se monta na parte posterior do tear.

Existem três técnicas mecanizadas de urdir teias, embora só duas seja hoje de prática corrente na tecelagem mecânica:

1. Urdidura por órgãos
2. Urdidura em corda
3. Urdidura seccional ou em faixas

Cada uma destas técnicas depende do tipo de fio usado e do tecido em fabricação.

- Encolagem: Consiste na impregnação ou revestimento dos fios da teia com uma substância coloidal adesiva e filmogênea, de modo a aumentar a resistência dos fios às ações mecânicas sofridas durante a tecelagem e assim diminuir as quebras e as conseqüentes paragens do tear, aumentando a eficiência da tecelagem e a qualidade do tecido produzido. As ações mecânicas sofridas pelos fios da teia na tecelagem são vibrações, fricções, choques, alongamentos e também efeitos eletroestáticos.
- Montagem da teia no tear: Uma vez urdida e encolada a teia, segue-se a a montagem do tear. Esta montagem é constituída por uma série de operações que permitem a realização da tecelagem.

4.4.2.3 Preparação da Trama

Na tecelagem convencional em que se usam uma ou mais lançadeiras, a trama é transportada de um lado para o outro do tear, através da cala, pela própria lançadeira que deixa em cada percurso um fio de trama (uma passagem) através de si. Dentro da lançadeira encontra-se uma bobina de trama que se chama “canela”. Torna-se pois necessários encher essas canelas em bobinadoras especiais chamadas “caneleiras”.

Por outro lado, a tecelagem não convencional, sem lançadeira, dispensa o uso de canelas, pois a trama é fornecida, de um modo contínuo, por grandes bobinas cônicas colocadas de um só lado da máquina de tecer.

Estas grandes bobinas cônicas devem ter um enrolamento cruzado tal, que permita o desenrolamento a alta velocidade, com arranques e paragens bruscas.

A preparação do fio da trama deve assegurar:

- A depuração de pontos grossos (slubs) e a eliminação dos pontos fracos, que causarão defeitos no tecido ou quebras durante a tecelagem.

Esta operação faz-se antes do enchimento das canelas.

- A obtenção de bobinas compactas, com tensão regular do fio, para se conseguir maior quantidade de fio em cada bobina, reduzindo assim o número de mudanças durante a tecelagem, e reduzindo também os desperdícios do fio da trama. Isto é válido quer a alimentação do tear seja por canelas quer por cones.
- Regularidade das condições de uniformidade do enchimento das canelas ou cones de modo a que todas tenham características semelhantes, aumentando assim a uniformidade do tecido.

Se a atmosfera onde se realiza a bobinagem e mesmo a tecelagem, não for condicionada, é de boa prática umedecer ou vaporizar as bobinas de trama antes da tecelagem. Isto elimina quebras e defeitos.

4.4.3 Classificação das Máquinas de Tecer

Uma classificação das máquinas de tecer é ainda um assunto polêmico, não havendo um critério normalizado que sirva de guia para o efeito.

Uma primeira classificação será, segundo ARAUJO & CASTRO (1984):

- Teares Manuais: são aqueles em que a energia para a realização dos movimentos de tecelagem provém do homem, isto é, do tecelão ou tecedeira, através de seus braços e pernas.
- Teares Mecânicos: são aqueles em que esses movimentos são acionados por uma fonte de energia mecânica, seja ela uma linha geral de alimentação mecânicas, seja por um motor elétrico individual, integrado

no próprio tear e dispendo de uma embraiagem. Esta classificação pode ser completada, pelos teares automáticos que são aqueles que, além de serem mecânicos, têm a possibilidade de substituição das canelas vazias da trama, sem originarem a parada do tear para o reabastecimento da trama, como acontece nos teares ditos somente “mecânicos”.

Pode ainda juntar-se um outro tipo, o dos teares circulares, em que o abastecimento da trama é contínuo, em todo o perímetro da máquina.

Mas com o aparecimento das modernas máquinas de tecer, principalmente desde o fim de década de 50, esta classificação torna-se obsoleta. O modo de inserção da trama é agora o critério adotado para a classificação:

- Convencionais: quando a inserção da trama é feita por meio de uma ou várias lançadeiras voadoras.
- Não-convencionais: quando a inserção da trama é feita por qualquer outro método (pinças, projéteis, jatos fluidos, etc.).

Um outro critério terá em consideração não o modo como a inserção da trama é feita, mas sim, o número de passagens inseridas durante um ciclo completo dos movimentos fundamentais da tecelagem (ARAUJO & CASTRO, 1984):

- Monofásicas: inserem apenas uma passagem em cada ciclo.
- Bifásicas: inserem duas passagens no mesmo ciclo.
- Multifásicas: inserem várias passagens simultaneamente em ciclos que se sucedem de um modo contínuo em todo o perímetro da máquina (teares circulares) ou de um lado ou outro da máquina nos teares retilíneos.

Pode-se dizer que, se na tecelagem monofásica as três operações fundamentais se realizam sucessivamente constituindo um ciclo, na multifásica as três operações realizam-se simultaneamente.

Outros critérios de classificação são ainda úteis para uma melhor caracterização das máquinas de tecer, tais como: o tipo de mecanismo de abertura da cala; o tipo da cala; a largura útil do pente; a velocidade de funcionamento; etc.

5. A EMPRESA PESQUISADA

O trabalho é desenvolvido no setor de Fiação de uma Indústria Têxtil (Tecelagem São Carlos S. A.) localizada no município de São Carlos, estado de São Paulo.

5.1 DADOS GERAIS DA EMPRESA

Trata-se de uma empresa de capital nacional de médio porte, estabelecida no mercado há 50 anos. Seus principais produtos são: toalhas felpudas e aveludadas de algodão para banho, rosto, piso e praia; roupões e quimonos felpudos e aveludados de algodão.

Sua capacidade de produção é em torno de 180 mil metros de tecido por ano, gerando 6 milhões de toalhas e 96 mil roupões e quimonos, atendendo mercado interno e externo.

A fábrica funciona ininterruptamente, em três turnos: 05:00 - 13:30 - 22:00 - 05:00, contando com um quadro de 460 funcionários que trabalham de maneira direta e indireta.

A estrutura organizacional é departamentalizada.

Os setores terceirizados são: transporte de produto acabado, parte de ferramentaria, calibração de instrumentos e refeições.

A empresa possui 80 fornecedores de itens produtivos.

O ciclo de vida de seus produtos está em torno de dois anos e a frequência de inovação dos mesmos é anual. Já os processos possuem ciclo de vida em torno de dez anos.

A fábrica possui um sistema da qualidade certificado no padrão ISO 9002, tendo o BVQI como órgão certificador.

5.2 O PROCESSO PRODUTIVO E O CONTROLE DA QUALIDADE NA EMPRESA

Os setores de produção da fábrica são divididos em: Fiação, Tinturaria, Preparação, Tecelagem, Aveludamento, Acabamento e Confecção.

Dentro de cada área os processos de fabricação, formalizados em “folhas de processo”, são monitorados, apresentando formas de controle de qualidade.

A FIGURA 5.1 apresenta o fluxograma do processo de produção da fábrica, desde a chegada da matéria-prima inicial (algodão) até a liberação do produto para o mercado consumidor, e seus pontos e formas de controle de qualidade.

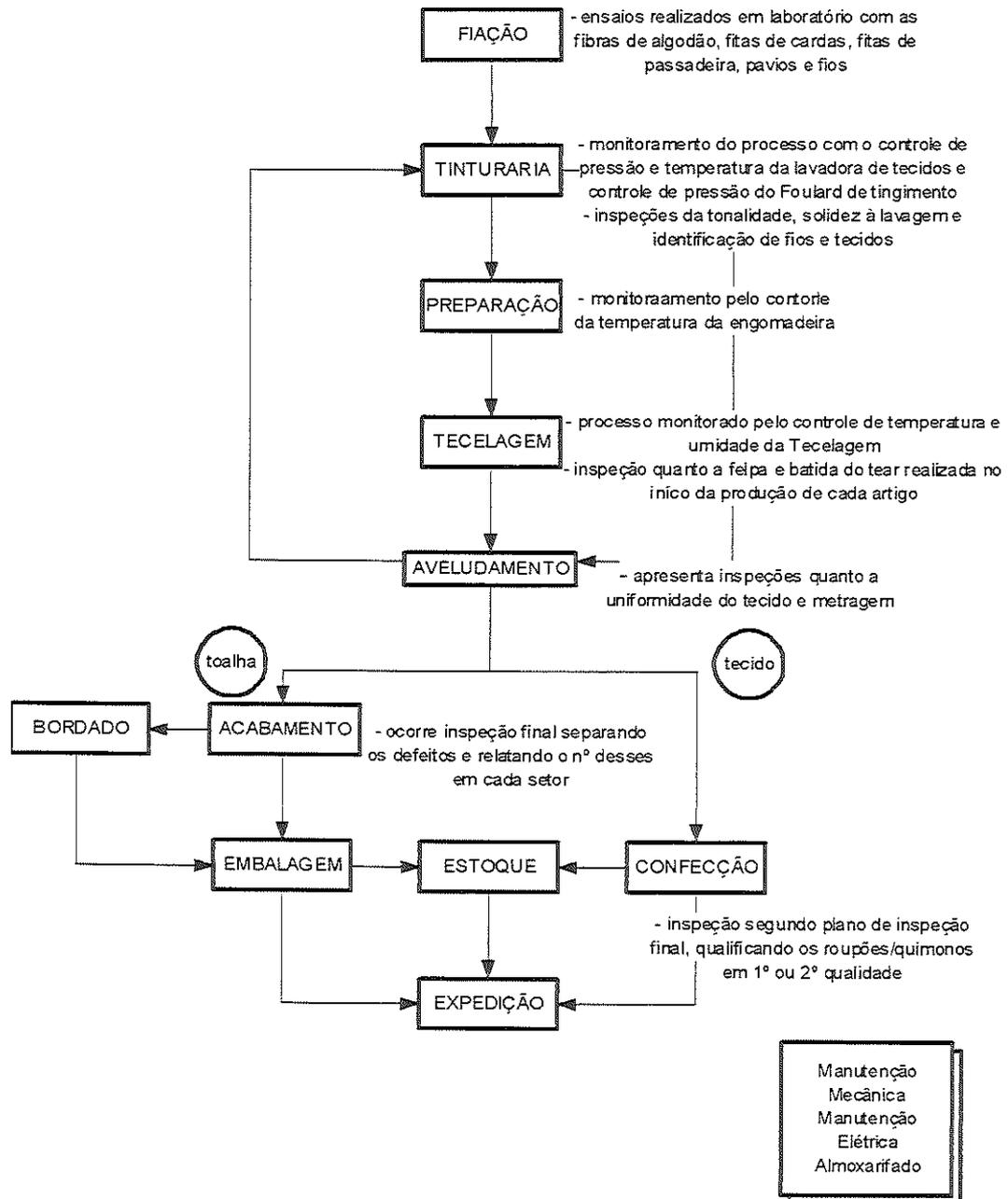


FIGURA 5.1 - Fluxograma do processo de fabricação de toalhas e roupões e seus pontos e formas de controle de qualidade.

5.2.1 Processo na Fiação

A Fiação é responsável pela produção de fios, a partir de fardos de algodão, que serão utilizados em outros setores para obtenção dos produtos finais: toalhas e roupões. Consiste de três espaços físicos: depósito, fiação, laboratório.

No depósito, são armazenados os fardos de algodão que chegam na fábrica e que são utilizados pela fiação.

No laboratório, são realizados diversos testes que visam o controle da qualidade do produto, desde o algodão que chega até o fio pronto. Para tanto, são feitas análises com os fardos, com as fitas e com os fios.

O processo na Fiação começa com a limpeza do algodão, passando pela “Linha de Abertura” - abertura/limpeza e batedor - gerando os flocos de algodão. Estes flocos abastecem a máquina chamada carda, que realiza a paralelização das fibras, alinhando-as e formando um véu, que em seguida é condensado gerando a fita, sendo disposta em tambores (vasos).

É importante observar que as cardas pertencentes à fábrica não possuem autocontrole, são de difícil regulagem (possuem uma válvula de pressão que é ajustada pelo operador) e influenciadas pelo trabalho humano que atua na abertura dos fardos de algodão, gerando dificuldades na melhoria da qualidade do processo.

Então, a fita da carda é encaminhada à máquina chamada passadeira, onde ocorrem duas passagens. A primeira passagem da fita é realizada pelas Passadeiras 01 e 03. A segunda passagem da fita dá-se nas Passadeiras 02 e 04.

Cada passadeira é composta por duas cabeças, cada uma alimentada por seis vasos de fitas das cardas, que são condensados num único vaso por cabeça, homogeneizando e estirando essas fitas.

As passadeiras utilizadas na fábrica também não são automaticamente controladas, possuem uma engrenagem ligada às duas cabeças (a alteração desta engrenagem interfere nas duas cabeças ao mesmo tempo) que pode ser ajustada, facilitando o controle do processo.

A fita, após passadeira, destina-se à máquina open-end, onde, finalmente, é esticada e torcida resultando no fio.

O fio depois de pronto pode seguir para Tecelagem, Preparação ou ainda Tinturaria. (FIGURA 5.1). A FIGURA 5.2 apresenta o fluxograma detalhado do processo de fiação.

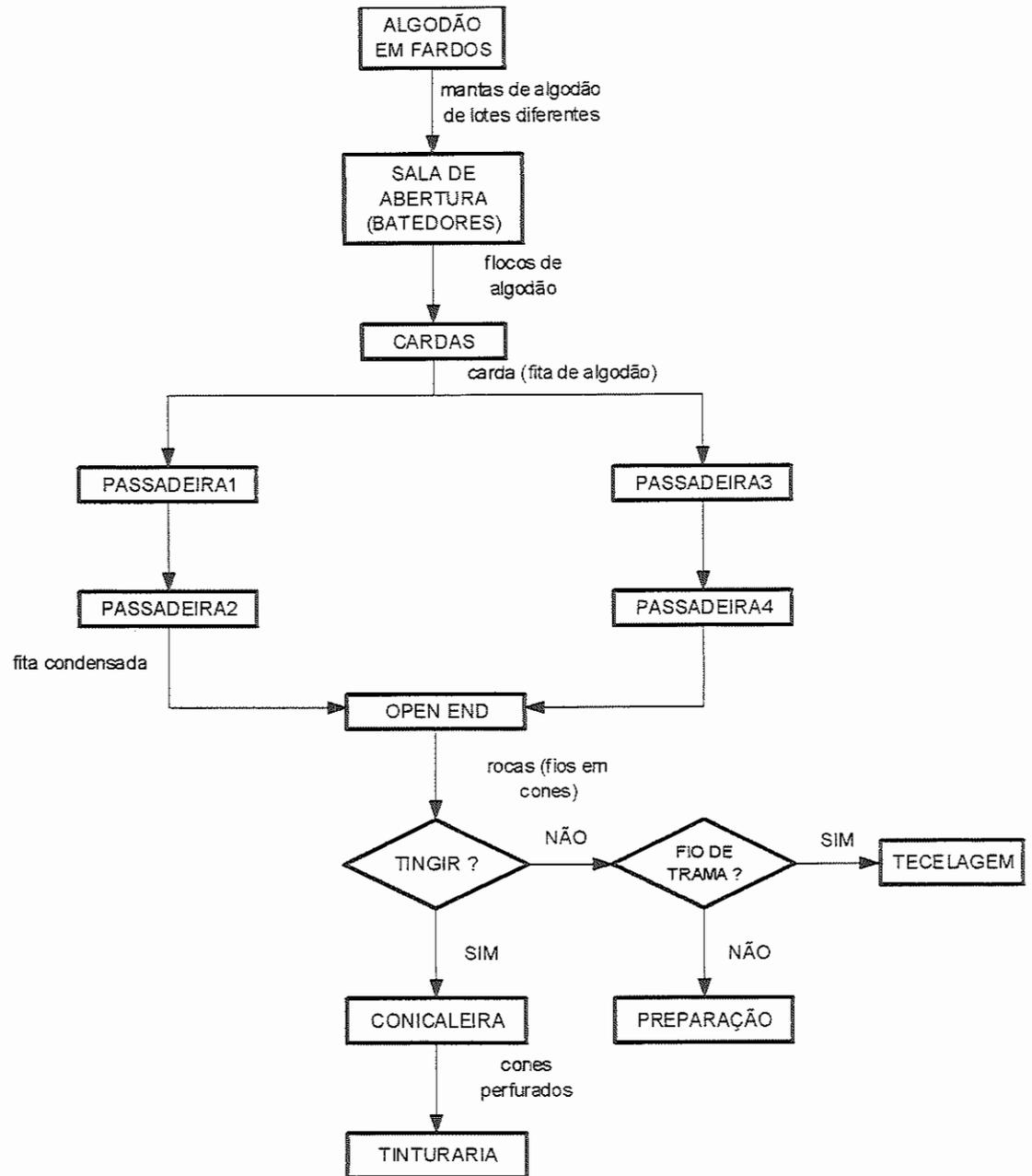


FIGURA 5.2 - Fluxograma do processo de fiação.

5.2.2 Processo na Tinturaria

Na Tinturaria são feitos os tingimentos das toalhas e fios. Para cada tingimento há determinadas peculiaridades, mas de maneira geral seguem o mesmo processo.

Inicialmente, o produto (fios, toalhas) a ser tingido passa pelo cozimento (tanque ou Foulard), depois é lavado a seco. Após estar seco e resfriado, o produto é tingido com os materiais químicos apropriados e previamente preparados. Depois do tingimento, o destino é o acabamento que se divide em duas etapas: - Fixador: utilizado para fixar o corante; - Amaciante: utilizado para amaciar o produto.

Ao final do processo, os fios/toalhas seguem para o secador. Terminada a secagem, os fios são levados à Preparação e as toalhas ao Aveludamento. (FIGURA 5.1)

A FIGURA 5.3 apresenta o fluxograma do processo de tingimento de fio e o fluxograma da FIGURA 5.4 mostra o tingimento do tecido.

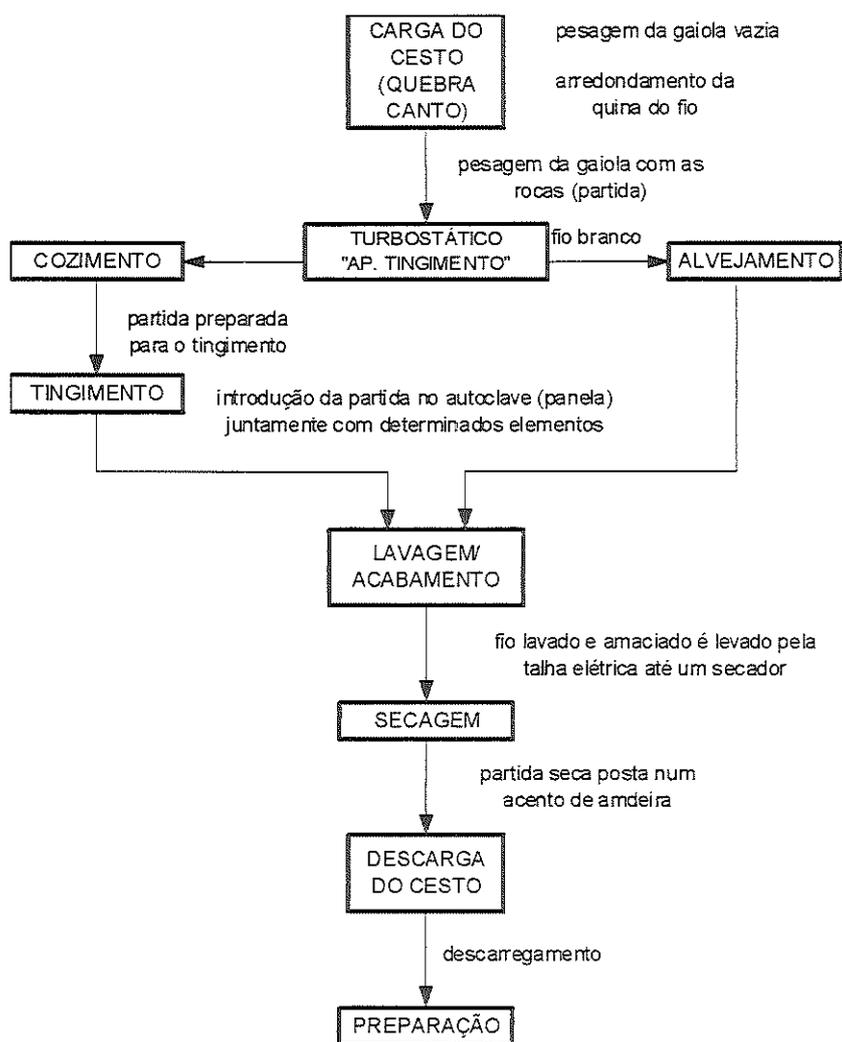


FIGURA 5.3 - Fluxograma do processo de tingimento de fio.

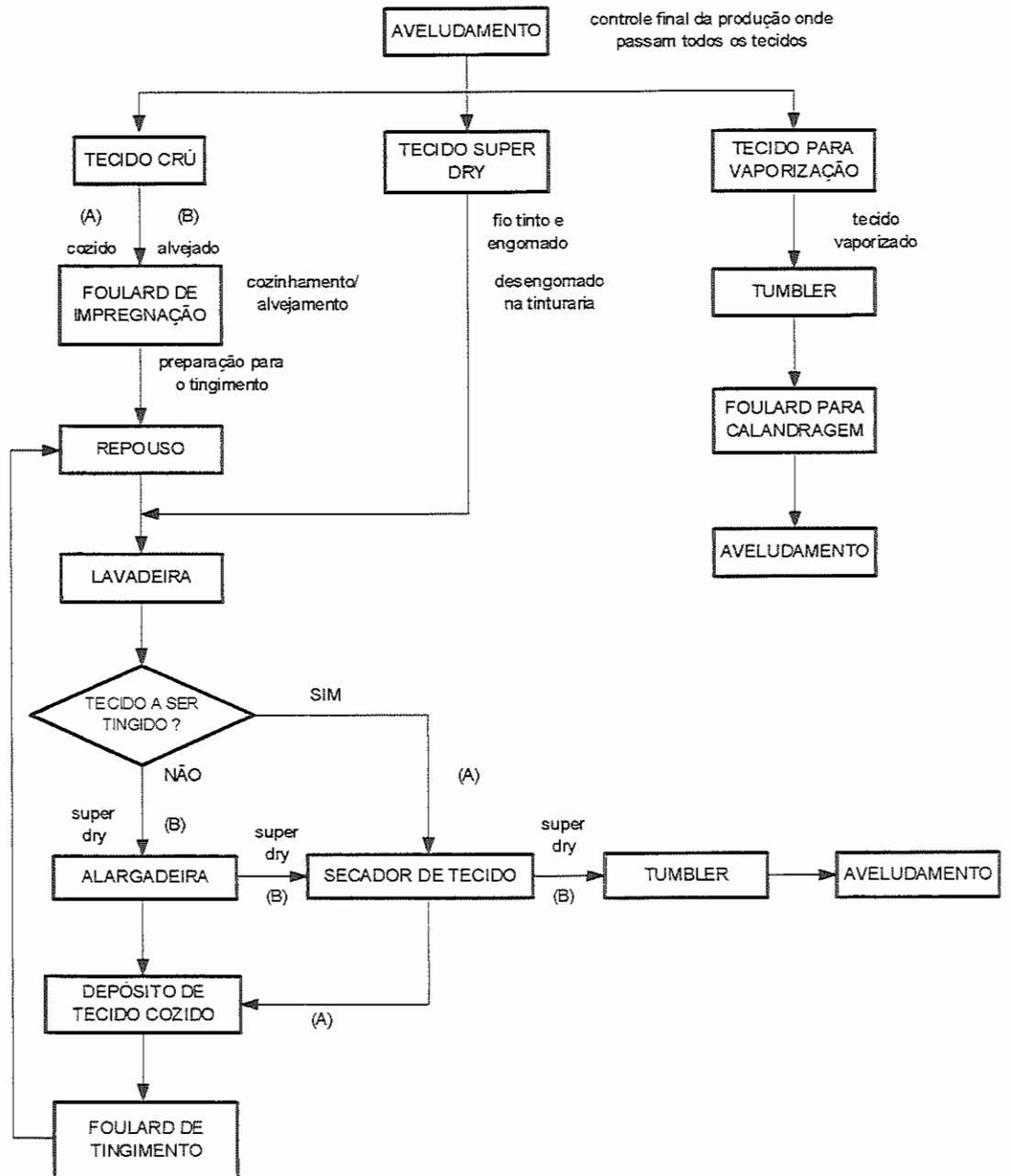


FIGURA 5.4 - Fluxograma do processo de tingimento de tecido.

5.2.3 Processo na Preparação

A Preparação tem como objetivo principal a limpeza dos fios e preparação destes em rolos - rolos de fios de urdume crú e tinto, de fundo e de felpa - que são utilizados pela Tecelagem.

Primeiramente ocorre o repasse dos fios na Conicaleira, onde eles são repassados para rocas (bobinas) apropriadas a gaiolas. Nesta operação os fios são limpos e duplicados nas rocas. Estas rocas são então levadas para a gaiola, onde são dispostas conforme o tecido que será produzido posteriormente. Das gaiolas, os fios são puxados até a Urdideira onde são passados para rolos.

Os rolos de fios singelos (fios não retorcidos - 12/1 e 16/1 - produzidos na Fiação) passam ainda pelo processo de engomagem na Engomadeira, produzindo os rolos de fios engomados, prontos para entrar no processo de Tecelagem. (FIGURA 5.1) A FIGURA 5.5 mostra o fluxograma do processo de preparação dos rolos de fios.

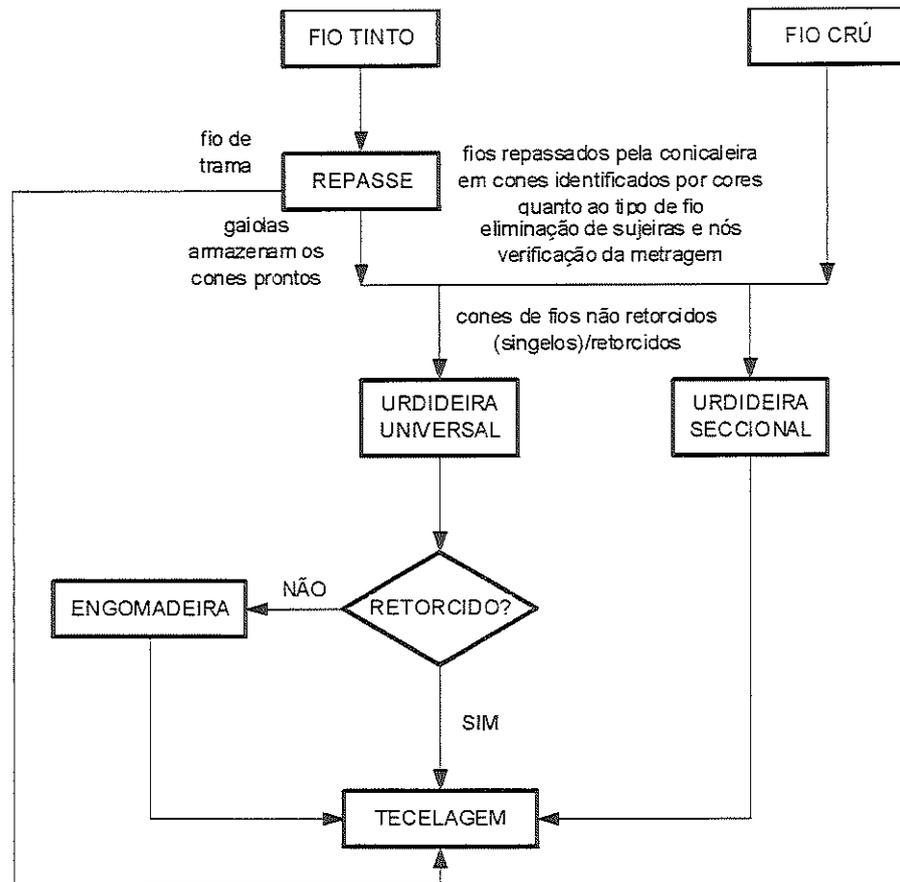


FIGURA 5.5 - Fluxograma do processo de preparação dos rolos de fios.

5.2.4 Processo na Tecelagem

Na Tecelagem ocorre o processo de tecer os tecidos e toalhas.

A Tecelagem é composta por vários teares.

O princípio básico de funcionamento de um tear é o seguinte: os fios dos dois rolos que entram na vertical são os fios de urdume (fornecidos pela Preparação), os fios das espulas (bobinas) que passam na horizontal são os fios da trama. Os fios que entram por cima são as felpas. O rolo de urdume que entra por baixo (fundo) e a trama definem a estrutura do tecido e a felpa define os desenhos.

Na Tecelagem existem 12 teares de “primeira geração”, que são modernos, automatizados e computadorizados, geralmente utilizados para tecer toalhas com diferentes tipos de barras, além de tecer tecidos lisos e jacquar (formando desenhos); 12 teares de “segunda geração”, que não são totalmente computadorizados, com os desenhos definidos por quadros, neles são produzidos somente tecidos lisos e listrados; e 16 teares de “terceira geração”, onde os desenhos dos tecidos são definidos por uma sequência de cartões perfurados (quadros).

Após os tecidos e toalhas prontas, estes seguem para o Aveludamento, conforme fluxograma do processo de produção da fábrica (FIGURA 5.1).

A FIGURA 5.6 apresenta o fluxograma do processo de fabricação da Tecelagem.

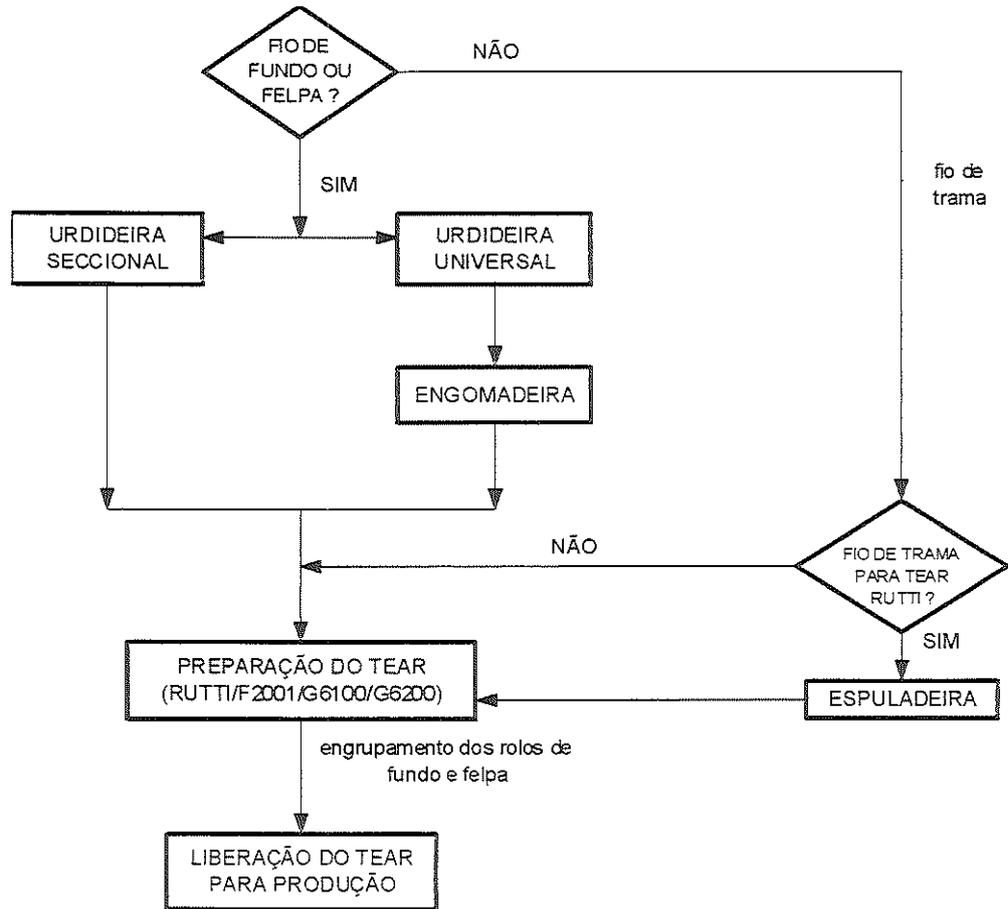


FIGURA 5.6 - Fluxograma do processo de tecelagem.

5.2.5 Processo no Aveludamento

O Aveludamento é um setor da fábrica que tem como função principal o aveludamento de tecidos e toalhas. Além desta operação, também apresenta outras funções.

Inicialmente tem-se a contagem de toalhas e metragem dos tecidos, por meio do cálculo da metragem dos rolos.

Os tecidos, então, passam por uma supervisão visual para detectar defeitos. As toalhas e tecidos que forem ser aveludados passam para a máquina de aveludamento. As toalhas felpudas vão para o corte lateral e os tecidos felpudos para o enrolamento.

O processo do aveludamento consiste no corte de felpas, realizado duas vezes em sentidos diferentes no mesmo lado do tecido. Este entra na máquina passando por duas espirais (levantando as felpas) e depois na faca fixa. Este corte deixa as felpas rentes ao tecido, conferindo uma aparência e textura de veludo ao tecido e às toalhas.

Após este processo, as toalhas seguem para o corte lateral e os tecidos para o enrolamento e logo depois para a confecção.

O corte lateral das toalhas é feito em uma máquina moderna (TEXPA), regulável para os diferentes tipos de toalhas, programada com o comprimento da toalha a ser cortada.

A próxima etapa destas toalhas é o Acabamento. (FIGURA 5.1)

A FIGURA 5.7 mostra o processo do aveludamento dos tecidos e toalhas, ambos felpudos. A FIGURA 5.8 apresenta o processo de aveludamento dos aveludados (toalhas e tecidos).

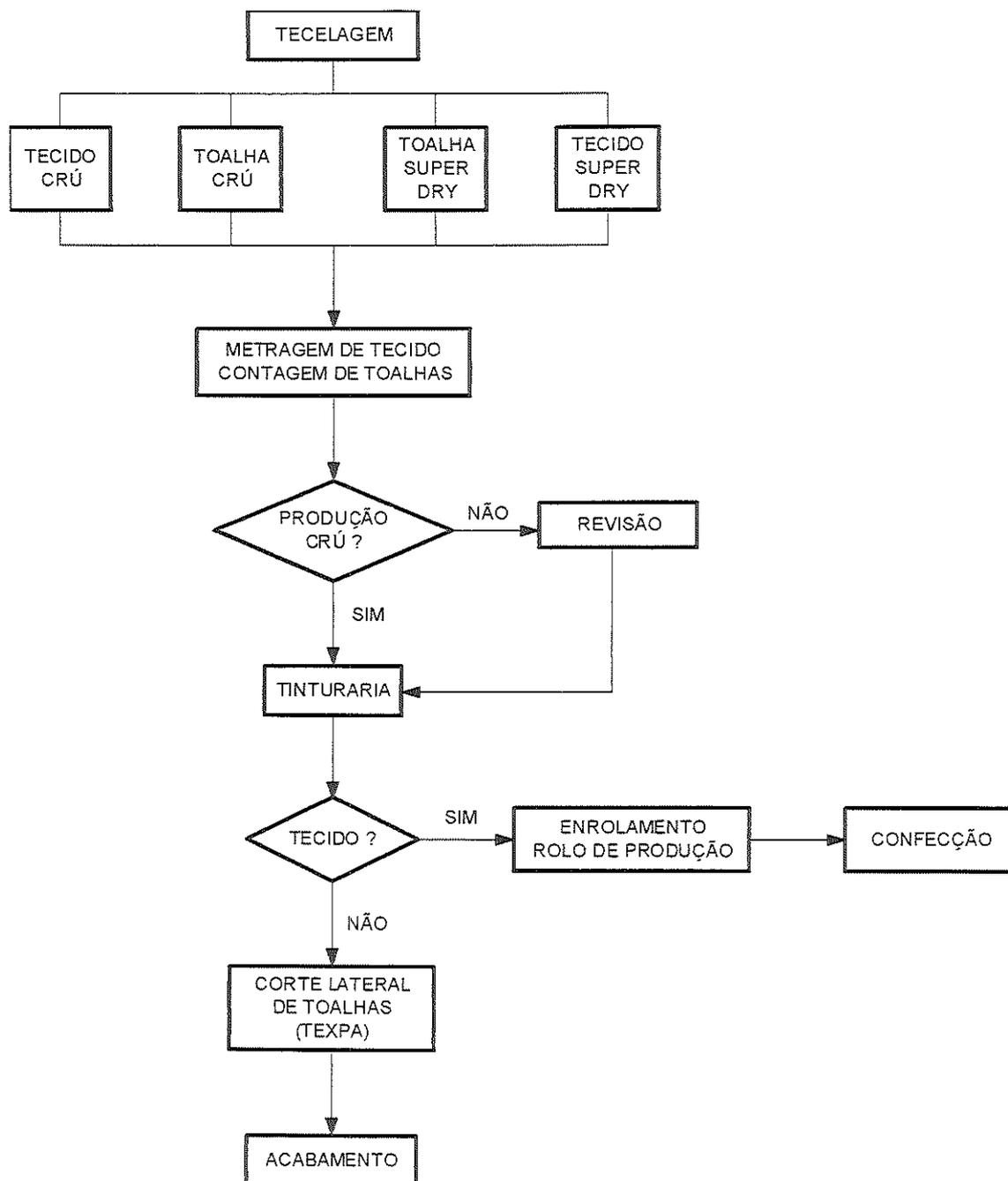


FIGURA 5.7 - Fluxograma do processo de aveludamento – felpudos.

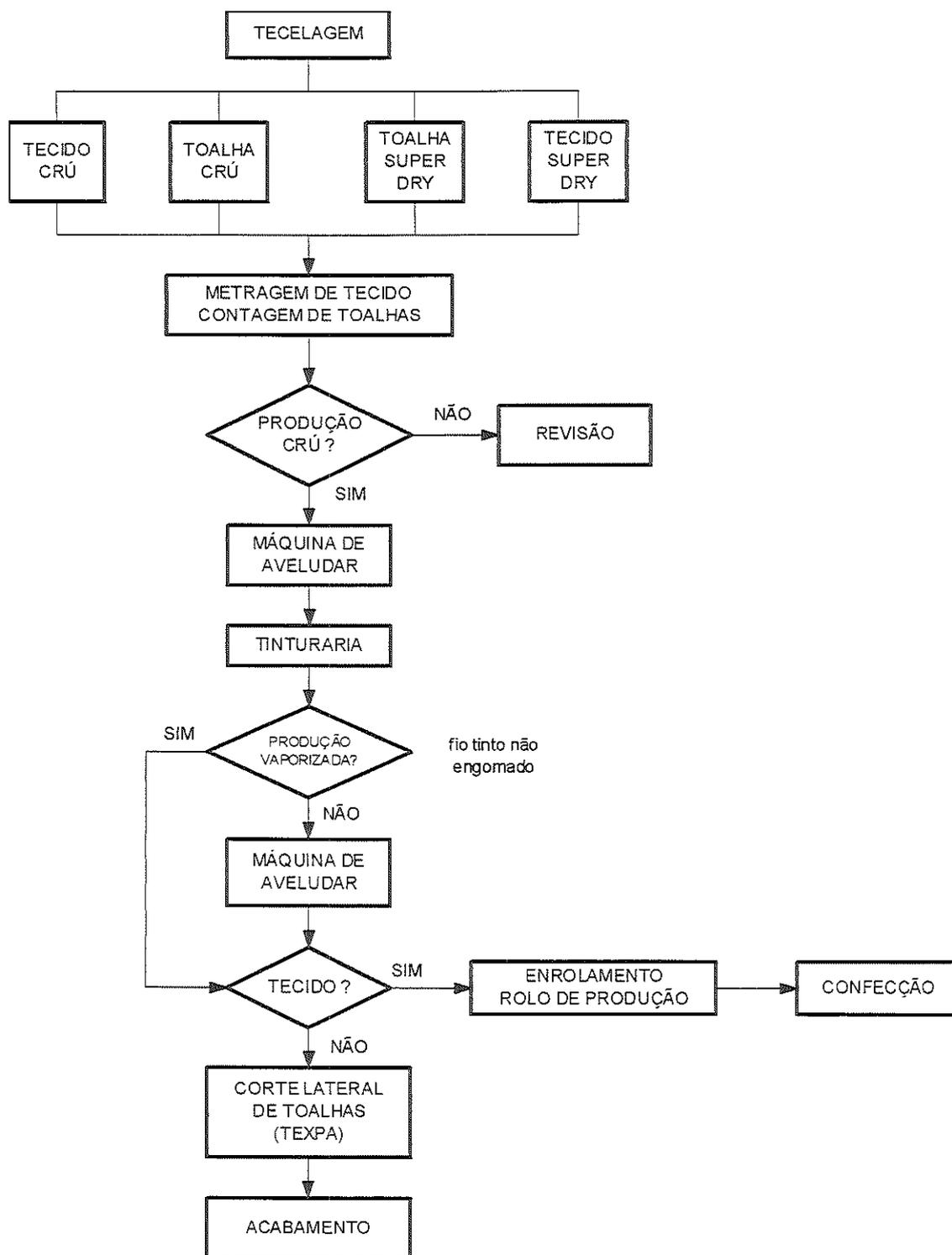


FIGURA 5.8 - Fluxograma do processo de aveludamento – aveludados.

5.2.6 Processo no Acabamento

No Acabamento, a matéria-prima são as toalhas semi acabadas, o produto final são as toalhas prontas.

O processo começa com a costura lateral na máquina Schmale. Então são levadas para a máquina de costura transversal e de colocação de etiqueta (TEXPA) para o processo de costura reta.

Outra opção, porém ultrapassada, é o uso de máquinas de costura tradicionais comandadas por costureiras, que fazem as costuras retas e ao mesmo tempo colocam a etiqueta (processo manual).

A próxima operação é o dobramento e limpeza, corte de linhas excedentes da costura. Também é realizada uma inspeção no produto, onde são separadas as toalhas não conformes das conformes.

Aquelas que estão conforme são colocadas em cestos e levadas para a embalagem. Já as não conformes seguem para a inspeção-recuperação, onde são novamente separados os produtos recuperados dos não recuperados, tornando-se, respectivamente, toalhas de primeira e de segunda/terceira.

As toalhas separadas na inspeção-separação são levadas separadamente para a embalagem. (FIGURA 5.1)

A FIGURA 5.9 representa o processo de acabamento de toalhas em forma de fluxograma.

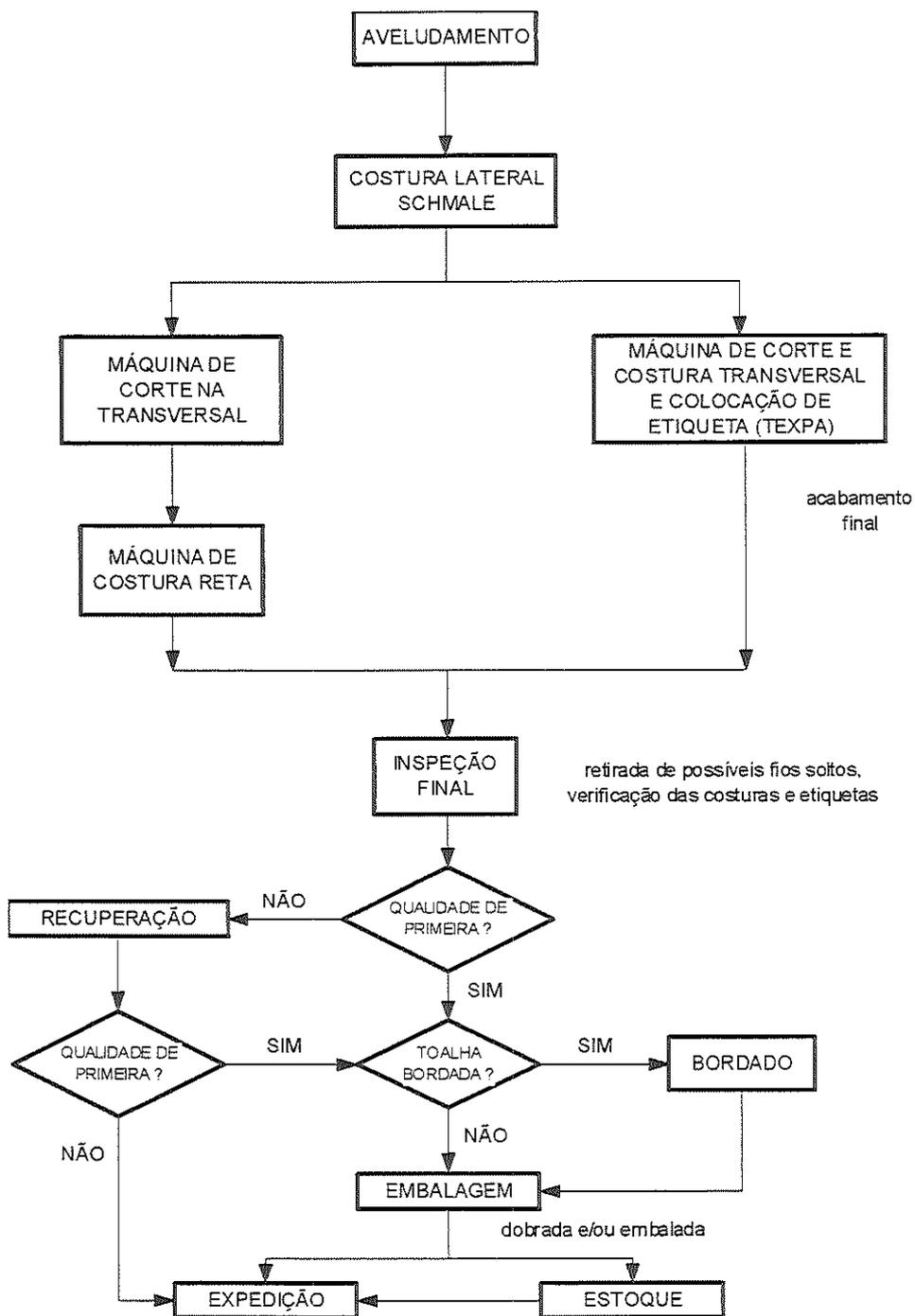


FIGURA 5.9 - Fluxograma do processo de acabamento de toalhas.

5.2.7 Processo no Bordado

O setor de bordado recebe da embalagem as toalhas e roupões que serão bordados.

Inicialmente o material é colocado no bastidor. Então, essas toalhas são levadas para a máquina de bordar, que foi previamente preparada, segundo o tipo de toalha ou roupão e também conforme o bordado. Dependendo do modelo é colocado na área do bordado um pedaço de cetim.

Ao término do bordado, o material é retirado da máquina e segue para uma mesa onde são cortadas as sobras de cetim (se existirem) e retirado do bastidor.

As toalhas são dobradas e levadas para a seção de embalagem, ou senão, armazenadas nas gaiolas.

Os roupões após serem bordados voltam para a confecção. (FIGURA 5.1)

5.2.8 Processo na Embalagem

Este setor tem como função principal embalar e organizar em gaiolas as toalhas.

Após chegarem do acabamento, as toalhas são levadas às gaiolas para serem guardadas. Elas são separadas conforme o modelo e categoria (rosto, piso, banho, visita) e guardadas em gaiolas distintas.

Quando chega um pedido, este é passado para a funcionária, que se dirige as gaiolas e separa as toalhas necessárias para completar o pedido.

Para pedido de jogos de toalhas, as funcionárias dobram o produto conforme o modelo e colocam em embalagens de luxo. Para pedido de dúzias as toalhas seguem para a prensa.

Depois de embaladas ou plastificadas, as toalhas vão para a expedição. (FIGURA 5.1)

5.2.9 Processo na Confecção

Os roupões são confeccionados neste setor. A primeira operação é a de enfesto. Depois, é feito o corte dos tecidos. Peças pequenas como: pala do bolso, cinto, faixa, gancho, quando não são cortadas no enfesto, são cortadas no torno.

Depois do corte, as peças vão para a revisão de corte, onde as funcionárias verificam e separam as peças conformes das não conformes, sendo que estas seguem para a recuperação e aquelas para a costura. Os itens recuperados são levados para a costura e os não recuperados tornam-se retalhos.

No processo de costura é montado o roupão. Depois de pronto é encaminhado para a limpeza. Caso encontra-se algum defeito, o produto é encaminhado para a costura ou recuperação, conforme o defeito.

A próxima etapa é a embalagem, onde são dobrados e etiquetados. Já em embalagens etiquetadas, que são encaixotadas, os roupões seguem para a expedição.

A Figura 5.10 mostra o processo de confecção de roupões ou quimonos.

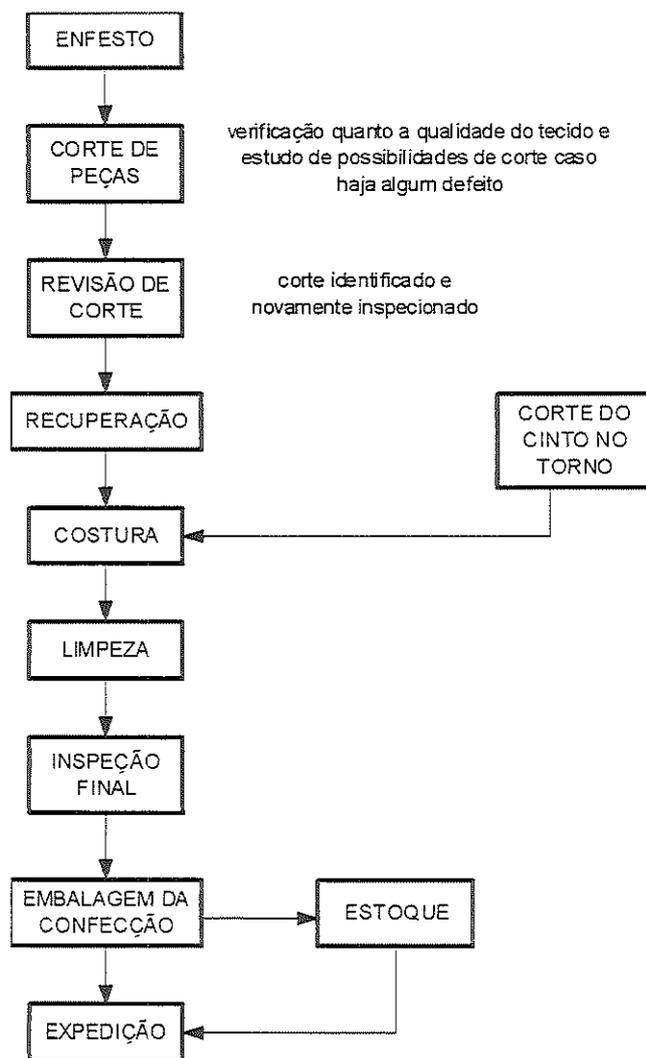


FIGURA 5.10 - Fluxograma do processo de confecção de roupões/quimonos.

5.2.10 Processo na Expedição

Na expedição as toalhas permanecem expostas em pilhas e são separadas por modelos.

Quando chega o pedido, este é encaminhado aos funcionários, que fazem a seleção das toalhas nas quantidades e modelos exigidos.

Após a separação, é selecionado o tipo de caixa que será utilizada, baseando-se no tamanho do pedido e quantidade a ser encaixotada.

A caixa tem uma identificação, indicando a marca, destino, tara (peso da caixa vazia) e peso (peso da caixa completa e lacrada).

Então, essas caixas são levadas ao depósito e marcadas com o nome da transportadora. Algumas vezes o transporte e distribuição é realizado pela própria empresa.

6. AVALIAÇÃO DO CONTROLE DA QUALIDADE E CAPABILIDADE DO PROCESSO DE FIAÇÃO COM APLICAÇÃO DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS (CEP)

O processo produtivo na Fiação foi brevemente descrito no Capítulo 5 (item 5.2.1) e suas operações representadas no fluxograma da FIGURA 5.2.

6.1 FORMA ATUAL DE CONTROLE DA QUALIDADE DO PROCESSO DE FIAÇÃO

O controle da qualidade de processo atualmente feito na Fiação é realizado por meio de coletas de amostras dos lotes, das quais são realizadas medidas de propriedades específicas. Os valores encontrados, resumidos em estatísticas (valores médios), são comparados com os valores permissíveis especificados segundo critérios próprios estabelecidos pela empresa - “limites de especificação” - que permitem avaliar se o processo produz ou não itens defeituosos. Então, com base nestas amostras, os lotes são aceitos ou rejeitados.

As fibras de algodão, fitas, pavios e fios durante o processo de Fiação são inspecionados conforme os requisitos constantes apresentados na TABELA 6.1.

Nas Cardas, o resultado dos ensaios é a média da média dos ensaios individuais executados por máquina.

Nas Passadeiras, o resultado dos ensaios é obtido pela média dos ensaios individuais realizados nas duas cabeças da Passadeira.

Nas Open-Ends, o resultado dos ensaios é obtido pela média dos ensaios realizados nos fusos pré-determinados.

TABELA 6.1 Plano de inspeção durante o processo de Fiação. (FONTE: empresa pesquisada)

Máquina	Atividade de Inspeção	Responsável	Critério Aceitação	Frequência
Batedor	- índice micronaire - comprim. fibras, uniformidade, maturidade - resistência	laboratorista	padrões da qualidade de fibras de algodão	1 vez a cada 2 misturas
Cardas	- titulação - % CV - nº neps	laboratorista	padrões da qualidade de fitas e pavios	- 2 vezes/dia - 1 vez/semana - 1 vez/semana
Passadeiras	- titulação - % CV	laboratorista	padrões da qualidade de fitas e pavios	- hora/hora - 1 vez/semana
Maçaroqueira	- titulação - % CV	laboratorista	padrões da qualidade de fitas e pavios	- 1 vez/dia - 1 vez/semana
Open-End	- titulação - torção - resistência - % CV, imperfeições fio	laboratorista	padrões da qualidade de fios	2 vezes por semana
Filatório	- titulação - torção - resistência - % CV, imperfeições fio	laboratorista	padrões da qualidade de fios	3 vezes por semana
Retorcedeira	- titulação - torção - resistência - % CV, imperfeições fio	laboratorista	padrões da qualidade de fios	a cada 15 dias

6.2 PARÂMETRO CRÍTICO - TÍTULO - DO FIO DE ALGODÃO

Conforme apresentado no item anterior, no laboratório da Fiação são analisadas amostras dos fardos, fibras de algodão, fitas das Cardas, fitas das Passadeiras e fios, verificando se as condições de finura, comprimento, uniformidade, maturidade, tenacidade, alongamento, titulação, resistência e outras propriedades, estão dentro dos padrões aceitos para serem considerados de boa qualidade.

Os ensaios são também realizados para investigação e identificação das causas dos defeitos e orientação na manutenção da máquina quando esta for uma das causas identificadas.

Segundo avaliação do produto final (fio) feita pelos setores que têm esse material como matéria-prima, pôde-se constatar que o fio nem sempre apresenta todas as suas características dentro dos padrões de qualidade específicos, principalmente em relação ao seu título (comprimento/massa), uma de suas principais propriedades, gerando problemas nas etapas seguintes do processo. Assim, o título do fio de algodão é considerado um parâmetro crítico pela empresa.

Com base nessa análise, decidiu-se realizar o estudo do controle da qualidade e capacidade do processo de Fiação no que se refere ao título (comprimento/massa) do fio, considerando a importância deste parâmetro e a sua possível variabilidade.

6.3 O ENSAIO DE TITULAÇÃO

O ensaio de titulação diz respeito à verificação da massa do material contida em um determinado comprimento dentro do padrão estabelecido (comprimento/massa), por meio de uma leitura direta do título na escala *Ne* (símbolo do título inglês) da balança Marte Modelo 903, com comprimento especificado para cada tipo de amostra (fita da Carda, fita da Passadeira ou fio).

O primeiro ensaio de titulação é realizado com as fitas provenientes das Cardas. Como já citado, as Cardas pertencentes à fábrica são de difícil regulação e, portanto, dificultam o controle do processo por meio de ajustes das máquinas.

O segundo ensaio é realizado em cada passagem das fitas nas Passadeiras para as duas cabeças. Assim, para cada passagem, faz-se uma média dos valores

dessas duas cabeças e verifica-se se está dentro dos limites de especificação, se estiver fora, a engrenagem pertencente à Passadeira pode ser ajustada, regulando o título da fita.

O terceiro ensaio é realizado com os fios gerados pela máquina Open-End, cujos resultados, dentro ou fora dos padrões, não podem mais ser corrigidos.

Concluiu-se que o estudo do controle da qualidade e capacidade do processo de Fiação, no que se refere ao título (parâmetro crítico), deve ser aplicado aos processos geradores de fitas de algodão (produtos intermediários que ainda permitem a correção para a geração dos produtos finais - fios - qualificados), realizados pelas Cardas e Passadeiras (máquinas que permitem a correção dos processos).

Conforme inspeção de qualidade realizada na fábrica, o valor da média calculada dos títulos das amostras de fitas de algodão retiradas das Cardas e Passadeiras precisa estar dentro dos seguintes “limites de especificação” definidos pela empresa:

- Cardas: min = 0.090 Ne, médio (ideal) = 0.120 Ne, máx = 0.140 Ne
- Passadeiras: Primeira passagem - Passadeira 01 e Passadeira 03: min = 0.118 Ne, médio (ideal) = 0.120 Ne, máx = 0.124 Ne; Segunda passagem - Passadeira 02 e Passadeira 04: min = 0.116, médio (ideal) = 0.120 e máx = 0.124

Considerando que o título = comprimento/massa, observa-se:

- Quanto maior o valor do título, menor a massa e, portanto, o fio quebra mais facilmente, gerando um custo devido à falha interna (classificação do custo da qualidade).
- Quanto menor o valor do título, maior a massa e, portanto, o fio não quebra tão facilmente, porém gera um custo de desperdício de material.

6.4 APLICAÇÃO DO CEP

Como já mencionado neste trabalho (Capítulo 3), o CEP (Controle Estatístico do Processo) é uma metodologia de Controle de Qualidade utilizada para estudar a variabilidade do processo, a obtenção da qualidade de um produto ou serviço.

Através desta ferramenta é possível identificar causas de defeitos, separando-as em causas comuns ou aleatórias e causas especiais ou assinaláveis.

Desse modo, podem ser utilizados os Gráficos de Controle ou Cartas de Controle com o objetivo de fazer um acompanhamento do processo de tempos em tempos, com intuito de verificar se as variações encontradas são ocasionadas somente por causas comuns, ou se existem causas especiais envolvidas, caso em que devem ser tomadas medidas corretivas e preventivas quanto sua futura ocorrência.

Pode-se afirmar que os Gráficos de Controle estabelecem uma técnica para aumentar a produtividade, atuam efetivamente na detecção de defeitos, previnem ajustes desnecessários no processo, estabelecem uma informação de diagnóstico e, com o processo estável, permitem o estudo da capacidade do processo, que consiste em avaliar se o processo é capaz de atender às especificações estabelecidas a partir dos desejos e necessidades dos clientes.

Assim, com o objetivo de analisar o controle da qualidade e capacidade dos processos nas Cardas e Passadeiras, aplicou-se o CEP, com a utilização de Gráficos de Controle.

6.5 ANÁLISE DO CONTROLE DA QUALIDADE DOS PROCESSOS NAS CARDAS E PASSADEIRAS

Para o estudo do comportamento dos processos nas Cardas e Passadeiras, com a finalidade de verificar suas variações e respectivas causas, realizou-se coleta de dados e construção de seus Gráficos de Controle.

6.5.1 Primeira Coleta de Dados, Construção e Análise dos Gráficos de Controle nas Cardas e Passadeiras

Estratégia de Amostragem

Nas doze Cardas existentes na Fiação, os ensaios relativos ao título das fitas de algodão foram realizados com uma amostra ($n = 1$), retirada a cada três horas, durante cinco dias; embora, normalmente, conforme plano de inspeção estabelecido pela empresa, os ensaios são feitos com três amostras, duas vezes ao dia. Nota-se que, exclusivamente para este estudo, reduziu-se o número de amostras de fitas, pelo fato destas serem usualmente coletadas uma em seguida da outra, não se acreditando

acontecer variações consideráveis no valor do título; e aumentou-se a frequência dos ensaios, a fim de detectar melhor as variações.

Nas quatro Passadeiras para cada uma de suas cabeças, os ensaios de titulação das fitas produzidas foram executados com uma amostra ($n = 1$), retirada a cada uma hora, durante cinco dias. Conforme plano de inspeção da fábrica, esses ensaios são regularmente realizados com três amostras, a cada uma hora. Portanto, para esta análise, reduziu-se o número de amostras também acreditando-se em pequenas variações no título das amostras coletadas em seqüência; e manteve-se a frequência dos ensaios devido ao fato dessas máquinas apresentarem a engrenagem de ajuste, geradora de menor variabilidade do processo.

O procedimento de extração e medição do material foi normalmente seguido: um dos responsáveis pelo laboratório de controle de qualidade interrompe o funcionamento da máquina, retira as amostras e, em instrumento adequado e calibrado, realiza a leitura do valor do título.

Todos os dados de Cardas e Passadeiras foram relatados, conforme dia e hora em que foram coletados (TABELAS 1.1-1.19, Apêndice I). A ausência de dados em alguns períodos relaciona-se às paradas de máquinas. Deve-se observar que durante esta primeira coleta de dados a Carda 02 permaneceu parada.

Seleção dos Gráficos de Controle

Os tipos de Gráficos de Controle, correspondentes à característica da qualidade selecionada (título) expressa por números em uma escala contínua de medidas, são os Gráficos de Controle para Variáveis. Dentro destes, por tratar-se de amostras individuais ($n = 1$), os considerados mais adequados foram os Gráficos \bar{x} e R_m (Amplitude Móvel). Além destes, devido ao interesse em pequenas flutuações, usou-se também o Gráfico de Soma Cumulativa (Cusum). (Os conceitos relativos a cada gráfico estão descritos no Capítulo 3)

Esses três tipos de gráficos de controle foram elaborados para Cardas e Passadeiras segundo seus dados coletados e tabelados, contando-se com o auxílio de um *Software*. Eles são apresentados nas FIGURAS 1.1-1.57 no Anexo A.

Análise dos Gráficos de Controle

Os Gráficos de Controle apresentados pelas Cardas e Passadeiras, segundo uma visão geral e imediata, mostram grande variabilidade nesses processos.

Os indicativos mais evidentes deste resultado são as ocorrências de pontos fora dos “limites de controle” e as amplas e frequentes variações dos pontos em relação à “linha média” em cada gráfico (FIGURAS 1.8 e 1.38 no Anexo A). Além destes, foram observadas outras indicações, como:

- Periodicidade, que está presente em curvas que apresentam repetidamente uma tendência para cima e para baixo, em intervalos de tempo que tem aproximadamente a mesma amplitude. Seu surgimento pode ser provocado por causas especiais como mudanças sistemáticas nas condições ambientais (temperatura, umidade); cansaço do operador, rotatividade regular de operadores ou máquinas; flutuação na voltagem, na pressão ou em alguma outra variável de equipamentos utilizados na produção e alterações sazonais na qualidade da matéria-prima. Exemplos: FIGURAS 1.23 e 1.35 no Anexo A
- Seqüência, quando vários pontos consecutivos dos gráficos de controle aparecem em apenas um dos lados da linha média. Uma seqüência indica uma mudança no nível do processo. Estas mudanças podem resultar, por exemplo, da introdução de novos operadores, matérias-primas ou máquinas, de alterações no método de inspeção ou nos padrões operacionais e de mudanças na habilidade, atenção ou motivação dos operadores. Exemplos: FIGURAS 1.11 e 1.53 no Anexo A.
- Tendência, que consiste em um movimento contínuo dos pontos dos gráficos em uma direção (ascendente ou descendente). As tendências são geralmente provocadas pelo desgaste ou deterioração graduais de ferramentas ou de equipamentos, mas também podem ser devidas a fatores humanos, tais como cansaço do operador ou presença de supervisores. Mudanças graduais nas condições ambientais (temperatura, pressão e umidade) também podem resultar em tendências. Exemplos: FIGURAS 1.2 e 1.56 no Anexo A.

Por razão desses resultados, surgiu a necessidade de uma análise de possíveis fatores externos causadores da grande variabilidade desses processos, a fim de verificar se as variações encontradas são ocasionadas somente por causas comuns, ou

se existem causas especiais envolvidas, caso em que devem ser tomadas medidas corretivas e preventivas.

Realizou-se uma pesquisa baseada apenas em entrevista com um especialista (Engenheiro Têxtil) da Fiação da fábrica em questão. Os possíveis fatores apontados como responsáveis pelas variações foram: mudanças nas condições ambientais, relacionadas à temperatura ambiente e porcentagem de umidade do ar, afetando a porcentagem de umidade do material (quanto menor a umidade, menor o peso do material e maior o valor o título); mudanças de turno, gerando alterações de habilidades, atenção, cansaço de motivação dos operadores; e a interferência dos ajustes das máquinas no decorrer do processo. Então, propôs-se a investigação destas causas indicadas, durante uma segunda coleta de dados.

Observou-se, ainda, comparando-se os Gráficos de Controle das Cardas (FIGURAS 1.1-1.33 no Anexo A) com os das Passadeiras 01 (FIGURAS 1.34-1.39 no Anexo A) e 03 (FIGURAS 1.46-1.51 no Anexo A), onde ocorre a primeira passagem das fitas vindas das Cardas, que, apesar dos ajustes nas engrenagens dessas Passadeiras, ocorre a permanência de grande variação do valor do título, o que pode ser justificado pelas grandes deficiências das Cardas. Esta variabilidade somente é amenizada na segunda passagem desse material, realizada nas Passadeiras 02 (FIGURAS 1.40-1.45 no Anexo A) e 04 (FIGURAS 1.52-1.57 no Anexo A). Assim, para verificação da existência de influência dos resultados dos processos nas Cardas sobre os processos subsequentes, sugeriu-se um rastreamento do produto, desde sua saída das Cardas até o gerado pelas Passadeiras 01 e 03, numa segunda coleta de dados. Para este propósito, propôs-se o uso de etiquetas de identificação fixadas aos latões de fitas, definindo o número da Carda produtora, data e hora da correspondente amostra ensaiada.

6.5.2 Segunda Coleta de Dados, Construção e Análise dos Gráficos de Controle nas Cardas e Passadeiras

Estratégia de Amostragem

Os ensaios de titulação das fitas de algodão nas Cardas foram feitos com uma amostra, retirada a cada latão cheio (o que ocorre aproximadamente a cada uma



hora e meia), durante cinco dias. Portanto, houve um novo aumento na frequência de ensaios com a mesma finalidade de perceber melhor as variações.

Em cada latão correspondente a uma Carda específica, fixou-se a etiqueta de identificação (já especificada no item 6.4.1) para auxiliar no rastreamento do produto.

Nas Passadeiras, os ensaios relativos ao título das fitas foram feitos com uma amostra, a cada uma hora, durante cinco dias; mantendo-se a frequência da primeira coleta.

Para todos valores dos títulos obtidos nas Cardas e Passadeiras, relatou-se os dados correspondentes aos possíveis causadores da variabilidade dos processos: data e hora da coleta; existência ou não de ajuste das máquinas; temperatura ambiente; porcentagem de umidade do ar; porcentagem de umidade do material. Além disso, para a conclusão do rastreamento do produto, apenas para as Passadeiras 01 e 03, responsáveis pela primeira passagem das fitas (fase subsequente às Cardas), listou-se os seis latões alimentadores de cada cabeça dessas máquinas, que já haviam sido adequadamente identificados pelas etiquetas.

É importante esclarecer que, conforme procedimento estabelecido no setor, as engrenagens das Passadeiras 01 e 03 devem ser reguladas com a menor frequência possível, pois os valores dos títulos variam muito nesta fase, podendo gerar grandes conflitos.

As tabelas de dados, TABELAS 1.1-1.20, podem ser encontradas no Apêndice II. A ausência de dados em alguns períodos relaciona-se às paradas de máquinas.

Seleção dos Gráficos de Controle

Tratando-se de amostras individuais ($n = 1$), utilizou-se os Gráficos \bar{x} e R_m (Amplitude Móvel). Além destes, para uma melhor visualização das pequenas flutuações do processo, usou-se também o Gráfico Cusum Tabular ou Algorítmico (outra forma de Gráfico Cusum). Para a construção deste último tipo de gráfico, seguiu-se o procedimento fornecido no Capítulo 3 e contou-se com a ajuda do

Software Excel (os dados calculados são apresentados nas TABELAS 1.21-1.40 no Apêndice II).

Os três tipos de Gráficos de Controle foram elaborados para Cardas e Passadeiras e mostrados nas FIGURAS 1.1-1.60 no Anexo B.

Análise dos Gráficos de Controle

Os Gráficos de Controle apresentados pelas Cardas e Passadeiras, nesta segunda coleta de dados, continuam mostrando grande variabilidade nos processos.

Há novamente ocorrências de pontos fora dos “limites de controle” e as amplas e frequentes variações dos pontos em relação à “linha média” (FIGURAS 1.29-1.30 e 1.41-1.42 no Anexo B), além de periodicidades (FIGURAS 1.11-1.12 e 1.38-1.39 no Anexo B), sequências (FIGURAS 1.23-1.24 e 1.53-1.54 no Anexo B) e tendências (FIGURAS 1.5-1.6 e 1.56-1.57 no Anexo B), evidenciando a variabilidade.

São descartadas algumas hipóteses: erro de registro dos dados, de cálculo ou de medição; utilização de algum instrumento descalibrado; ação incorreta realizada por algum operador; e defeitos nos equipamentos.

Analisaram-se os dados referentes aos fatores apontados como possíveis causadores de variabilidade (temperatura, umidade do ar e umidade do material e trocas de turno), procurando-se relacionar suas mudanças com a variação do título, que é expressa por meio do comportamento dos gráficos, que são formados por curvas de diversas configurações. Entretanto, nem todos indicativos de variações identificados foram justificados pela interferência desses fatores, gerando dúvidas em relação à existência das causas especiais.

Mas o que causou grande surpresa, foi a não evidência da relação das deficiências provenientes da grande variabilidade dos processos nas Cardas sobre os processos de primeira passagem das fitas nas Passadeiras 01 e 03. O rastreamento realizado permitiu perceber, por meio dos dados coletados e comportamento dos gráficos que, uma variação do título apresentada por uma amostra de fita de um latão, produzido por uma determinada Carda, em um determinado dia e hora, não interferia consideravelmente no valor do título apresentado por uma amostra de fita produzida pela Passadeira alimentada por este latão identificado.

Esta observação gerou discussões e surgiu uma possível explicação para esta contradição: a variação do título das fitas dentro de um latão é tão grande, que uma amostra retirada deste não é suficiente para representá-lo e, conseqüentemente, não é capaz de demonstrar corretamente o comportamento do processo na Carda correspondente.

Para provar este fato, realizou-se uma terceira coleta de dados nas Cardas.

6.5.3 Terceira Coleta de Dados, Construção e Análise dos Gráficos de Controle nas Cardas

Escolheu-se quatro Cardas aleatoriamente e realizou-se os ensaios de titulação com três amostras, a cada dez minutos, no período das 08:30 às 16:00 com intervalo de meia hora (das 11:30 às 12:00) para o almoço, durante dois dias. Houve um aumento no número de amostras e freqüência de ensaios, com a finalidade de detectar maior número de variações. Os dados se encontram nas TABELAS 1.1-1.4 do Apêndice III.

Utilizou-se os seguintes gráficos de controle: Gráfico da Média \bar{x} - Gráfico da Amplitude R , por tratar-se de um subgrupo de valores contínuos do parâmetro analisado - título da fita de algodão. (Definições dos gráficos no Capítulo 3). Eles foram elaborados para as Cardas conforme os dados coletados, contando-se novamente com o auxílio de um *Software*. Estão demonstrados nas FIGURAS 1.1-1.8 no Anexo C.

Analisou-se esses gráficos e observou-se realmente uma variação ampla e muito frequente dos valores dos títulos (mesmo entre as três amostras tomadas seqüencialmente dentro de cada ensaio), além de seqüências, tendências e periodicidades, demonstrando a grande variabilidade do processo nas Cardas (FIGURA 1.2 no Anexo C).

Isto pôde justificar a falta de coincidência da variação do processo nas Cardas com a variabilidade apresentada nas Passadeiras, conforme constatou-se na segunda coleta de dados.

6.6 AVALIAÇÃO DA CAPABILIDADE DOS PROCESSOS NAS CARDAS E PASSADEIRAS

Conforme definido no Capítulo 3 o estudo da capacidade do processo consiste em avaliar se o processo é capaz de atender às especificações estabelecidas a partir dos desejos e necessidades dos clientes. Observa-se que, se o processo não é estável, ele possui um comportamento imprevisível e, portanto, não faz sentido avaliar a sua capacidade.

Embora constatado, por meio da análise dos Gráficos de Controle, que os processos nas Cardas e Passadeiras apresentam amplas e frequentes variações, apenas para ilustrar, avaliou-se graficamente a capacidade desses processos, na primeira e segunda coleta, comparando-se os gráficos construídos com os “limites de especificação” relativos aos títulos das fitas de algodão, estabelecidos pela empresa conforme os desejos e necessidades de seus clientes, e utilizados como padrão de controle da qualidade do produto. (Estes limites já foram definidos no item 6.3 deste Capítulo). Observou-se na maioria das máquinas analisadas que os processos não são capazes de atender seus consumidores, produzindo itens com defeito. Isto é evidenciado por apresentarem elevada variabilidade e, em alguns casos, a incidência de pontos fora dos “limites especificação”, principalmente nas Passadeiras, as quais possuem limites mais restritos. Exemplos: FIGURAS 1.11 e 1.38 no Anexo A, FIGURAS 1.2 e 1.50 no Anexo B.

Também, com o objetivo ilustrativo, aplicou-se uma outra forma de expressão da capacidade de um processo que consiste no cálculo dos chamados índices de capacidade. Eles são números adimensionais que permitem uma quantificação do desempenho dos processos.

Utilizou-se o índice C_p que relaciona aquilo que se deseja produzir (LSE - LIE), que corresponde à variabilidade permitida ao processo, com a variabilidade natural do processo (6σ). Percebe-se que quanto maior for o valor de C_p , maior será a capacidade do processo em satisfazer as especificações.

$$\hat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}}$$

A TABELA 3.2 do Capítulo 3 apresenta o critério utilizado para classificação de processos segundo o índice C_p . O valor mínimo exigido para C_p é 1,33.

Para o cálculo da capacidade dos processos nas Cardas utilizou-se como base os valores resultantes na segunda coleta de dados relativos à Carda 01 (Tabela 1.1 - Apêndice II), onde realizaram-se os ensaios de titulação com uma amostra, retirada a cada latão cheio (o que ocorre aproximadamente a cada uma hora e meia), durante cinco dias.

Conforme inspeção de qualidade realizada na fábrica, o valor da média calculada dos títulos das amostras de fitas de algodão retiradas das cardas precisa estar dentro dos seguintes “limites de especificação” definidos pela empresa: LIE = 0,090 Ne, LME = 0,120 Ne, LSE = 0,140 Ne.

Tratando-se de amostras individuais, construiu-se anteriormente os Gráficos \bar{x} e R_m (Amplitude Móvel) para Carda 01 (FIGURAS 1.1-1.2 no Anexo B)

Neste caso o valor de σ é estimado com base na amplitude amostral \bar{R} :

$$\hat{\sigma} = \bar{R}_m / d_2,$$

onde d_2 deve ser obtido em tabela para $n = 2$, já que o gráfico é baseado em uma amplitude móvel de $n = 2$ observações.

Para o Gráfico \bar{x} :

$$LSC = \bar{x} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2} = \bar{x} + 3\sigma,$$

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

$$LI = \bar{x} - 3 \frac{\bar{R}_m}{d_2} = \bar{x} - 3\sigma.$$

Portanto, o valor do σ pode ser encontrado no Gráfico \bar{x} .

Para a Carda 01:

$\sigma = 0.009005$ (conforme Gráfico \bar{x} - FIGURA 1.2 no Anexo B),

$$\hat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} = C_p = (0.140 - 0.090) / (6 * 0.009005) = 0.9254118 < 1$$

(PROCESSO INCAPAZ OU INADEQUADO)

Para o cálculo da capacidade dos processos nas Passadeiras, utilizou-se como base os valores resultantes da segunda coleta de dados, referentes à Passadeira

01 - Cabeça 01: Primeira Passagem (Tabela 1.13 - Apêndice II) e à Passadeira 02 - Cabeça 01: Segunda Passagem (Tabela 1.15 - Apêndice II).

Conforme inspeção de qualidade realizada na fábrica, o valor da média calculada dos títulos das amostras de fitas de algodão retiradas das passadeiras precisa estar dentro dos seguintes “limites de especificação” definidos pela empresa:

- Primeira Passagem - Passadeira 01 e Passadeira 03: LIE = 0,118 Ne, LME = 0,120 Ne, LSE = 0,124 Ne;
- Segunda Passagem - Passadeira 02 e Passadeira 04: LIE = 0,116, LME = 0,120 e LSE = 0,124.

Tratando-se de amostras individuais, construiu-se anteriormente os Gráficos \bar{x} e R_m (Amplitude Móvel).

Logo, conforme explicado anteriormente, o valor do σ pode ser encontrado no Gráfico \bar{x} .

Para a Passadeira 01 - Cabeça 01:

$\sigma = 0.003959$ (conforme Gráfico \bar{x} - Figura 1.38 no Anexo B),

$$\hat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} = C_p = (0.124 - 0.118) / (6 * 0.003959) = 0.252589 < 1$$

(PROCESSO INCAPAZ OU INADEQUADO)

Para a Passadeira 02 - Cabeça 01:

$\sigma = 0.002723$ (conforme Gráfico \bar{x} - Figura 1.44 no Anexo B)

$$\hat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} = C_p = (0.124 - 0.116) / (6 * 0.002723) = 0.489656 < 1$$

(PROCESSO INCAPAZ OU INADEQUADO)

Analisando-se os índices de capacidade C_p correspondentes aos processos nas Cardas e Passadeiras selecionadas, conforme TABELA 3.2, esses processos são classificados como incapazes.

6.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Realizou-se a avaliação da qualidade do processo de Fiação.

Inicialmente foi feita uma análise da atual forma de controle da qualidade no processo. Em seguida, conforme pesquisa realizada nos setores consumidores de fio (Tinturaria, Preparação, Tecelagem), definiu-se o título do fio (comprimento/massa) como parâmetro crítico do processo. Apresentaram-se os ensaios de titulação e os respectivos limites de especificação estabelecidos pela empresa. Então, a fim de avaliar o processo, verificando a existência de variações referentes ao título, planejou-se um estudo da capacidade do processo de Fiação, com a utilização de Gráficos de Controle nas primeiras etapas do processo - produção das fitas de algodão pelas Cardas e Passadeiras - onde os resultados ainda podem ser corrigidos. Para isto foram realizadas três coletas de dados, com a construção e análise dos Gráficos de Controle.

Executou-se a primeira coleta de dados com a construção dos Gráficos de Controle para Cardas e Passadeiras.

Observaram-se ocorrências de pontos fora dos “limites de controle” e amplas e frequentes variações dos pontos em relação à “linha média”, além de periodicidades, sequências e tendências, que evidenciaram grande variabilidade do título das fitas de algodão nesses processos.

Por meio de pesquisa na fábrica, foram apontados possíveis fatores causadores dessas variações e propôs-se uma investigação numa outra coleta de dados

Ainda à procura de causas, verificou-se, através da comparação dos gráficos, uma possível influência de variações vindas das Cardas sobre os processos subsequentes nas Passadeiras 01 e 03. Sugeriu-se, então, um rastreamento do produto desde as Cardas até as Passadeiras, utilizando-se para isto etiquetas de identificação fixadas aos latões de fitas.

Então, executou-se uma nova coleta de dados e construção de gráficos. Para todos valores dos títulos obtidos nas Cardas e Passadeiras, relatou-se os dados correspondentes aos possíveis causadores da variabilidade, a fim de verificar suas influências nos processos: data e hora da coleta; existência ou não de ajuste das

máquinas; temperatura ambiente; porcentagem de umidade do ar; porcentagem de umidade do material. Além disso, para a conclusão do rastreamento do produto, apenas para as Passadeiras 01 e 03, responsáveis pela primeira passagem das fitas (fase subsequente às Cardas), listou-se os seis latões alimentadores de cada cabeça dessas máquinas, que já haviam sido adequadamente identificados pelas etiquetas.

Os Gráficos de Controle continuaram mostrando grande variabilidade nos processos. Entretanto, nem todos os indicativos das variações observadas foram justificados pelas possíveis causas apontadas e relatadas, gerando dúvidas quanto à atuação de causas especiais.

Além disso, não ficou evidente a relação das deficiências dos processos nas Cardas sobre os processos nas Passadeiras 01 e 03. Para isto, surgiu uma possível explicação: a variação do título das fitas dentro de um latão é tão grande, que uma amostra retirada deste não é suficiente para representá-lo e, conseqüentemente, não é capaz de demonstrar corretamente o comportamento do processo na Carda correspondente.

Para provar este fato, executou-se uma terceira coleta e construção dos Gráficos de Controle nas Cardas, porém desta vez com ensaios mais frequentes e um maior número de amostras. Notou-se realmente uma variação ampla e muito frequente dos valores dos títulos dentro de um mesmo latão de fitas produzido pela Carda.

Baseando-se nessas coletas de dados e análises dos correspondentes Gráficos de Controle, chegou-se à conclusão de que há uma grande variabilidade do valor do título das fitas de algodão nos processos realizados pelas Cardas e Passadeiras. Entretanto, não foi possível a identificação de causas especiais. Apenas ficou evidente que a utilização de máquinas tecnologicamente ultrapassadas, com formas de ajuste inadequadas dificultando a melhoria dos processos, é uma das principais causas das grandes e frequentes variações nos processos, podendo ser classificada como uma causa crônica.

Além da análise do comportamento dos processos nas Cardas e Passadeiras, avaliou-se também sua capacidade. Observou-se, tanto graficamente, comparando-se os gráficos construídos com os “limites de especificação” estabelecidos pela

empresa, como numericamente, por meio do cálculo do índice de capacidade C_p , que os processos na maioria dessas máquinas não são capazes de atender adequadamente os desejos e necessidades de seus clientes, produzindo itens com defeito.

7. CUSTO DA NÃO QUALIDADE RESULTANTE DO PROCESSO DE FIAÇÃO

Conforme o fluxograma do processo de produção da fábrica, já apresentado neste trabalho (Figura 5.1), os fios produzidos na Fiação podem seguir três caminhos: Tinturaria (fio tinto), Preparação (rolo de urdume) ou ir direto para Tecelagem (fio de trama).

Analisou-se em cada um desses setores consumidores, as possíveis complicações e defeitos gerados pelas variações do título dos fios produzidos na Fiação, e procurou-se quantificar, em termos monetários, as consideráveis perdas produzidas, ou seja, calcular o custo da não qualidade.

7.1 O IMPACTO DA VARIABILIDADE DO TÍTULO DO FIO NO PROCESSO DE TINGIMENTO

Segundo pesquisa baseada em entrevista com o especialista da área de Tinturaria na empresa, o valor do título do fio de algodão não interfere no processo produtivo de tingimento (descrito no Capítulo 5), ou seja, a ocorrência de variações desta característica do fio não altera a qualidade do tingimento.

7.2 O IMPACTO DA VARIABILIDADE DO TÍTULO DO FIO NO PROCESSO DE PREPARAÇÃO

Considerando-se que o objetivo dessa análise é avaliar as consequências da não qualidade dos fios (crus) gerados no processo de Fiação, analisou-se a preparação apenas de rolos de fios crus (12/1 - fundo e 16/1 - felpa), desprezando-se a produção de rolos de fios tintos, já que estes sofrem transformações durante o processo químico de tingimento.

O estudo iniciou-se com o levantamento dos possíveis problemas causados pelas variações do título dos fios durante o processo produtivo de preparação (descrito no Capítulo 5). Isto se deu através de entrevista realizada com o especialista dessa área na empresa. Ele afirmou que a quebra do fio (quanto maior o valor do título, menor a massa e maior a quebra de fio), gerando a parada da máquina, é o problema merecedor de maior atenção, entretanto acontece com pouca frequência.

Com a finalidade de verificar esta afirmação, observaram-se as frequências e tempos de paradas das máquinas - Urdideira e Engomadeira - causadas pela quebra do fio, durante a produção completa de um rolo de fio 12/1 e de um rolo de fio 16/1. Constatou-se que essas máquinas raramente param devido à quebra do fio, levando a conclusão de que as variações do título dos fios interferem muito pouco no processo de preparação, não gerando consideráveis prejuízos.

7.3 O IMPACTO DA VARIABILIDADE DO TÍTULO DO FIO NO PROCESSO DE TECELAGEM

Com a finalidade de avaliar as consequências da não qualidade dos fios (crus) gerados no processo de Fiação, observou-se apenas o processo de tecelagem de tecidos e toalhas compostas de fios crus, que é realizado por 12 teares de “segunda geração” alimentados por rolos de urdume de fios 12/1 (rolo de fundo) e de fios 16/1 (rolo de felpa), além dos fios 16/1 da trama.

Assim como na Preparação, o estudo na Tecelagem foi iniciado com o levantamento dos possíveis problemas gerados pela variabilidade do título durante o processo produtivo de tecelagem (descrito no Capítulo 5). Realizou-se entrevista com o especialista da área, que afirmou também ser a quebra de fio, gerando a parada da máquina, um dos principais problemas consequente das variações do título na Tecelagem.

Quando ocorre o rompimento do fio, o tecelão executa a emenda deste com um nó especial (nó de tecelão). Esta emenda não é percebida na toalha, ou seja, não deixa defeito. Logo, neste caso, o único prejuízo causado pela quebra do fio é o tempo que a máquina fica parada aguardando a ação corretiva do operador.

Assim, a avaliação/quantificação das consequências da não qualidade do fio de algodão no processo de Tecelagem, originada das variações de título identificadas no processo de Fiação, deu-se por meio da coleta de dados referentes aos tempos de paradas dos teares.

7.3.1 Paradas dos Teares por Quebra de Fio

Para a coleta dos tempos de paradas dos teares, geradas pela quebra de fio no processo de Tecelagem, consequentes da variabilidade do título do fio produzido na Fiação, foram seguidas as etapas:

- Escolheu-se um dos 12 teares de “segunda geração”, responsável pela produção de tecidos lisos e crús, alimentado por fios 16/1 do rolo de felpa, 12/1 do rolo de fundo e 16/1 da trama.

- A coleta dos tempos de paradas do tear deu-se durante 24 horas = 1440 minutos = 86400 segundos, distribuídas em diferentes dias e períodos, procurando abranger possíveis variáveis que influenciam o processo (da matéria-prima ao produto final).

- Considerações:
 - Considerou-se todos os 12 teares iguais.
 - Os 12 teares são operados apenas por 2 funcionários e, quando necessário, são auxiliados por mecânicos da área. Nos períodos de almoço e jantar eles se revezam, permanecendo somente 1 operador. Quando várias máquinas param ao mesmo tempo, o operário tem que verificar uma de cada vez, aumentando o tempo de parada das máquinas que esperam ser atendidas.
 - Dependendo da origem (rolo de felpa, rolo de fundo, trama) e como acontece o rompimento do fio, a ação corretiva executada pelo tecelão - emenda do fio - leva mais ou menos tempo.
 - Não foram levadas em consideração algumas variáveis que têm influência sobre as propriedades dos fios, como a temperatura e umidade do ambiente.
 - Desconsiderou-se o modelo específico do produto gerado pelo tear analisado.
 - Os tempos de paradas para troca de rolos de fios que alimentam o tear foram excluídos do período de coleta..
 - Também foram desprezados os tempos das retiradas dos rolos de toalhas produzidos.

- Resultados da coleta de dados:

- Tempo de observação: 86400 s.
 - Soma dos tempos que o tear parou devido as quebras de fios: 2257 s.
 - Os 12 teares são considerados iguais, portanto, estima-se o total de tempos de paradas = $12 \times 2257 \text{ s} = 27084 \text{ s}$.
- Estimativa dos tempos de paradas dos teares para um mês de operação:
 - Fez-se o cálculo estimado dos tempos de paradas das máquinas referentes a um mês de operação, tomando-se como base alguns valores fornecidos pela empresa referentes ao mês em que essa coleta de dados foi executada:
 - Total de horas trabalhadas no mês: 603:00:00 = 36180 min = 2170800 s.
 - Horas improdutivas: 176:20:00 = 10580 min = 634800 s.
 - Cálculo das horas realmente trabalhadas no mês:
 Total de horas trabalhadas - Horas improdutivas = 25600 min = 1536000 s.
 - Cálculo estimado dos tempos de paradas dos 12 teares em um mês:
- | | | |
|-----------------------------|-------|--------------------------------------|
| Tempo de observação | _____ | Tempo total de paradas dos 12 teares |
| (86400 s) | | (27084 s) |
| Horas reais trabalhadas mês | _____ | Tempo total de paradas dos 12 teares |
| mês | | X |
| (1536000 s) | | X |
- $X = 27084 \times 1536000 / 86400 = 481493,33 \text{ s} = 8024,8889 \text{ min.} = \text{tempo total de paradas dos teares em um mês.}$

7.3.2 Cálculo do Custo de Paradas dos Teares por Quebra de Fio

Para o cálculo do custo de paradas dos teares, geradas pela quebra de fio no processo de Tecelagem, consequentes da variabilidade do título do fio produzido na Fiação, foram seguidas as etapas:

- Transformação do tempo total das paradas em quantidade de batidas não executadas pelos teares (rpm/min):

Cada um dos 12 teares analisados corresponde a 320 rpm/min, ou seja, em cada minuto ocorrem 320 batidas.

Portanto, tem-se a seguinte estimativa:

1 min	_____	320 rpm
8024,8889 min de paradas dos teares no mês	_____	X

$X = 320 \times 8024,8889 / 1 = 2567964,4 \text{ rpm} = \text{total de batidas não realizadas pelos 12 teares em um mês.}$

- Cálculo estimado do custo gerado pelos tempos de paradas dos 12 teares, transformados em número de batidas não executadas por essas máquinas, por meio do valor do custo de 1000 batidas fornecido pela fábrica:

Custo de 1000 rpm = R\$ 0,7627

Estimativa do custo para 2567964,4 rpm:

1000 rpm	_____	R\$ 0,7627
2567964,4 rpm	_____	R\$ X

$X = 2567964,4 \times 0,7627 / 1000 = \text{R\$ } 1958,5864 = \text{custo de batidas não realizadas} = \text{custo dos tempos de paradas das máquinas} = \text{custo devido a quebra do fio} = \text{custo causado pela variabilidade excessiva do título do fio na Tecelagem.}$

7.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os fios produzidos na Fiação podem seguir três caminhos: Tinturaria, Preparação e Tecelagem.

Analisou-se em cada um desses setores consumidores, as possíveis complicações e defeitos gerados pelas variações do título dos fios produzidos na Fiação. Constatou-se que somente na Tecelagem ocorre uma maior interferência da variabilidade desse parâmetro, sendo a principal causa da quebra do fio, gerando a parada da máquina.

Quando ocorre o rompimento do fio, o tecelão executa a emenda deste com um nó especial (nó de tecelão). Esta emenda não é percebida na toalha, ou seja, não deixa defeito. Logo, o único prejuízo causado pela quebra do fio é o tempo que a máquina fica parada aguardando a ação corretiva do operador.

Concluiu-se, então, que o custo causado pela variabilidade excessiva do título do fio na Tecelagem é igual ao custo devido à quebra do fio, que corresponde ao custo dos tempos de paradas dos teares, que é igual ao custo das batidas não realizadas pelos teares. Para o cálculo deste valor, seguiram-se as seguintes etapas: coleta dos tempos de parada dos teares, transformação do tempo total das paradas em quantidade de batidas não executadas pelos teares e, por fim, cálculo do custo do total de batidas não realizadas com base no custo de 1000 batidas fornecido pela fábrica, chegando-se ao valor estimado de R\$ 1958,5864.

Segundo o responsável pelo cálculo de todos os custos gerados pela empresa, o custo mensal da fábrica gira em torno de R\$ 900.000,00. Logo, o custo causado pelas variações do título do fio corresponde a aproximadamente 0,2 % do custo total. Este índice pode não justificar para empresa o investimento necessário na padronização do parque de máquinas no setor de Fiação, pelo fato da não qualidade do fio, gerada por essa variabilidade do título, não interferir na qualidade do produto final produzido na Tecelagem (maior preocupação da fábrica). Entretanto é importante alertar, que não é grande vantagem investir tecnologicamente somente no setor de Tecelagem sem garantir a conformidade do fio, pois os teares mais modernos exigem maior qualidade do fio para um maior índice de produtividade.

8. CONCLUSÃO

Este trabalho propôs um estudo no setor de Fiação de uma Indústria Têxtil, com a finalidade de avaliar o controle da qualidade e capacidade do processo de Fiação por meio da aplicação de métodos estatísticos. Esta aplicação referiu-se a um parâmetro considerado crítico pela empresa. Além disso, objetivou-se analisar o impacto da variabilidade desse parâmetro nos processos subsequentes, por meio de avaliação/quantificação do custo da não qualidade gerada pelas variações no processo; e discutir e propor ações para a redução da variabilidade excessiva e melhoria do processo produtivo de forma geral.

A pesquisa foi desenvolvida numa empresa do ramo têxtil de capital nacional de médio porte, estruturada no mercado há 50 anos, baseada numa cultura organizacional familiar. Seus produtos e processos foram devidamente descritos no Capítulo 5.

Com base no estudo das Ferramentas Estatísticas da Qualidade (Capítulo 3), realizou-se a avaliação da qualidade do processo de Fiação. Inicialmente foi feita uma descrição da atual forma de controle da qualidade no processo. Em seguida, conforme pesquisa realizada nos setores internos consumidores de fio (Tinturaria, Preparação, Tecelagem), definiu-se o título do fio (comprimento/massa) como parâmetro crítico do processo. Apresentaram-se os ensaios de titulação e os respectivos limites de especificação estabelecidos pela empresa. Então, a fim de avaliar o processo, verificando a existência de variações referentes ao título, planejou-se um estudo do controle da qualidade e capacidade do processo de Fiação, com a utilização de Gráficos de Controle nas primeiras etapas do processo - produção das fitas de algodão pelas Cardas e Passadeiras - onde os resultados ainda podem ser corrigidos. Para isto foram realizadas três coletas de dados, com a construção e análise dos Gráficos de Controle.

Na primeira coleta de dados, construção e análise dos Gráficos de Controle das Cardas e Passadeiras, constatou-se a instabilidade de seus processos, evidenciada principalmente pela ocorrência nos gráficos de pontos fora dos limites de controle e amplas e frequentes variações dos pontos.

Surgiu, então, a necessidade de uma análise de possíveis fatores causadores da grande variabilidade do título, que também pôde ser percebida nos gráficos por meio de outros indicativos como periodicidades, seqüências e tendências.

Uma pesquisa com base em entrevista com funcionário especializado no assunto (Engenheiro Têxtil), apontou alguns possíveis fatores responsáveis pela variação do título da fita de algodão: mudanças nas condições ambientais, mudanças de turno e os ajustes das máquinas no decorrer do processo.

Além disso, comparando-se os gráficos resultantes das Cardas com os das Passadeiras 01 e 03 (primeira passagem das fitas), notou-se que apesar dos ajustes nas engrenagens dessas Passadeiras, a variação do valor do título ainda permanece grande, sendo esta somente amenizada na segunda passagem das fitas nas Passadeiras 02 e 04. Isto gerou a necessidade de um rastreamento do produto, desde sua saída das Cardas até aquele gerado pelas Passadeiras 01 e 03, com a finalidade de observar a existência ou não de influência dos resultados do processo nas Cardas sobre o processo subsequente.

Na segunda coleta de dados, a fim de verificar a influência das causas indicadas na primeira coleta, para todos valores dos títulos obtidos, relatou-se: data e hora da coleta; existência ou não de ajuste das máquinas; temperatura ambiente; porcentagem de umidade do ar; porcentagem de umidade do material. Além disso, para a conclusão do rastreamento do produto, apenas para as Passadeiras 01 e 03, responsáveis pela primeira passagem das fitas (fase subsequente às Cardas), listou-se os seis latões alimentadores de cada cabeça dessas máquinas, que já haviam sido adequadamente identificados.

A não estabilidade do processo foi novamente indicada pelos pontos fora dos limites de controle e as amplas e frequentes variações, além de periodicidades, seqüências e tendências. Entretanto, estas evidências de falta de controle, conforme análise dos dados e gráficos, não foram claramente justificadas pela ação das possíveis causas apontadas.

Além disso, constatou-se, por meio do rastreamento, um relacionamento não evidente das deficiências provenientes da grande variabilidade do processo nas Cardas sobre o processo nas Passadeiras 01 e 03. Este fato gerou discussões e uma

possível explicação para esta contradição foi sugerida: a variação do título da fita dentro de um latão é tão grande, que uma amostra retirada deste não é suficiente para representá-lo e, conseqüentemente, não é capaz de demonstrar corretamente o comportamento do processo na Carda correspondente. Surgiu, então, a necessidade de uma terceira coleta de dados das Cardas, a fim de avaliar esta explicação.

Executou-se, então, uma terceira coleta de dados. Escolheu-se somente quatro Cardas e, com a finalidade de detectar maior número de variações, aumentou-se a quantidade de amostras e freqüência de ensaios. Provou-se pela análise dos dados e gráficos, uma variação ampla e muito frequente dos valores dos títulos nas Cardas.

Sucintamente, analisando-se de forma geral, chegou-se à conclusão de que há uma grande variabilidade do valor do título das fitas de algodão nos processos realizados pelas Cardas e Passadeiras. Entretanto, não foi possível a identificação de causas especiais, pela falta de inter-relação entre os indicativos de variações observadas e as possíveis causas apontadas e relatadas no levantamento de dados. Apenas ficou evidente que a utilização de máquinas tecnologicamente ultrapassadas, com formas de ajuste inadequadas dificultando a melhoria dos processos, é uma das principais causas das grandes e frequentes variações nos processos, podendo ser classificada como uma causa crônica.

Além da análise do controle dos processos nas Cardas e Passadeiras, avaliou-se também, como ilustração, sua capacidade. Observou-se, tanto graficamente, comparando-se os gráficos construídos com os “limites de especificação” estabelecidos pela empresa, como numericamente, por meio do cálculo do índice de capacidade C_p , que os processos na maioria dessas máquinas não são capazes de atender adequadamente os desejos e necessidades de seus clientes, produzindo itens com defeito.

Baseando-se no estudo dos conceitos básicos de Custos da Qualidade (Capítulo 2), analisou-se o impacto da variabilidade do título do fio de algodão nos processos seguintes à Fiação (Tinturaria, Preparação, Tecelagem). Constatou-se que somente na Tecelagem ocorre um impacto significativo gerado pela variabilidade desse parâmetro, que corresponde ao custo da quebra do fio que gera a parada da máquina. O valor encontrado foi de R\$ 1958,5864. O custo mensal da fábrica gira

em torno de R\$ 900.000,00. Logo, o custo da não qualidade do fio corresponde a aproximadamente 0,2% do custo total. Este índice pode não justificar para empresa o investimento necessário na padronização do parque de máquinas no setor de Fiação, pelo fato da não qualidade do fio, gerada por essa variabilidade do título, não interferir na qualidade do produto final produzido na Tecelagem (maior preocupação da fábrica). Entretanto é importante alertar, que não é grande vantagem investir tecnologicamente somente no setor de Tecelagem sem garantir a conformidade do fio, pois os teares mais modernos exigem maior qualidade do fio para um maior índice de produtividade.

O estudo conclui que o esforço de inspeção empreendido pela empresa, gerador de um custo de avaliação, não se justifica, devido à alta variabilidade incontrolável do processo, geradora de um custo pela não qualidade do produto, decorrente do atraso tecnológico do processo de Fiação e às inúmeras variáveis independentes do processo.

As atividades e procedimentos de inspeção do título empreendidos pela empresa devem ser revistos, pois alguns procedimentos aplicados são ineficazes. Algumas questões devem ser avaliadas como:

- Se o processo é contínuo, para que executar ensaios com mais de uma amostra? Um estudo de Amostragem é necessário.
- Para que inspecionar as Cardas se não há forma adequada de ajustes dessas máquinas? Por quê não inspecionar somente as Passadeiras?
- Para que inspecionar o fio que sai da máquina Open-End se não há mais forma de correção do resultado?

Nota-se, que para obtenção de resultados eficientes e eficazes, a empresa inicialmente necessita de investimentos tecnológicos no setor de Fiação, possibilitando, assim, a aplicação de métodos preventivos, utilizando-se as ferramentas da qualidade para o estudo das causas especiais e crônicas responsáveis pelas variações da qualidade do processo e do produto. Isto, conseqüentemente levaria a uma redução dos custos de avaliação e dos custos devido às falhas internas (custos associados aos defeitos).

Uma outra opção, ainda, que vem sendo adotada por grande parte do setor produtivo, é a desverticalização do processo, com a terceirização do processo de Fiação. Não seria mais lucrativo para empresa?

Por fim, sugere-se um estudo relativo ao posicionamento estratégico da empresa em termos de produtos e mercados e a contribuição das operações de produção, a fim de focar em ações de melhoria que melhor impactem a competitividade da empresa.

ANEXO A - PRIMEIRA COLETA DE DADOS: GRÁFICOS CARDAS E PASSADEIRAS

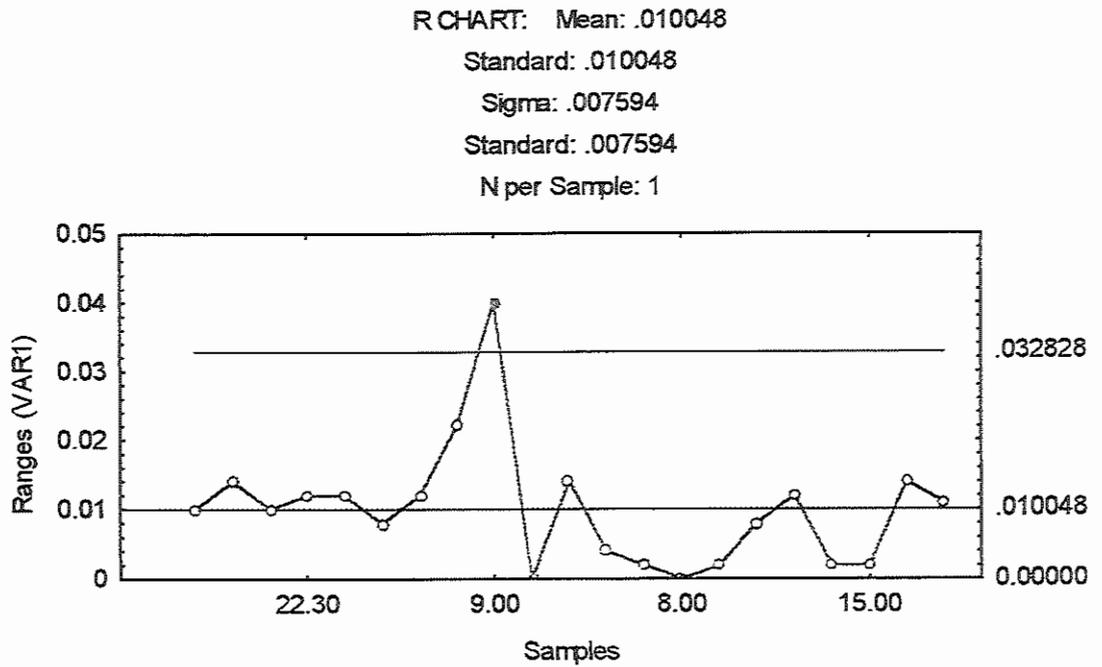


FIGURA 1.1 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 01

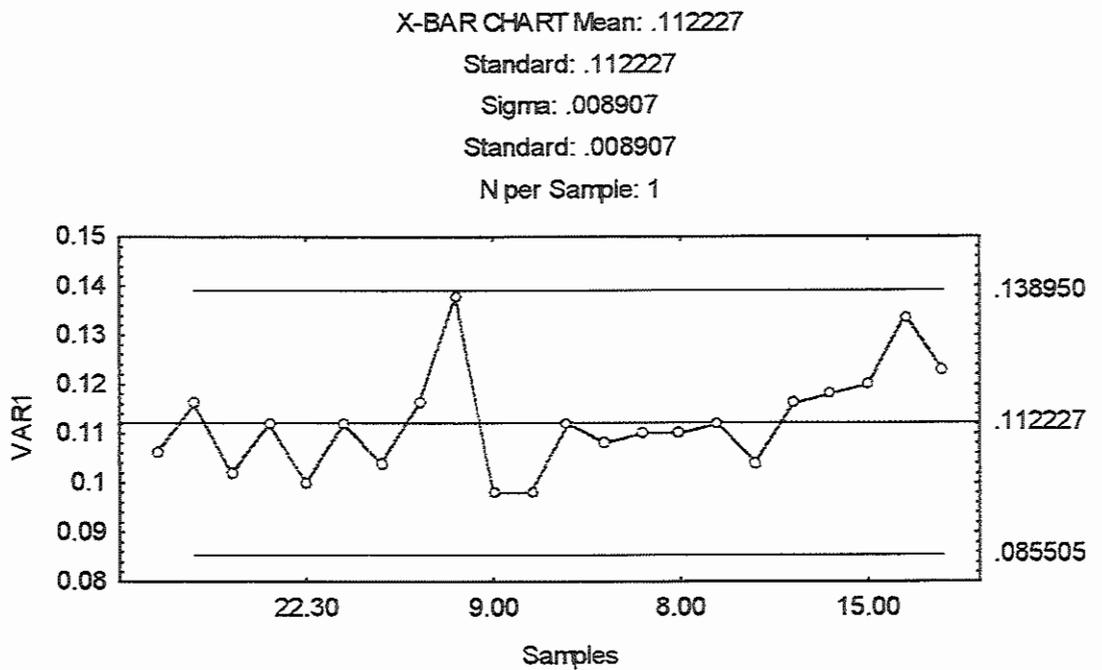


FIGURA 1.2 - Gráfico de \bar{x} - Carda 01

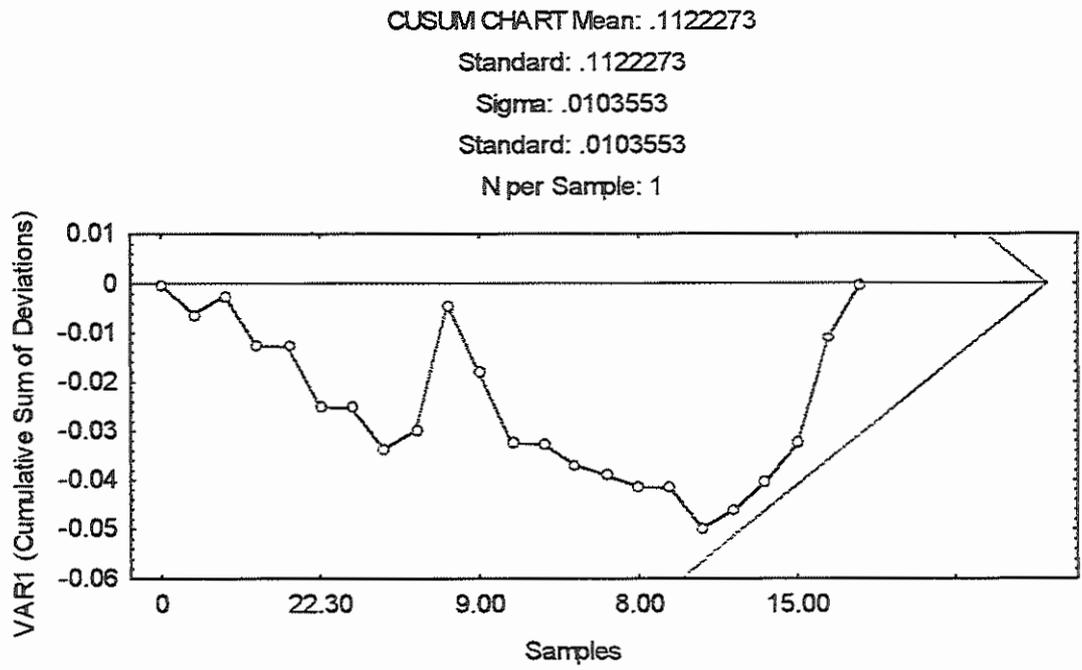


FIGURA 1.3 - Gráfico Cusum: Carda 01

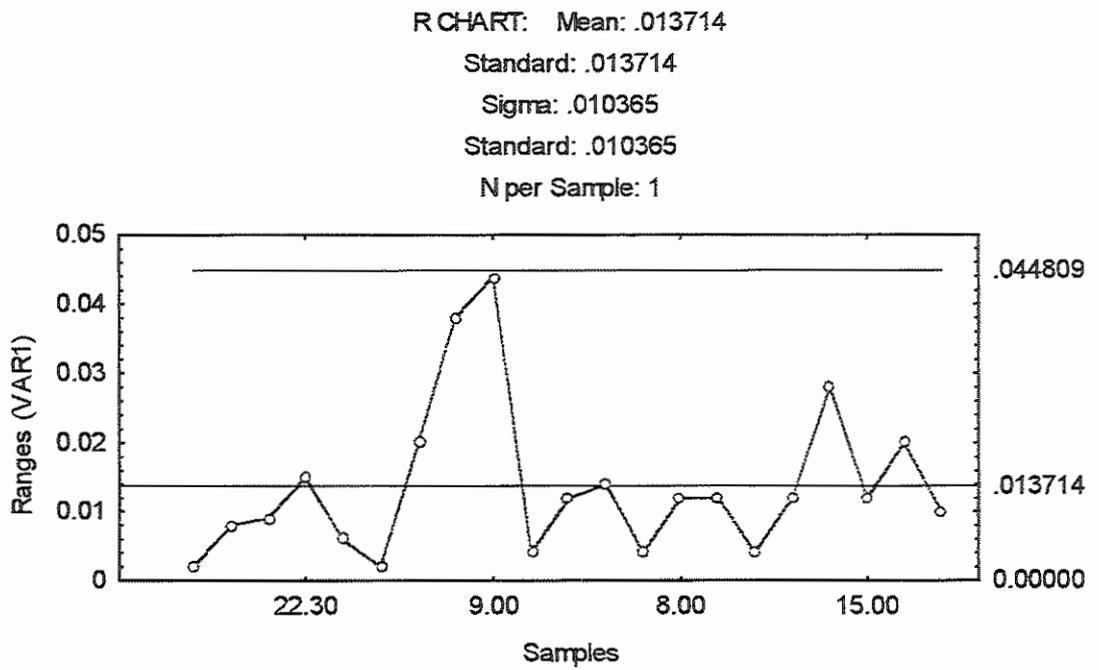


FIGURA 1.4 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 03

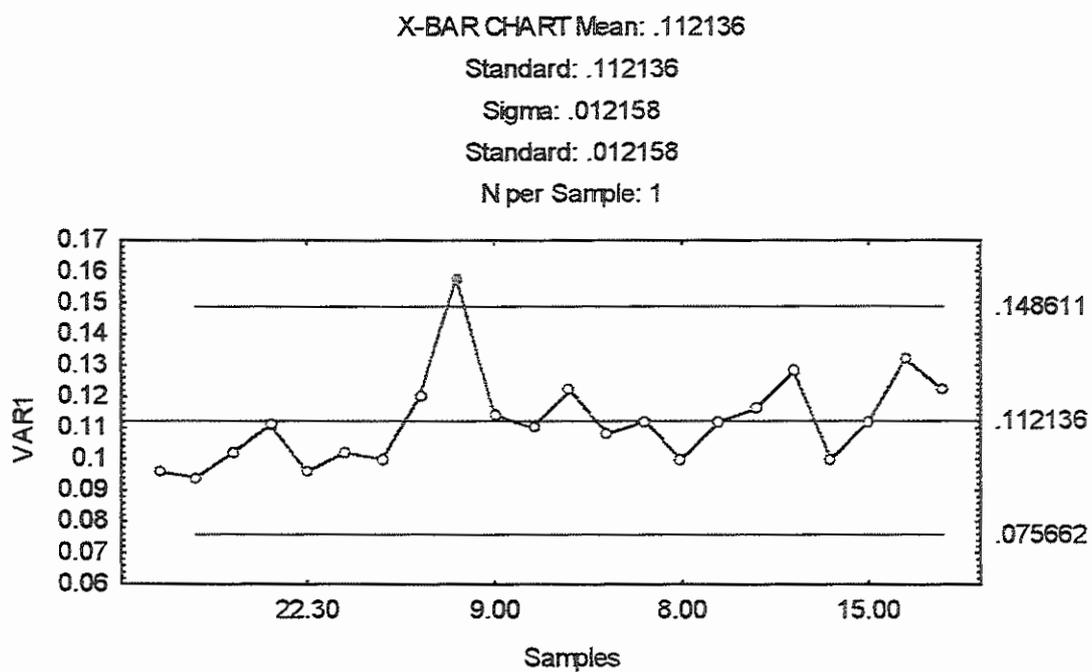


FIGURA 1.5 - Gráfico de x: Carda 03

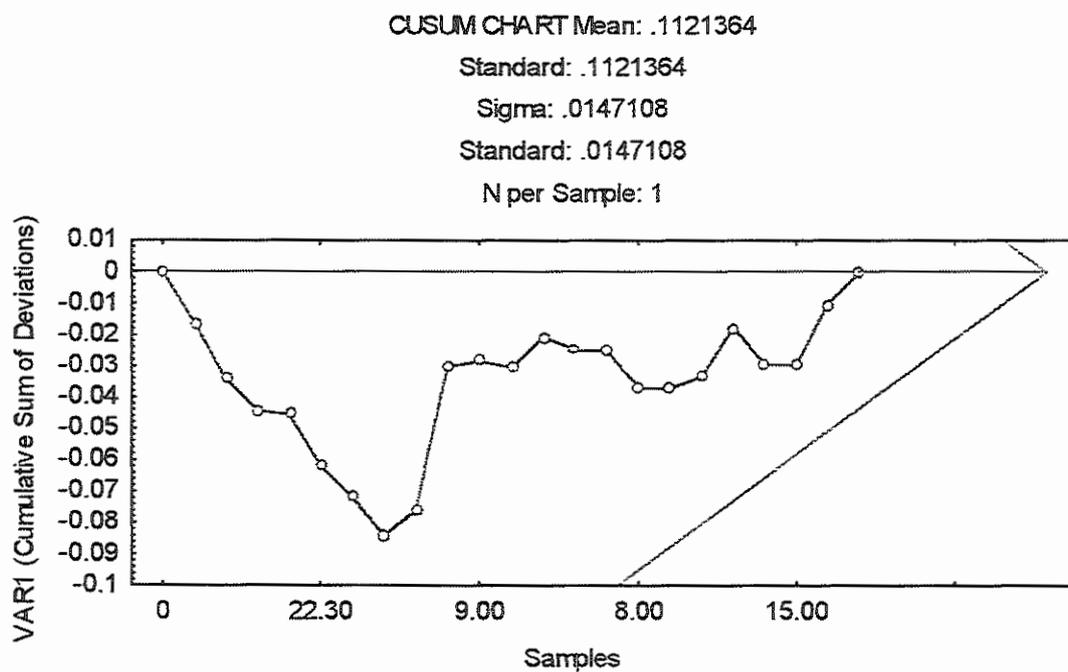


FIGURA 1.6 - Gráfico Cusum: Carda 03

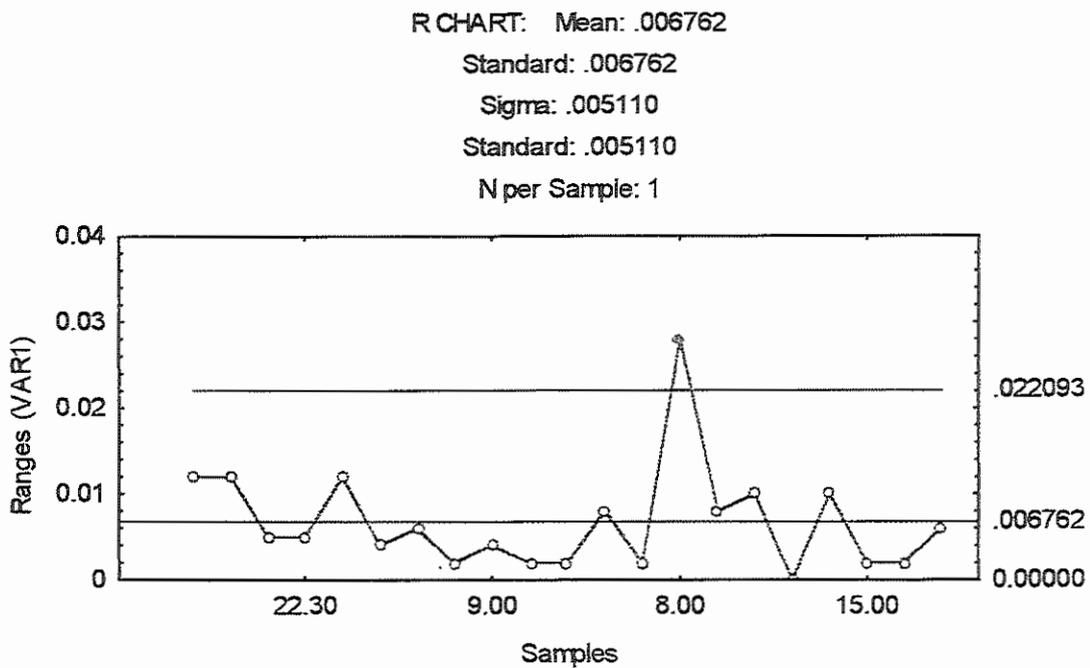


FIGURA 1.7 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 04

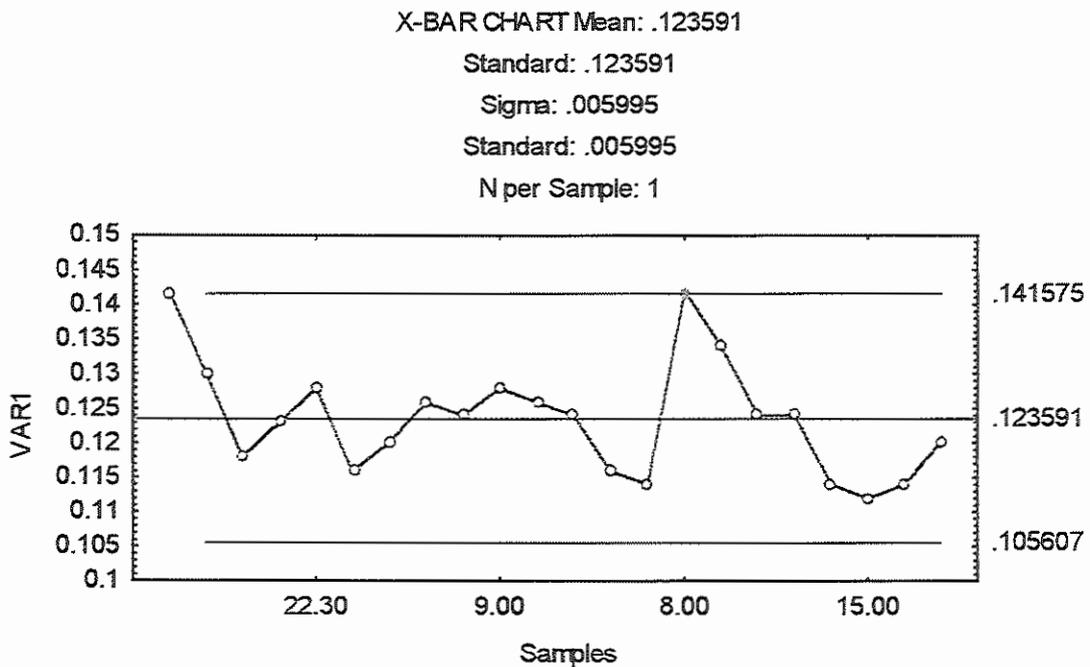


FIGURA 1.8 - Gráfico de \bar{x} : Carda 04

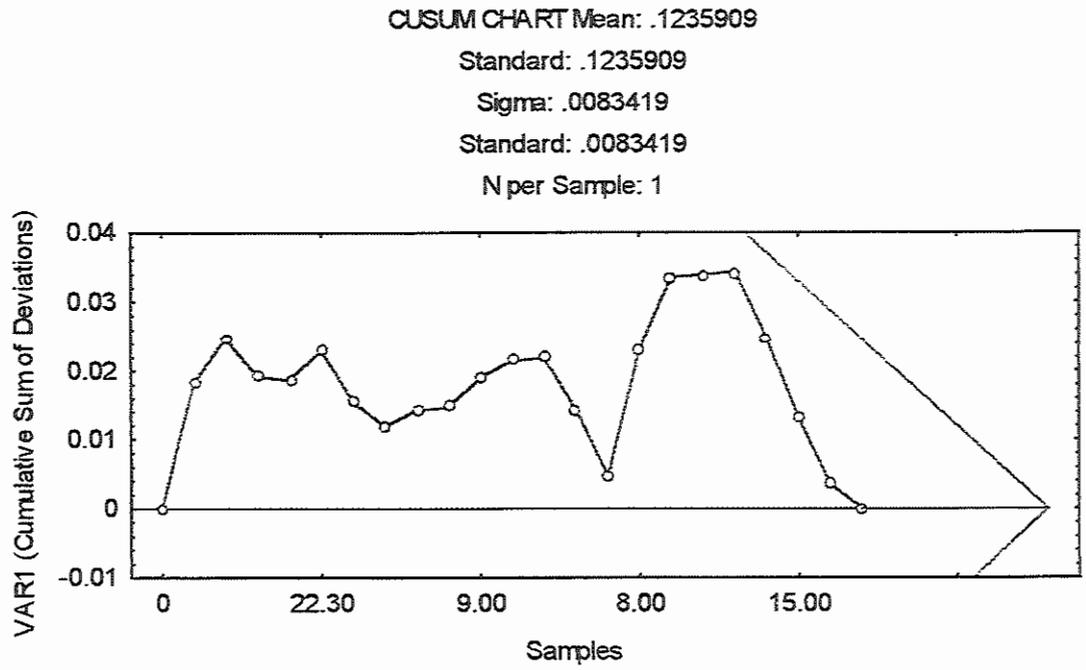


FIGURA 1.9 - Gráfico Cusum: Carda 04

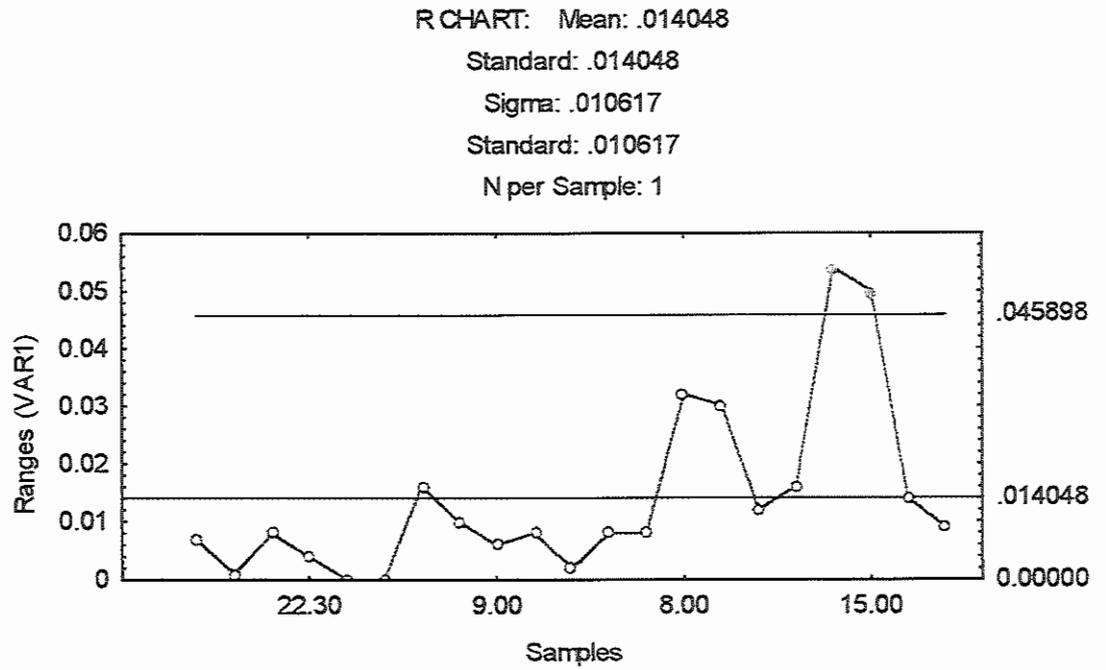


FIGURA 1.10 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 05

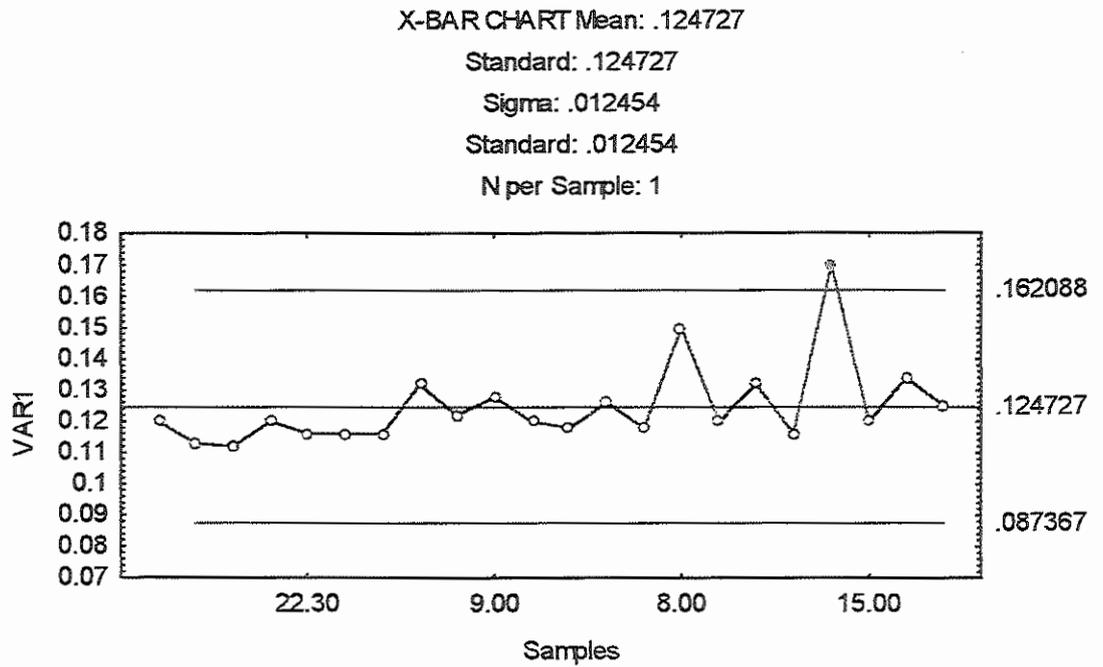


FIGURA 1.11 - Gráfico de \bar{x} : Carda 05

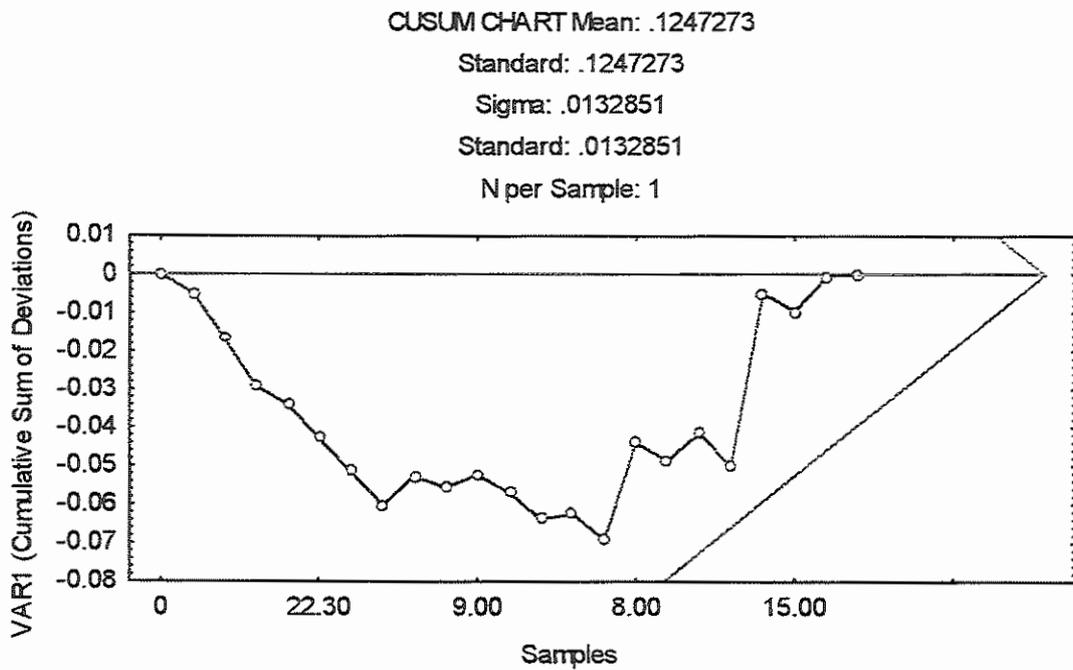


FIGURA 1.12 - Gráfico Cusum: Carda 05

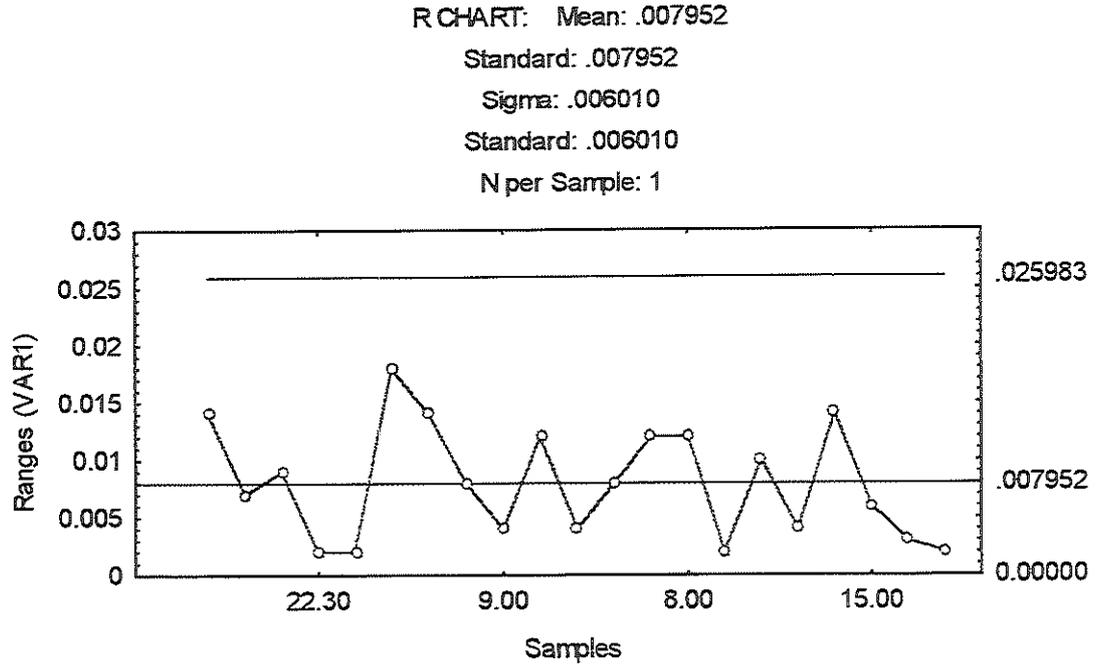


FIGURA 1.13 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carta 06

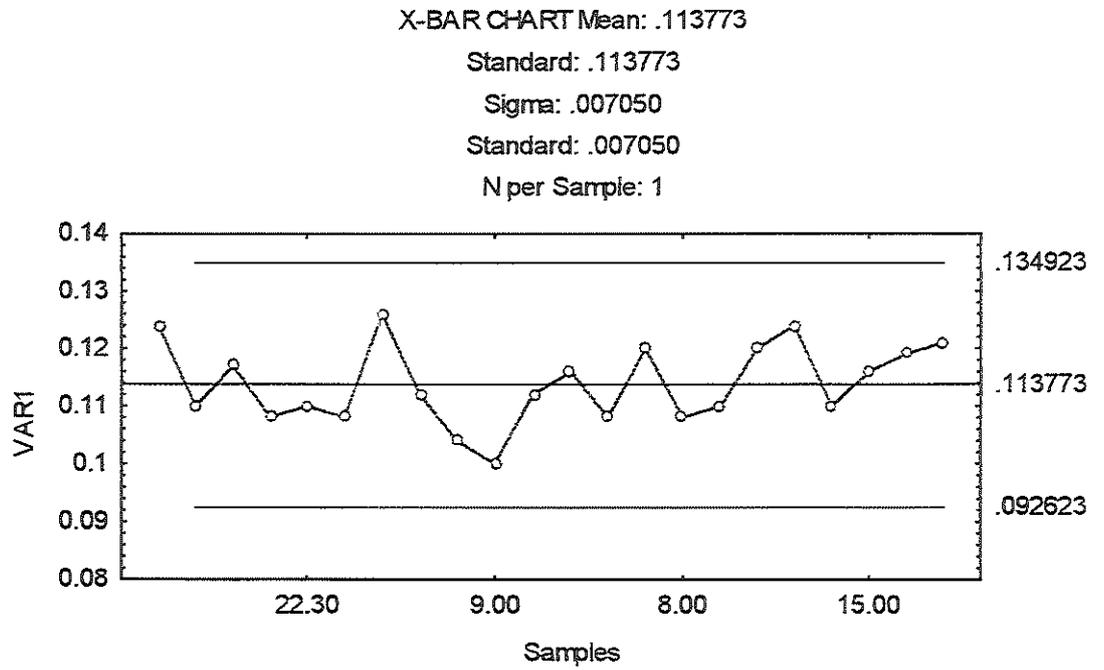


FIGURA 1.14 - Gráfico de \bar{x} : Carta 06

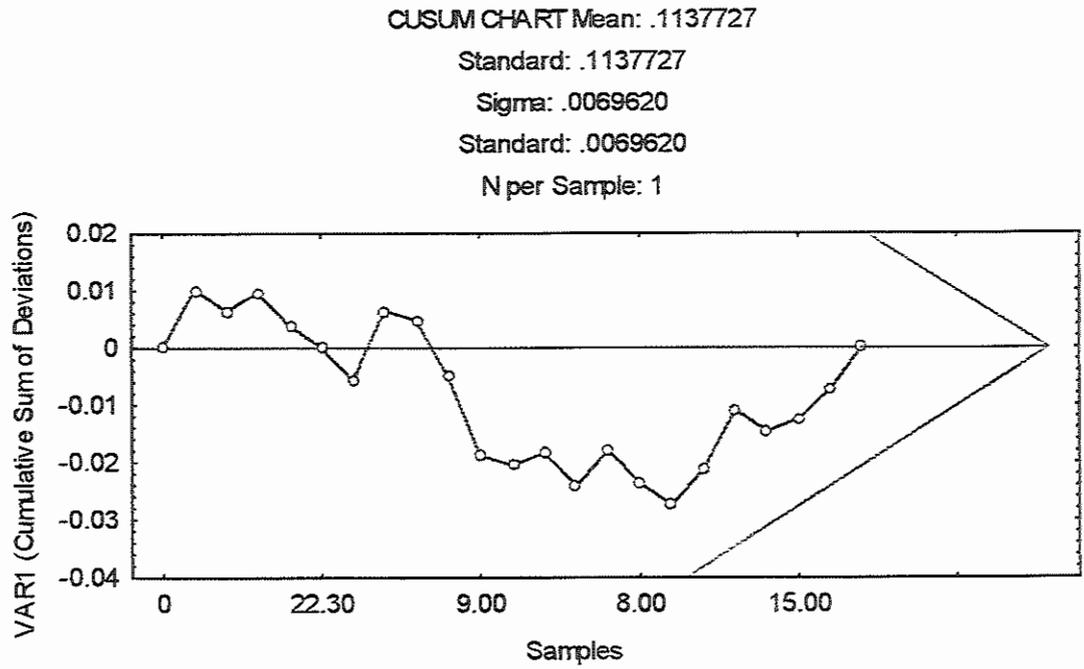


FIGURA 1.15 - Gráfico Cusum: Carda 06

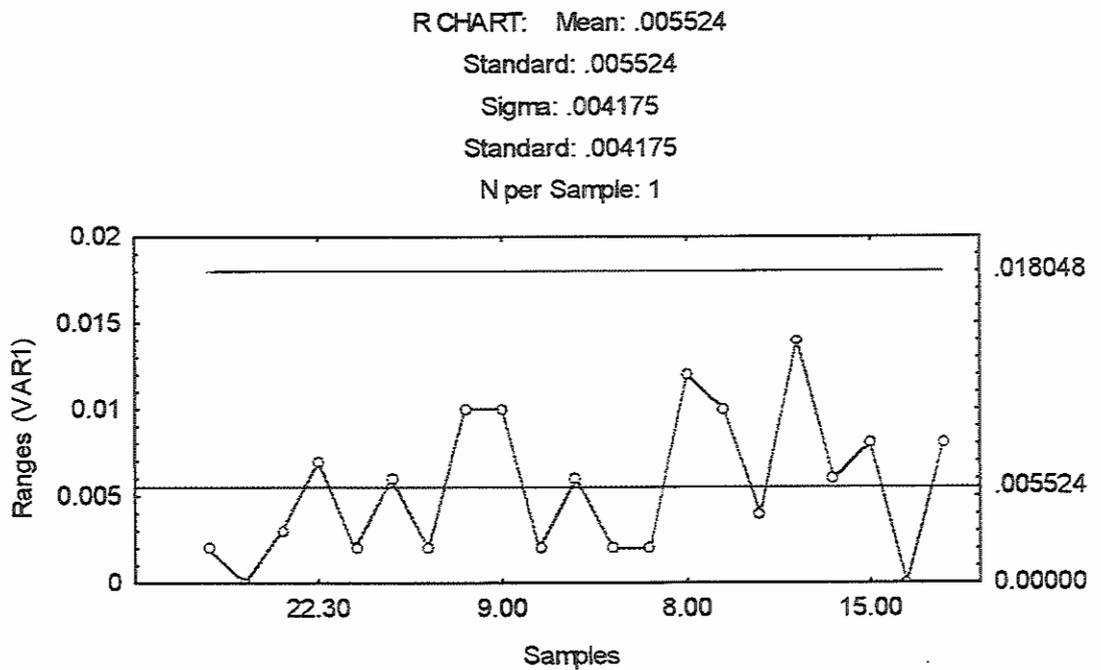


FIGURA 1.16 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 07

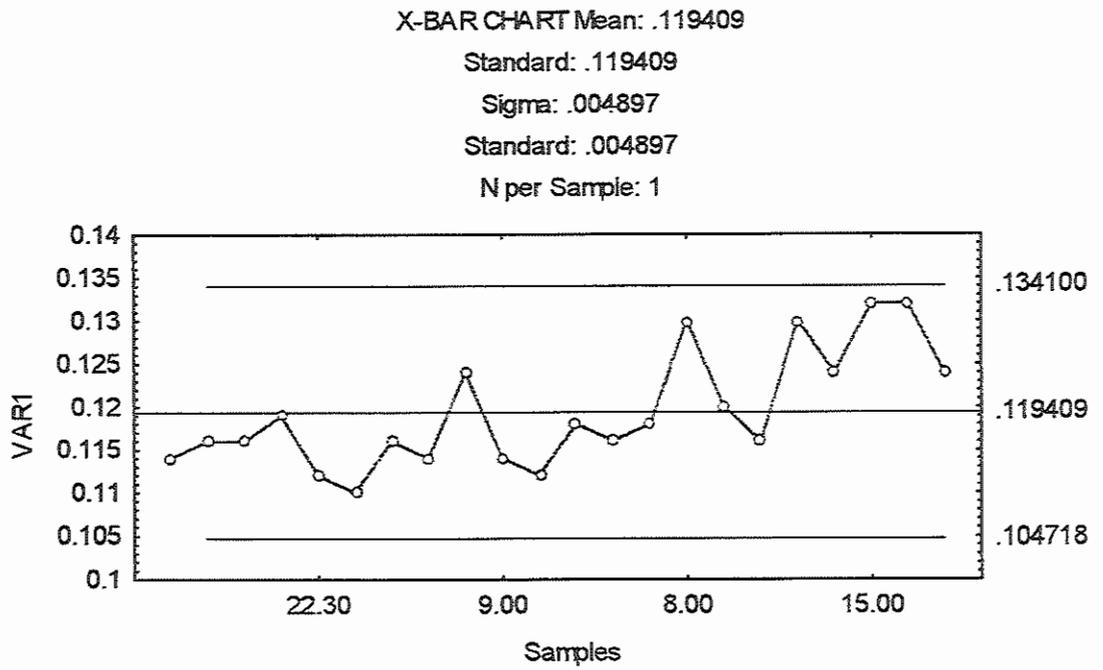


FIGURA 1.17 - Gráfico de x: Carda 07

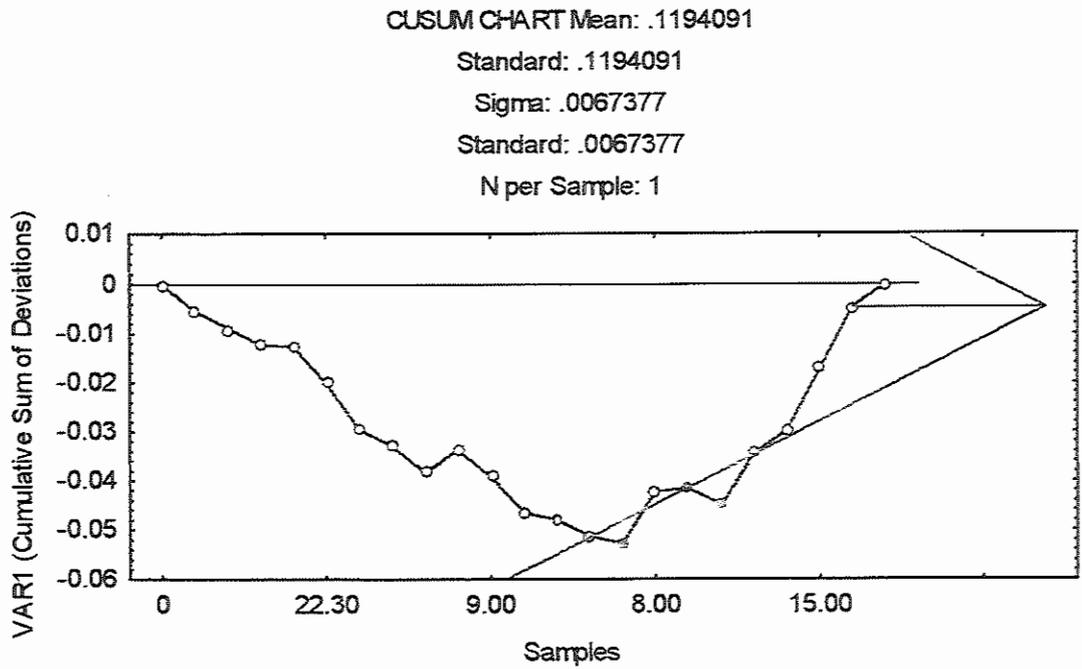


FIGURA 1.18 - Gráfico Cusum: Carda 07

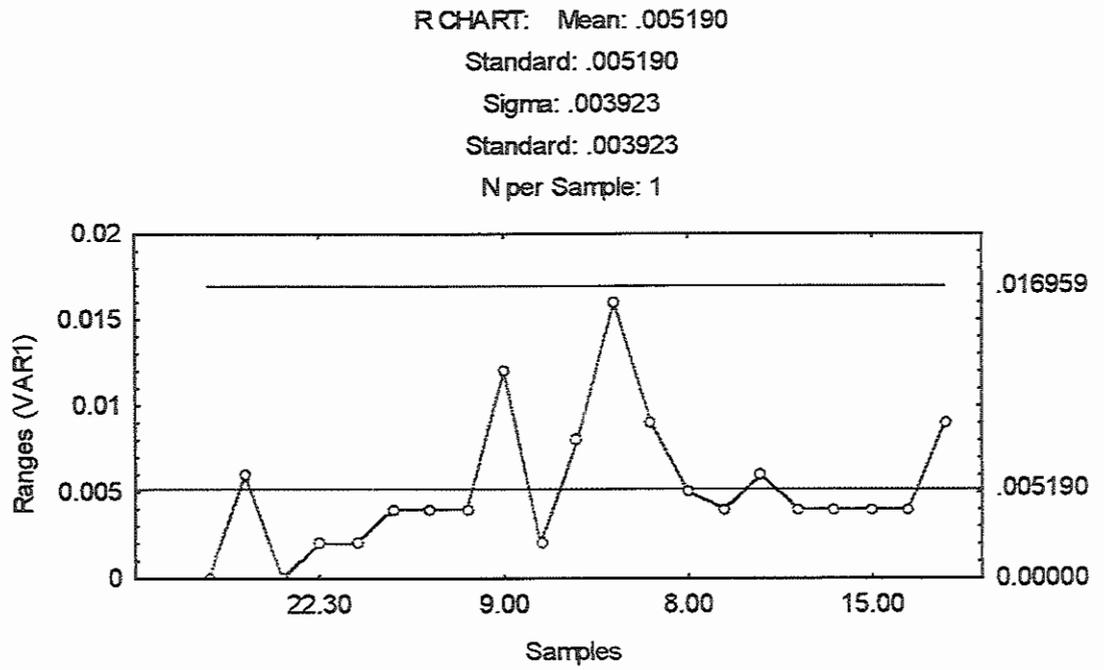


FIGURA 1.19 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 08

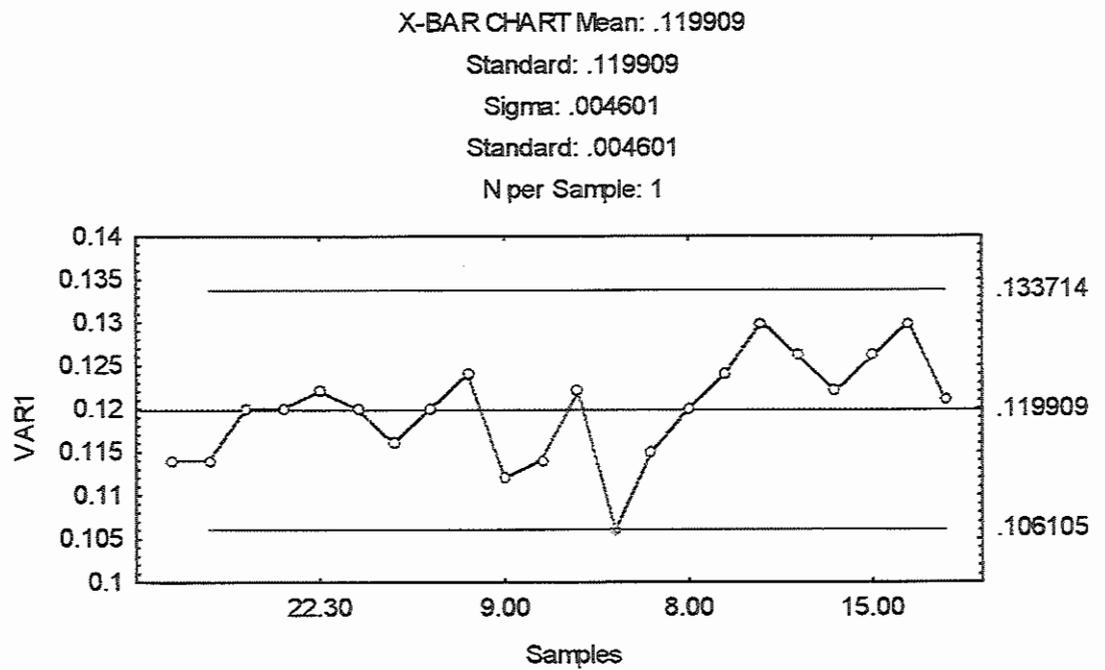


FIGURA 1.20 - Gráfico de \bar{x} : Carda 08

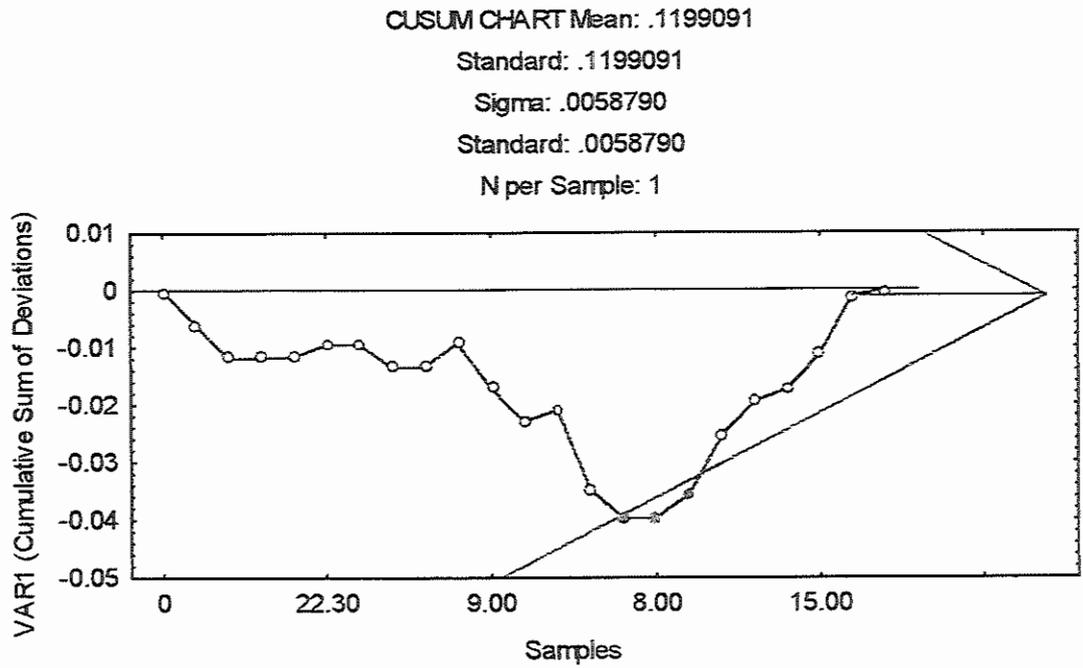


FIGURA 1.21 - Gráfico Cusum: Carda 08

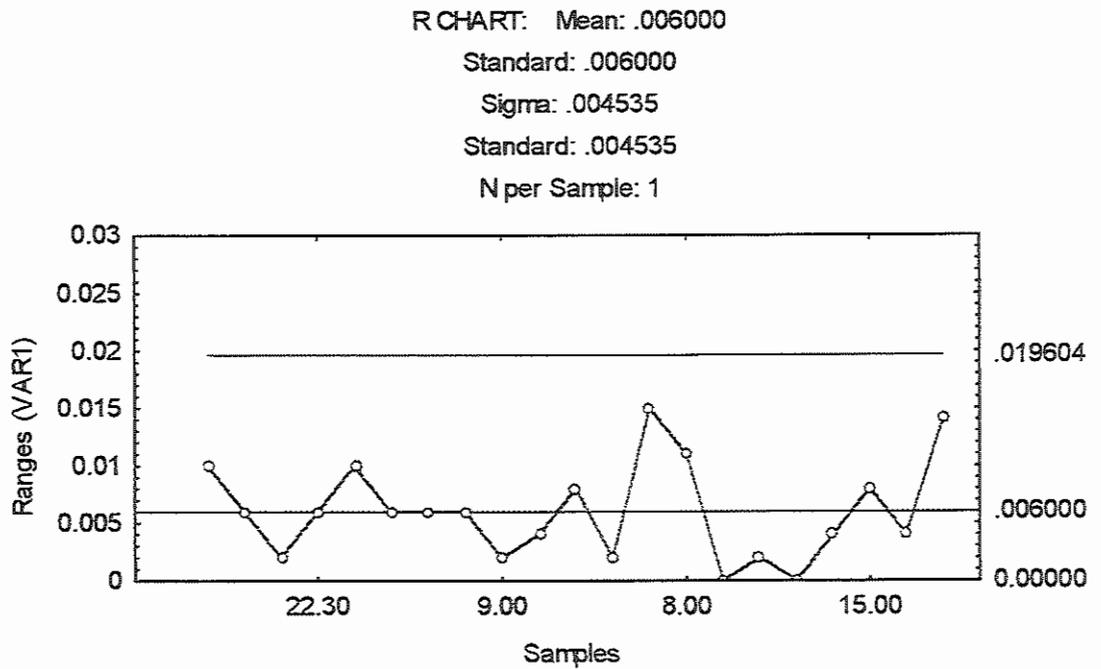


FIGURA 1.22 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 09

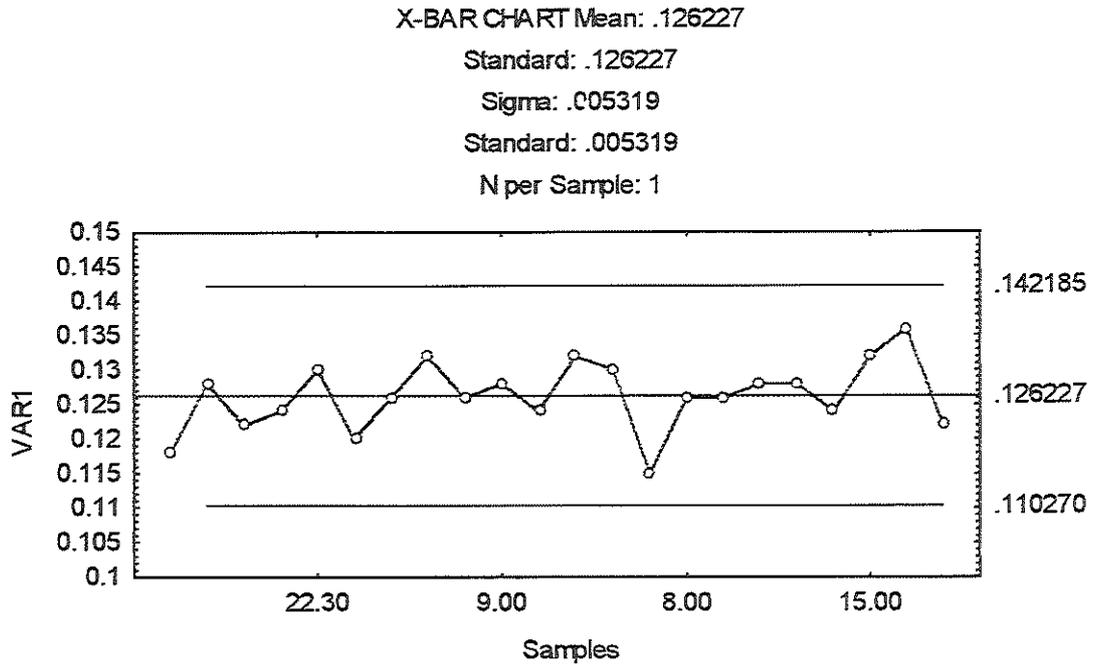


FIGURA 1.23 - Gráfico de x: Carda 09

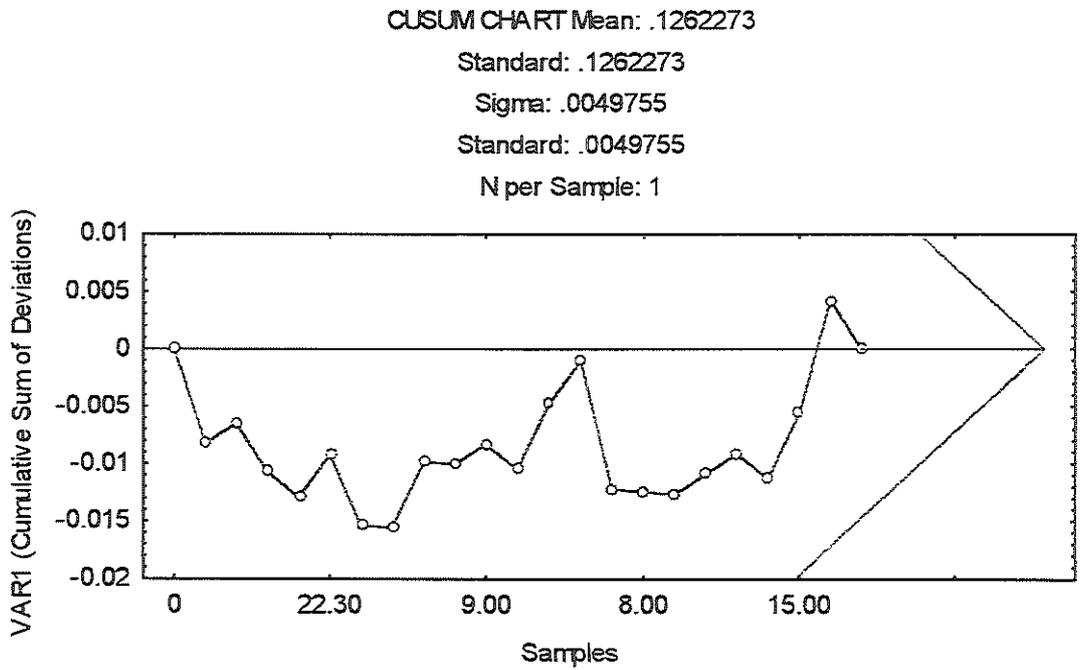


FIGURA 1.24 - Gráfico Cusum: Carda 09

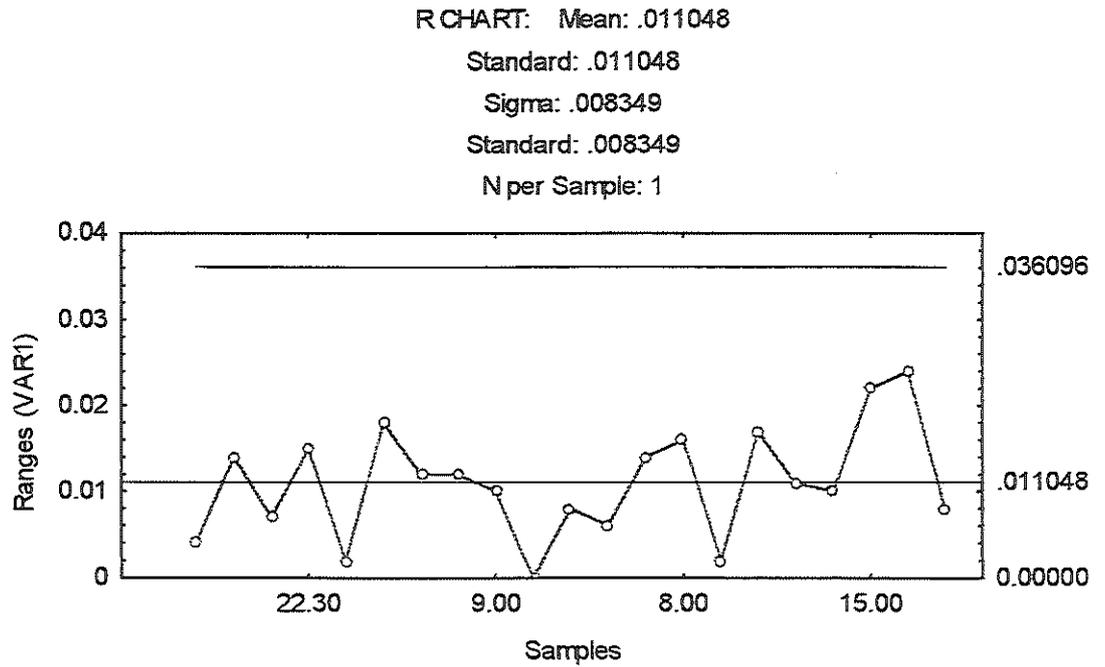


FIGURA 1.25 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 10

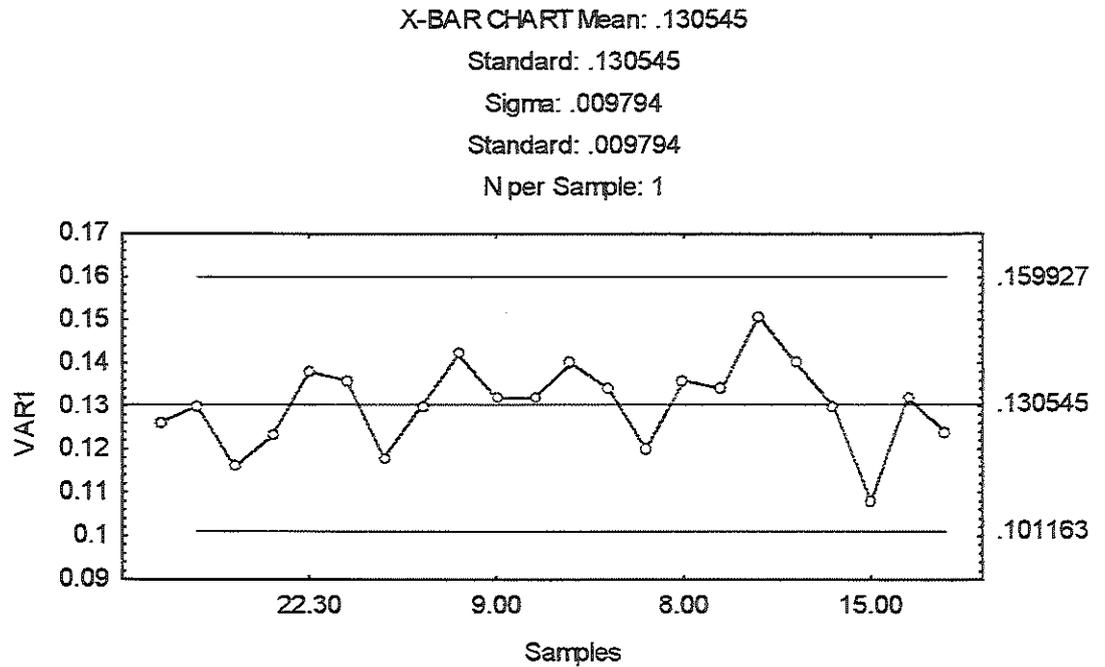


FIGURA 1.26 - Gráfico de \bar{x} : Carda 10

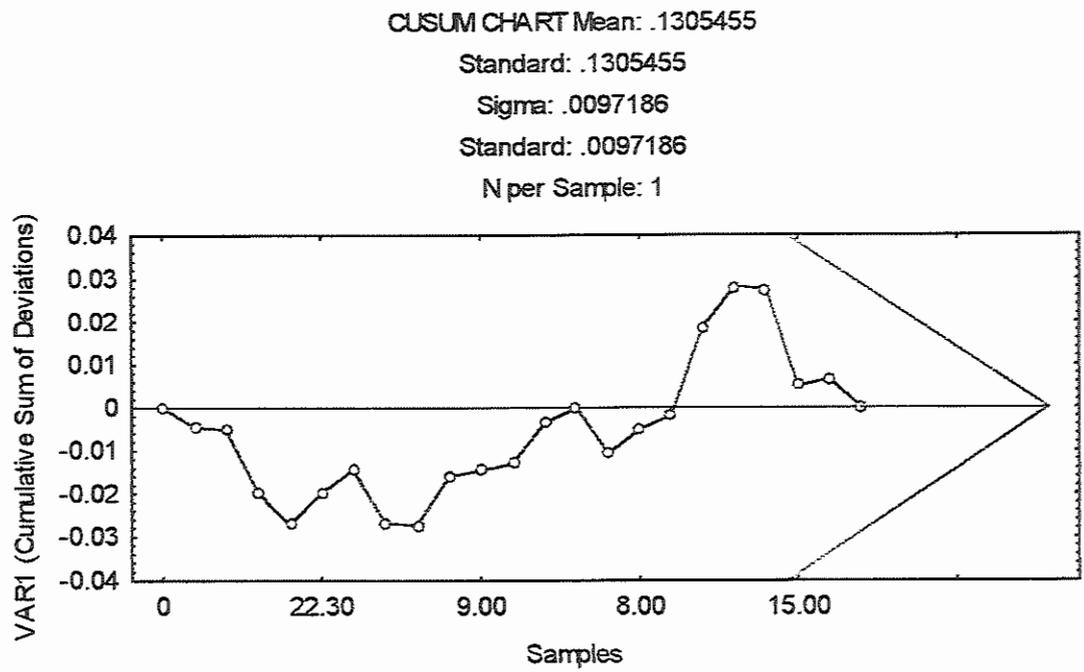


FIGURA 1.27 - Gráfico Cusum: Carda 10

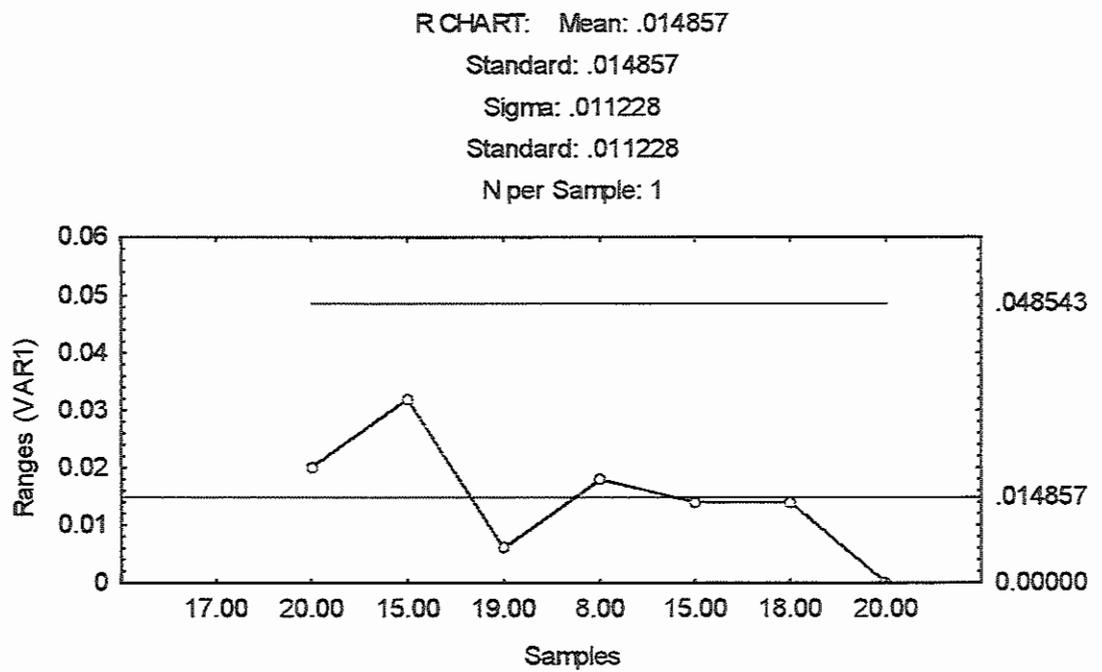


FIGURA 1.28 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 11

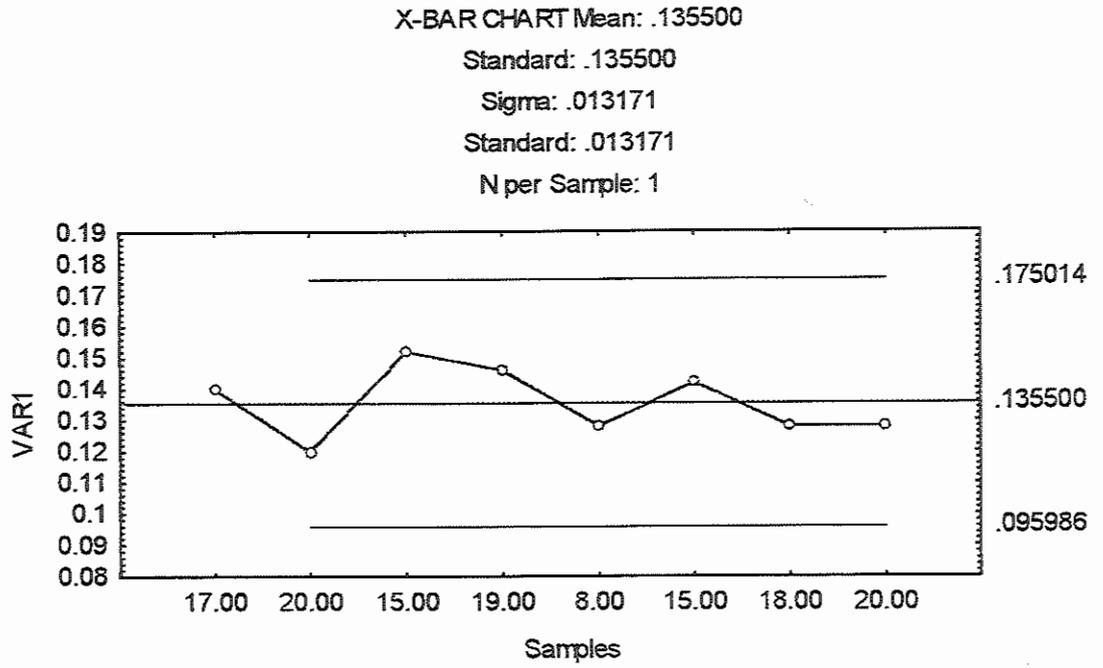


FIGURA 1.29 - Gráfico de x: Carda 11

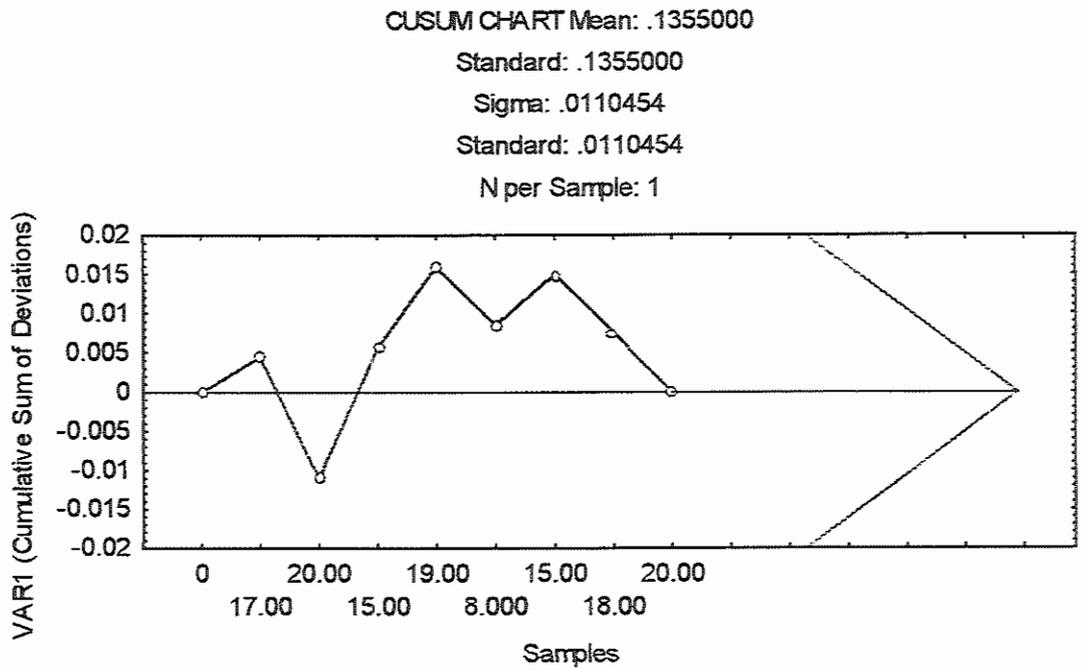
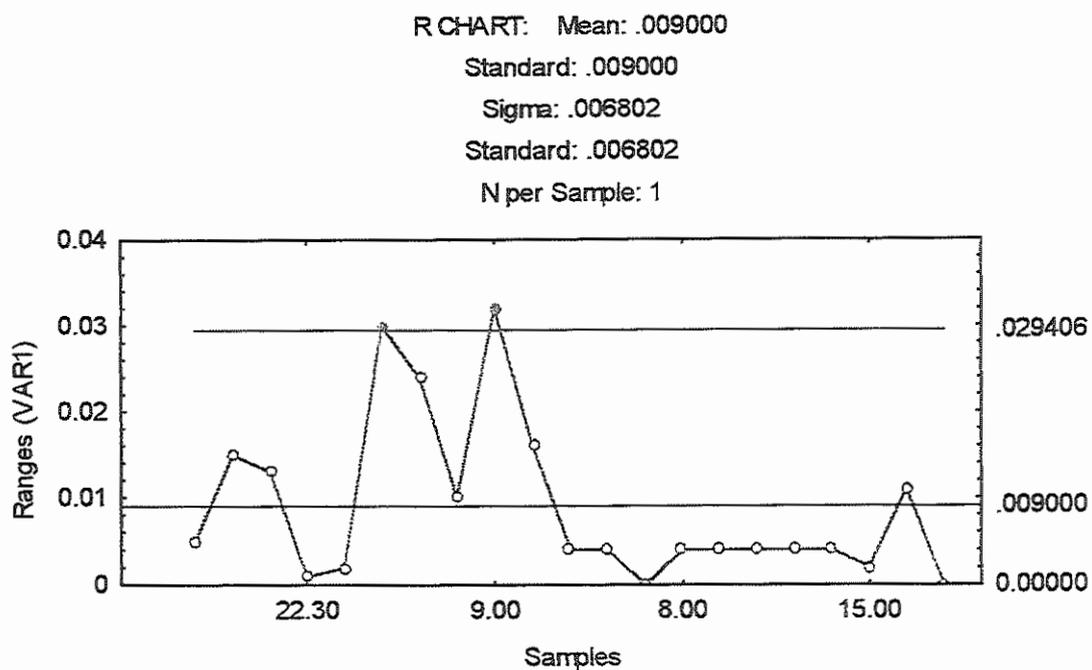
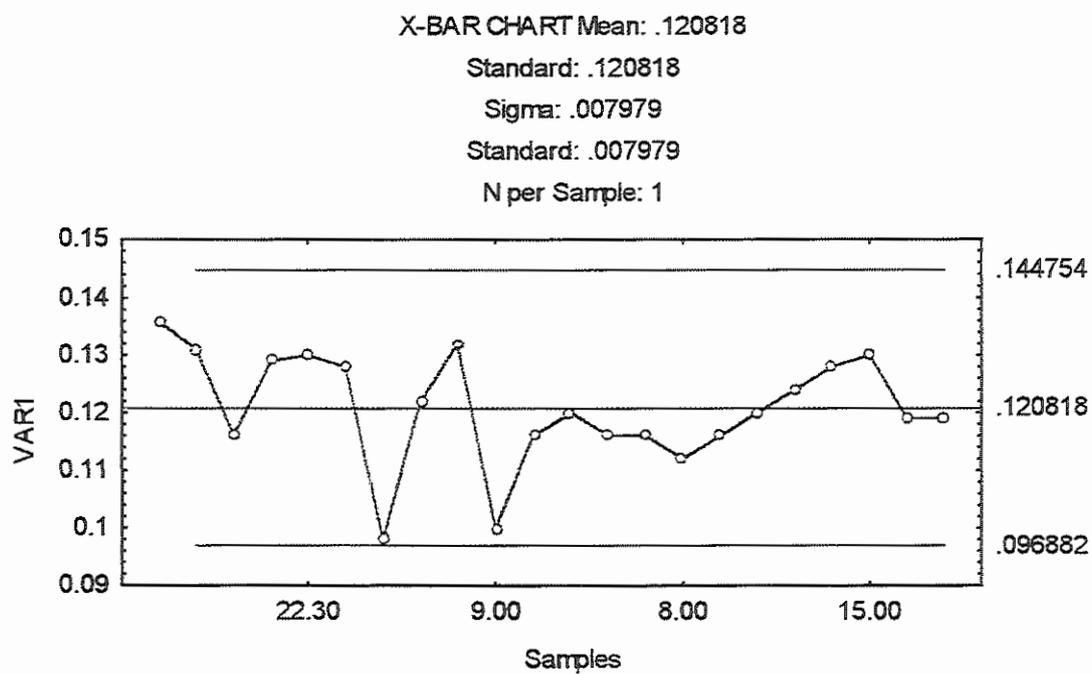


FIGURA 1.30 - Gráfico Cusum: Carda 11

FIGURA 1.31 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 12FIGURA 1.32 - Gráfico de \bar{x} : Carda 12

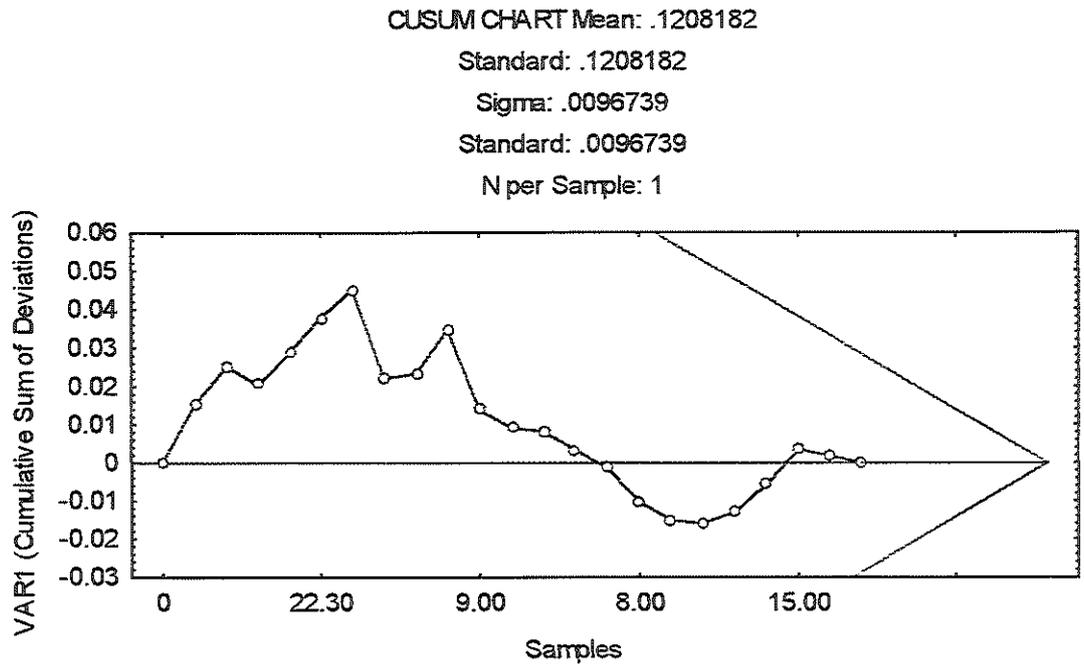


FIGURA 1.33 - Gráfico Cusum: Carda 12

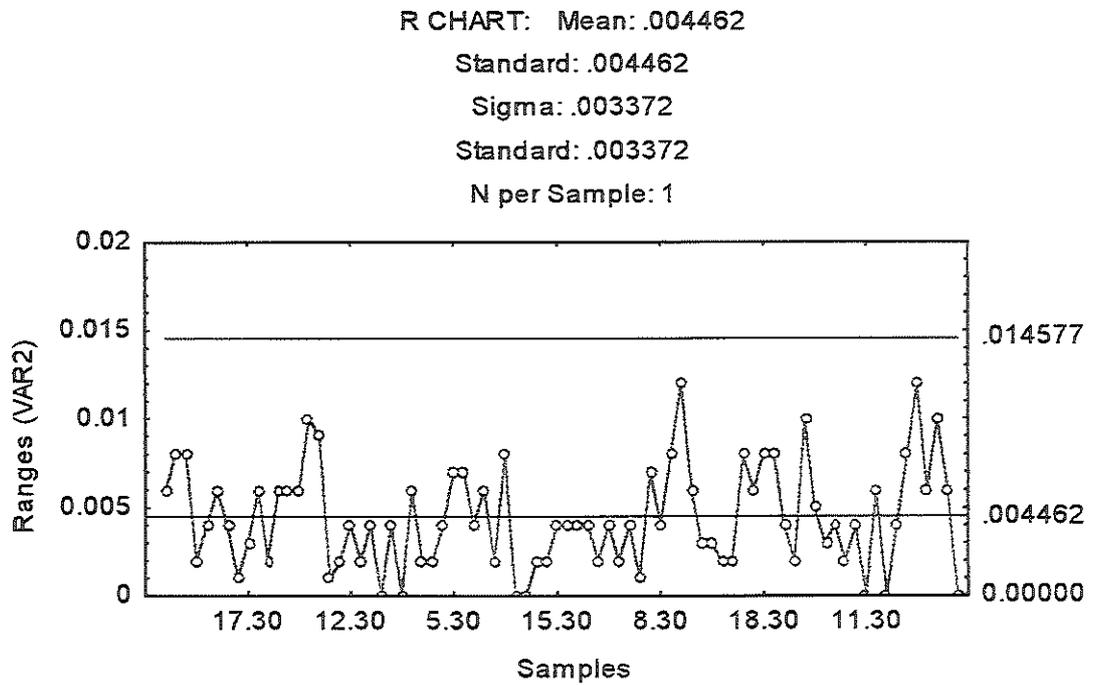


FIGURA 1.34 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Passadeira 01 - Cabeça 01

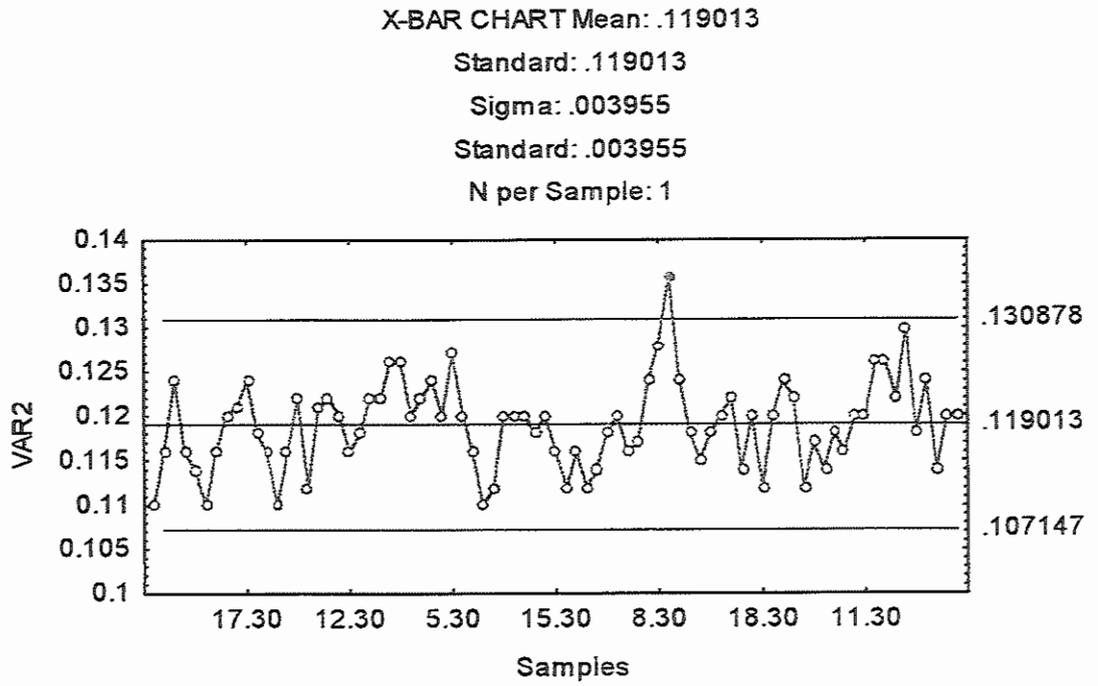


FIGURA 1.35 - Gráfico de x: Passadeira 01 - Cabeça 01

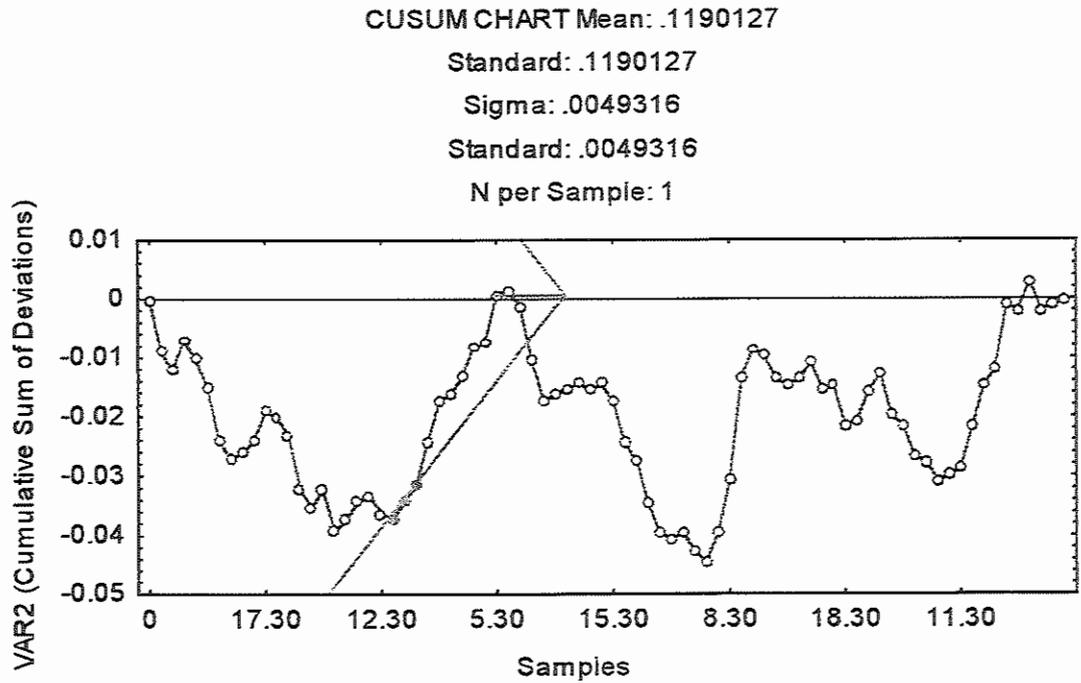


FIGURA 1.36 - Gráfico Cusum: Passadeira 01 - Cabeça 01

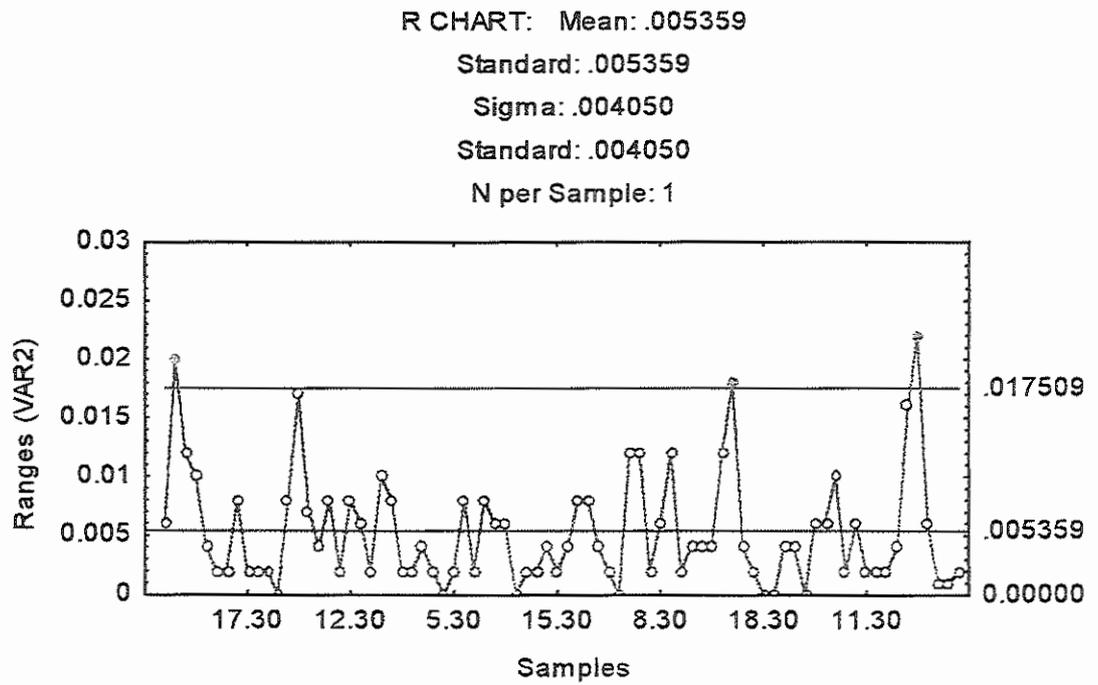


FIGURA 1.37 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Passadeira 01 - Cabeça 02

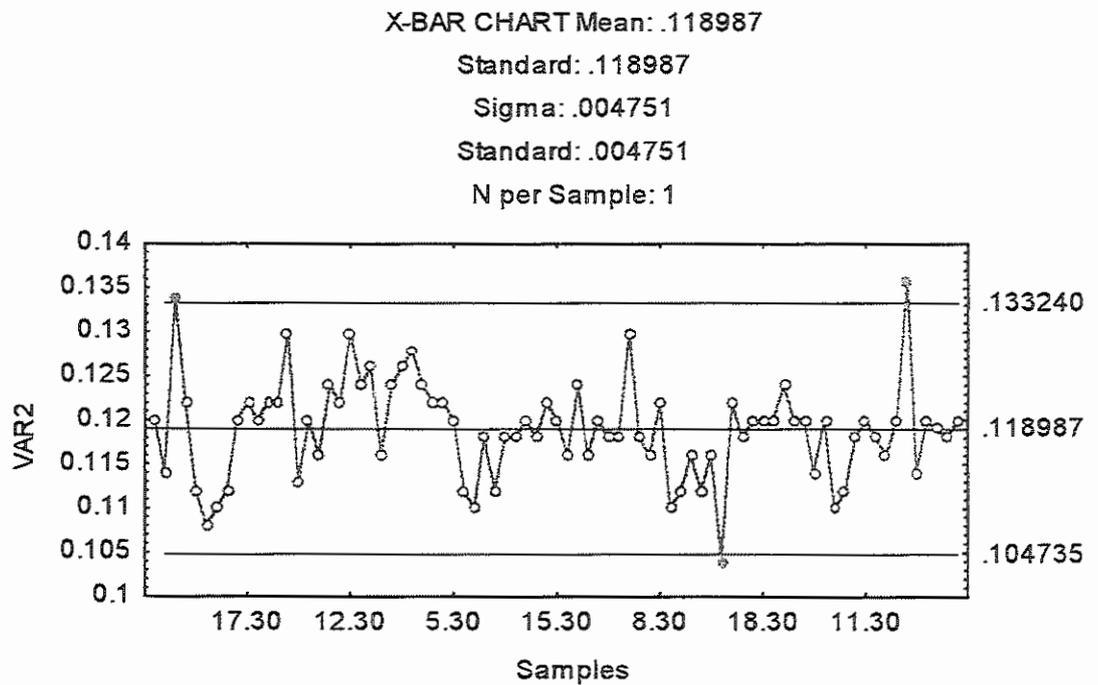


FIGURA 1.38 - Gráfico de \bar{x} : Passadeira 01 - Cabeça 02

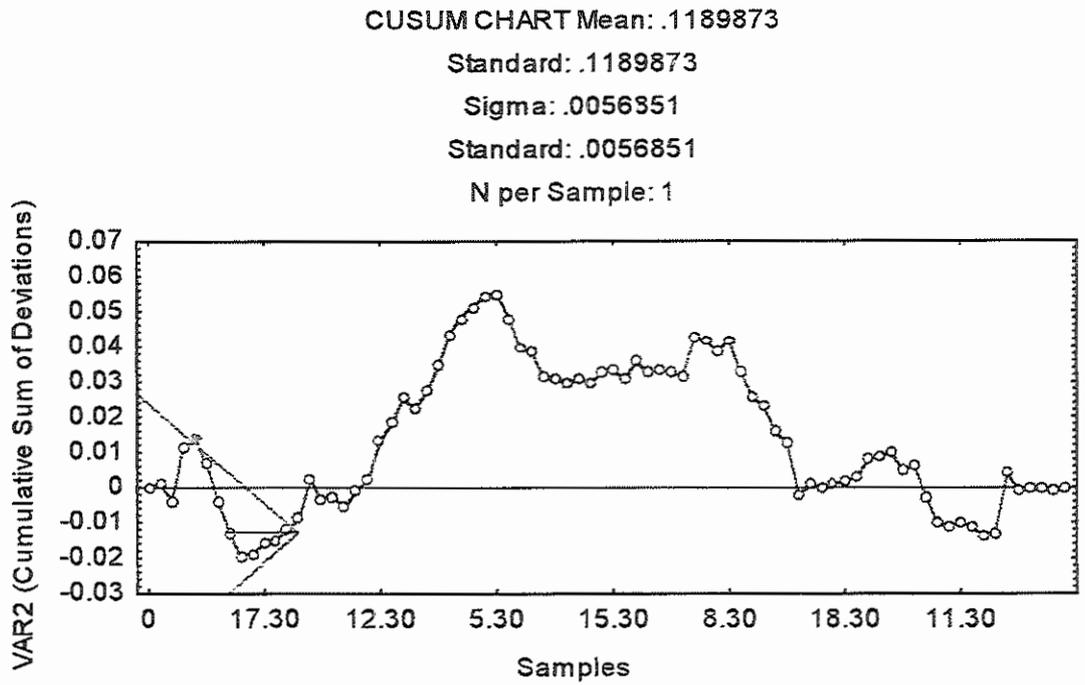


FIGURA 1.39 - Gráfico Cusum: Passadeira 01 - Cabeça 02

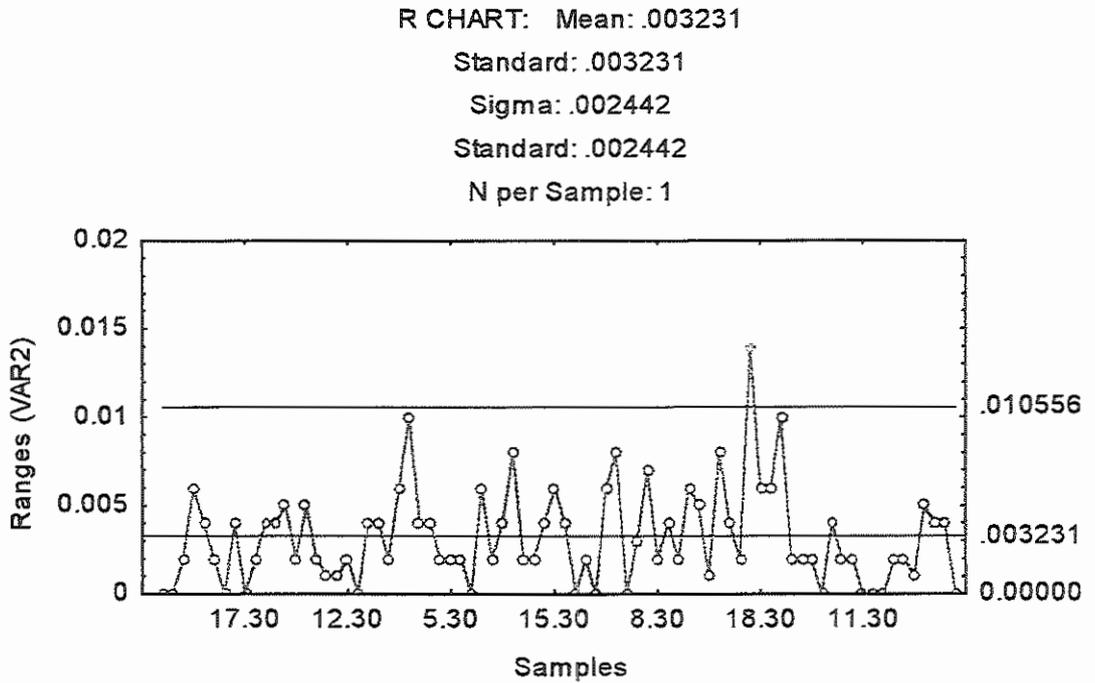


FIGURA 1.40 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Passadeira 02 - Cabeça 01

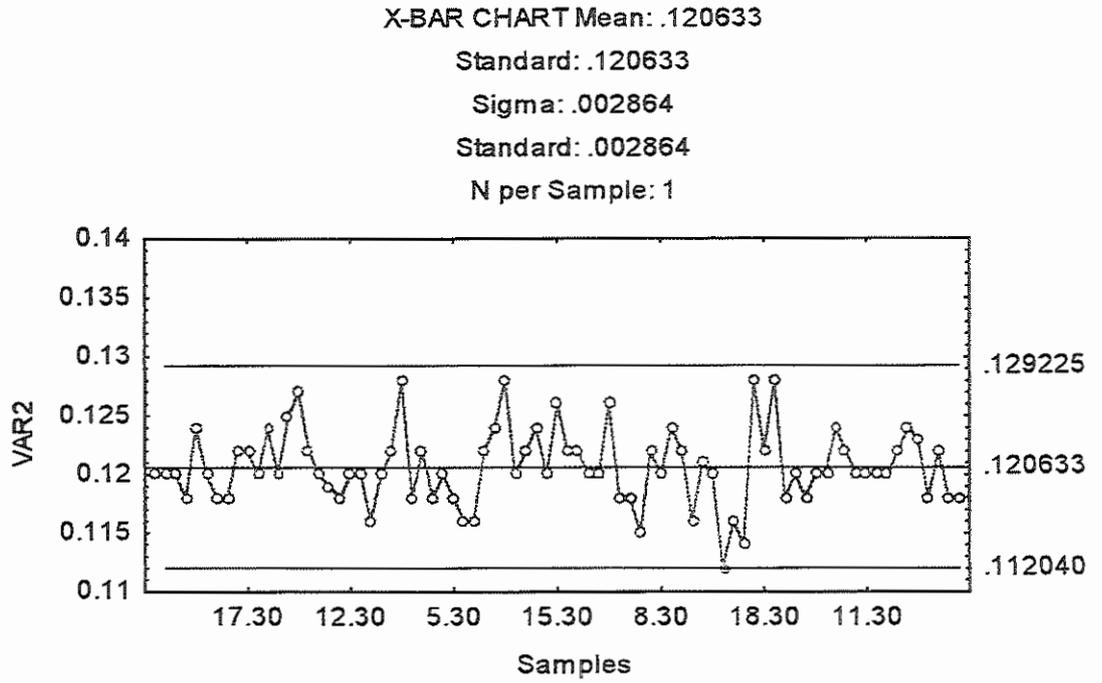


FIGURA 1.41 - Gráfico de x: Passadeira 02 - Cabeça 01

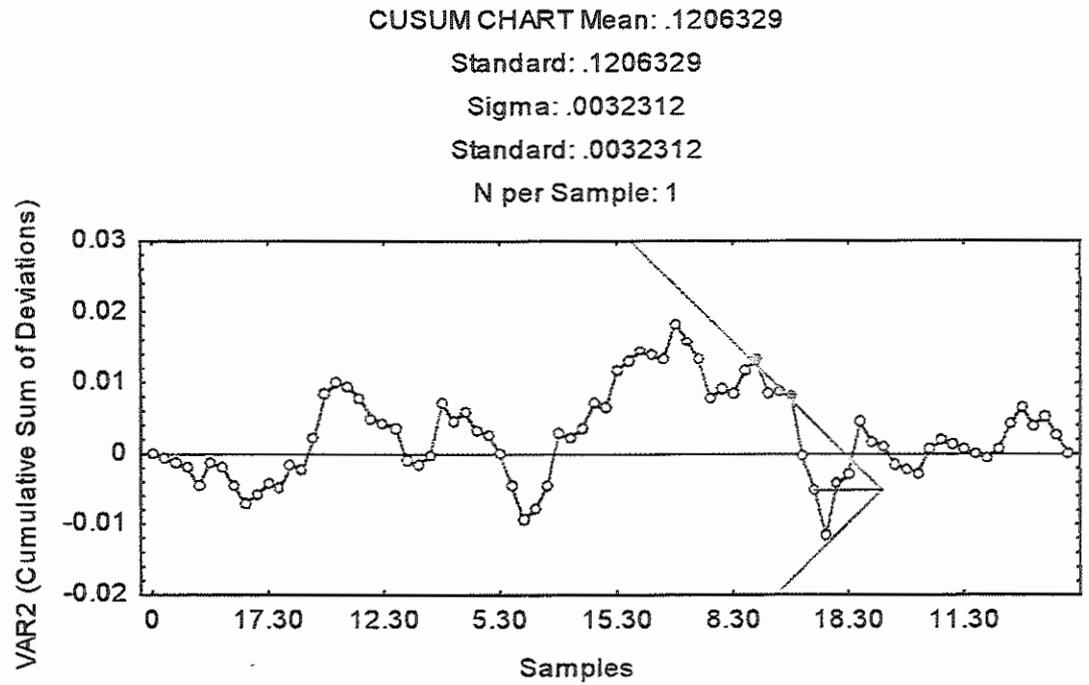


FIGURA 1.42 - Gráfico de Cusum: Passadeira 02 - Cabeça 01

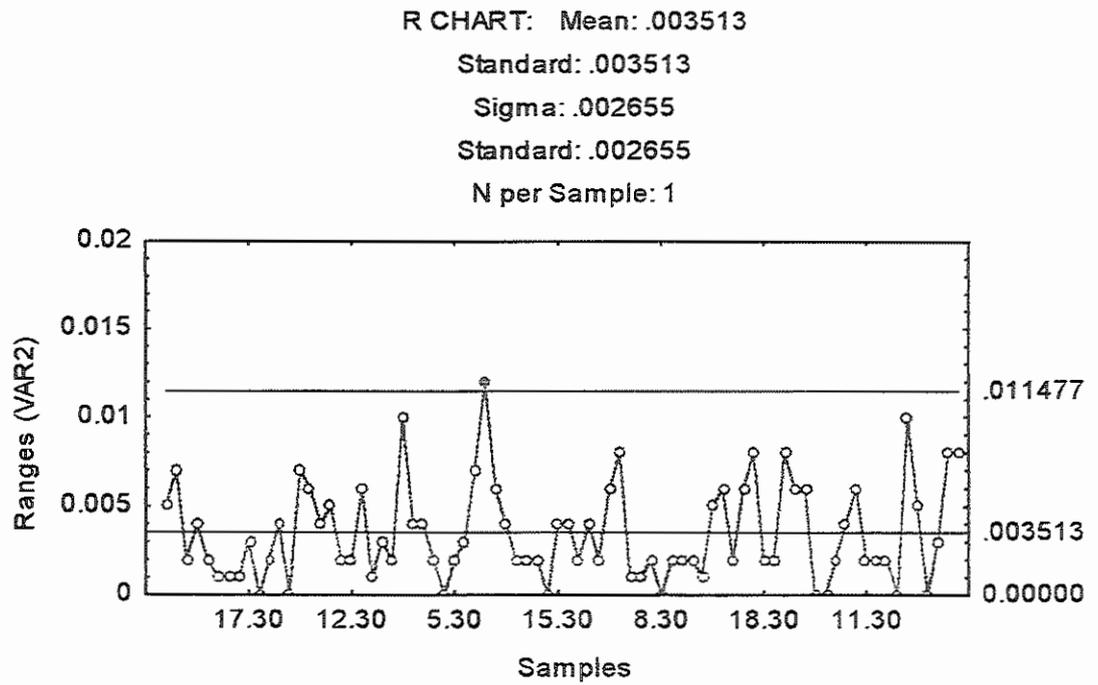


FIGURA 1.43 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Passadeira 02 - Cabeça 02

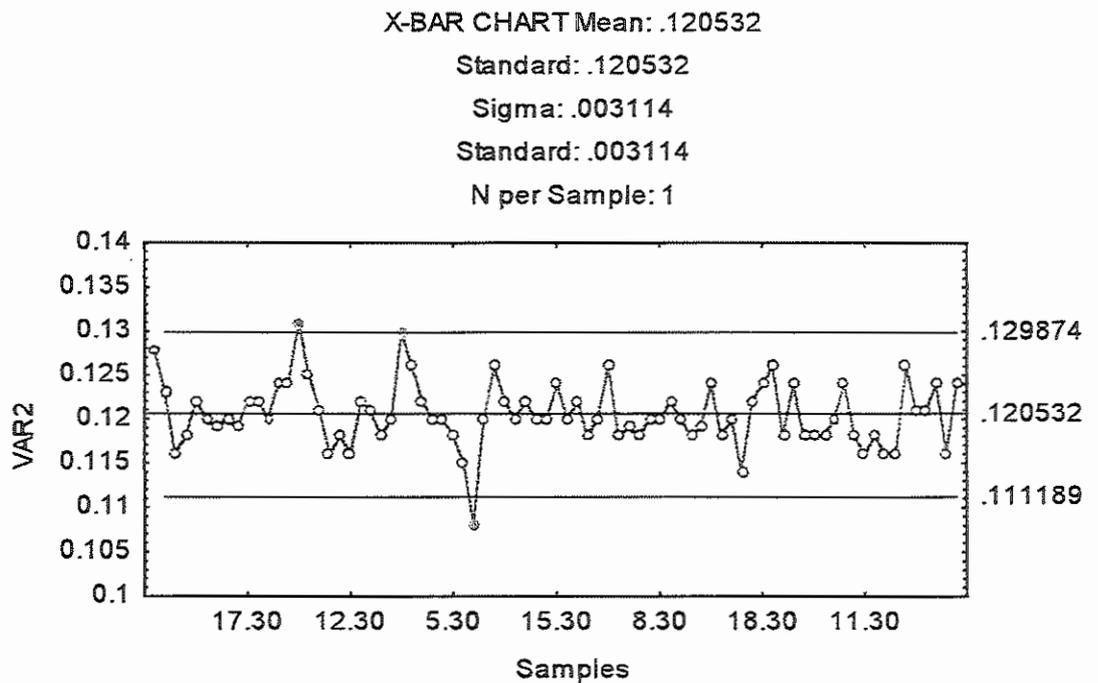


FIGURA 1.44 - Gráfico de \bar{x} : Passadeira 02 - Cabeça 02

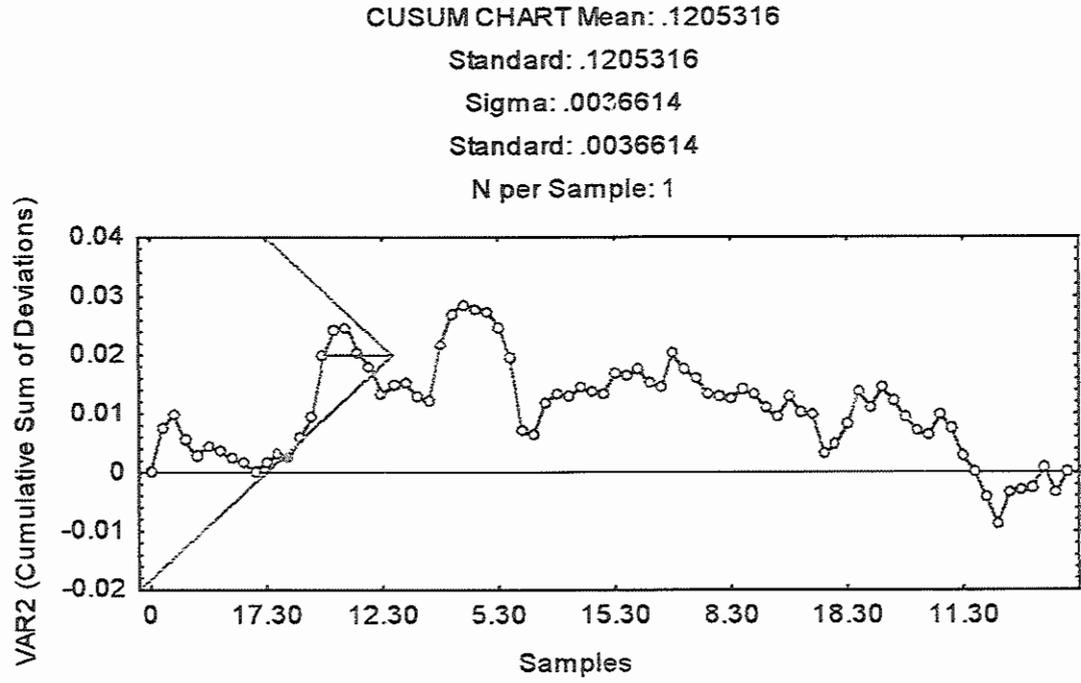


FIGURA 1.45 - Gráfico Cusum: Passadeira 02 - Cabeça 02

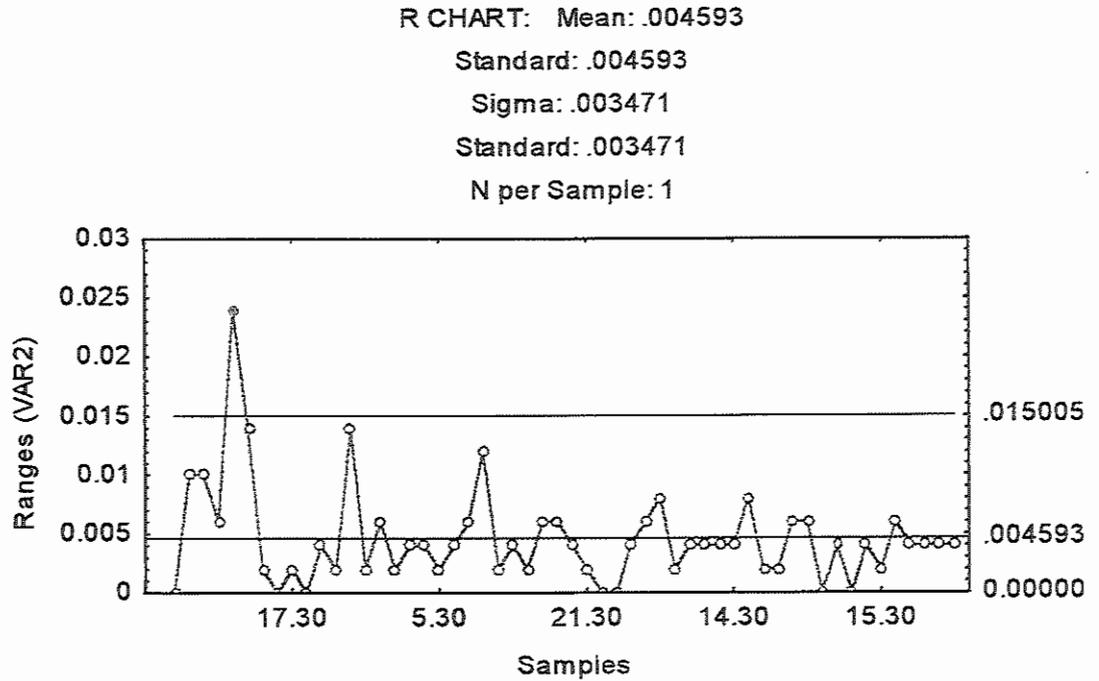


FIGURA 1.46 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Passadeira 03 - Cabeça 01

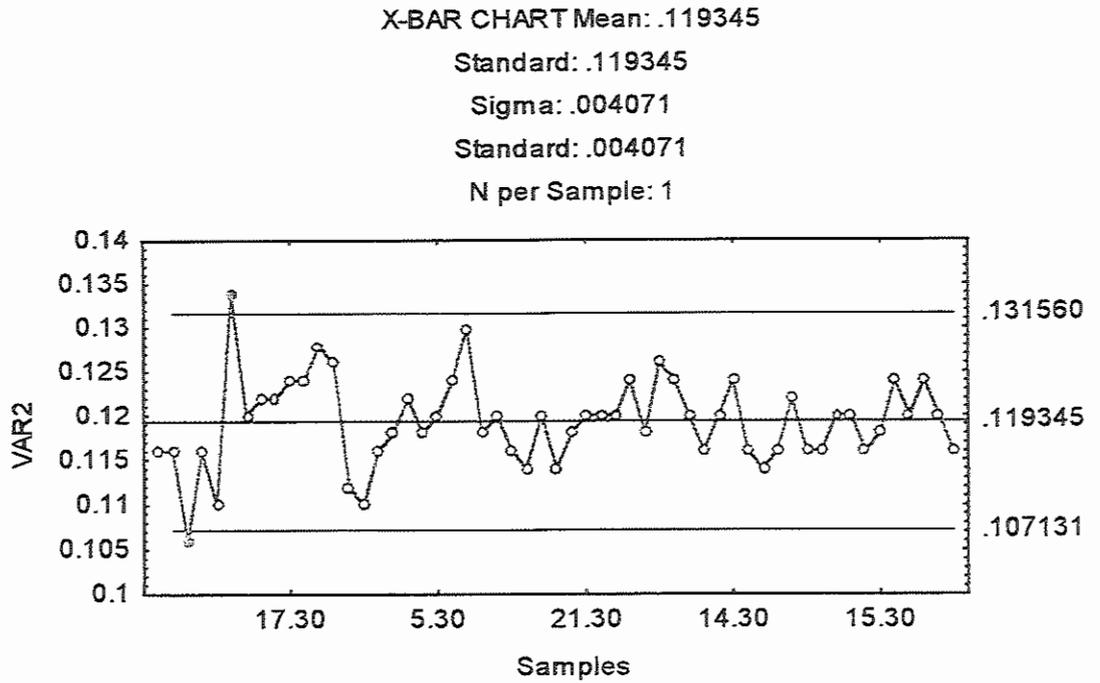


FIGURA 1.47 - Gráfico de x: Passadeira 03 - Cabeça 01

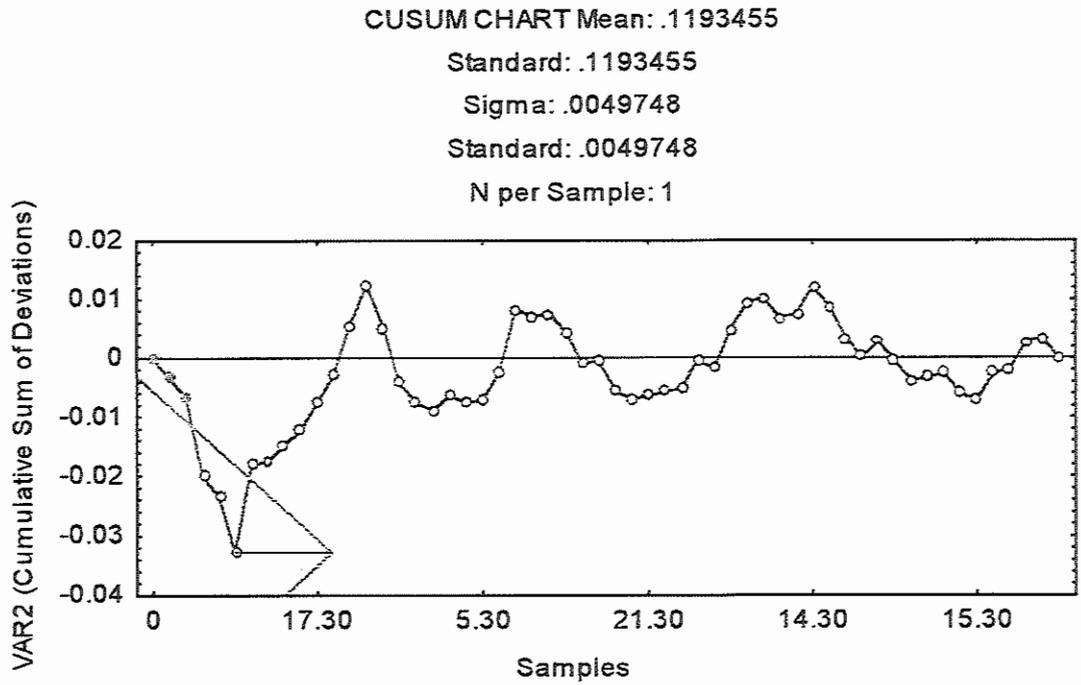


FIGURA 1.48 - Gráfico Cusum: Passadeira 03 - Cabeça 01

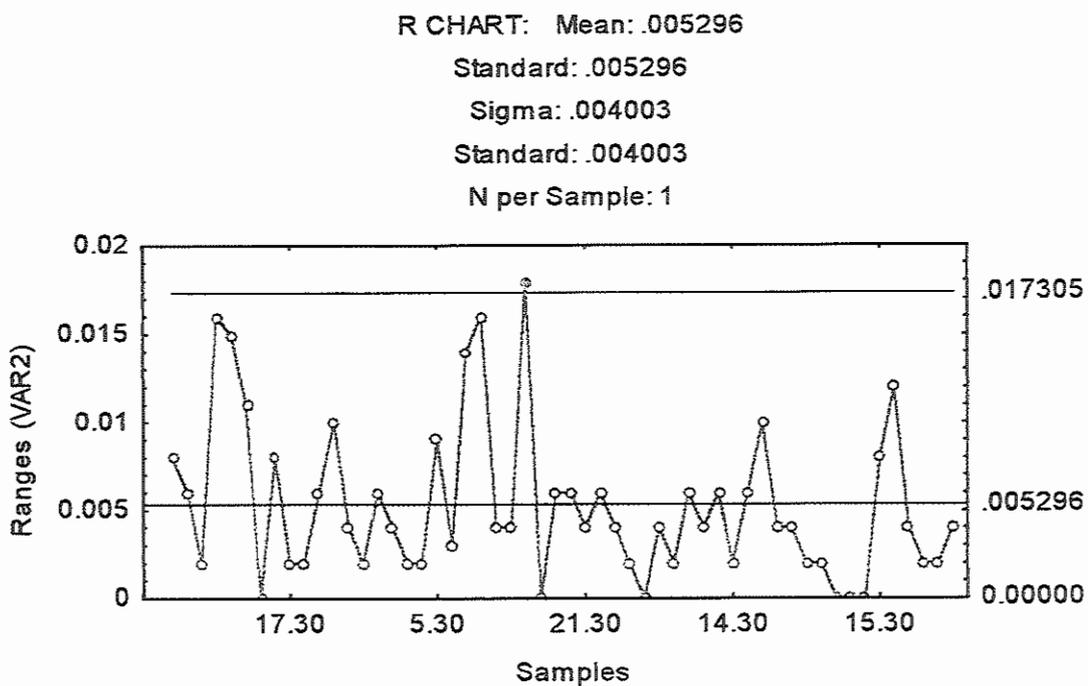


FIGURA 1.49 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Passadeira 03 - Cabeça 02

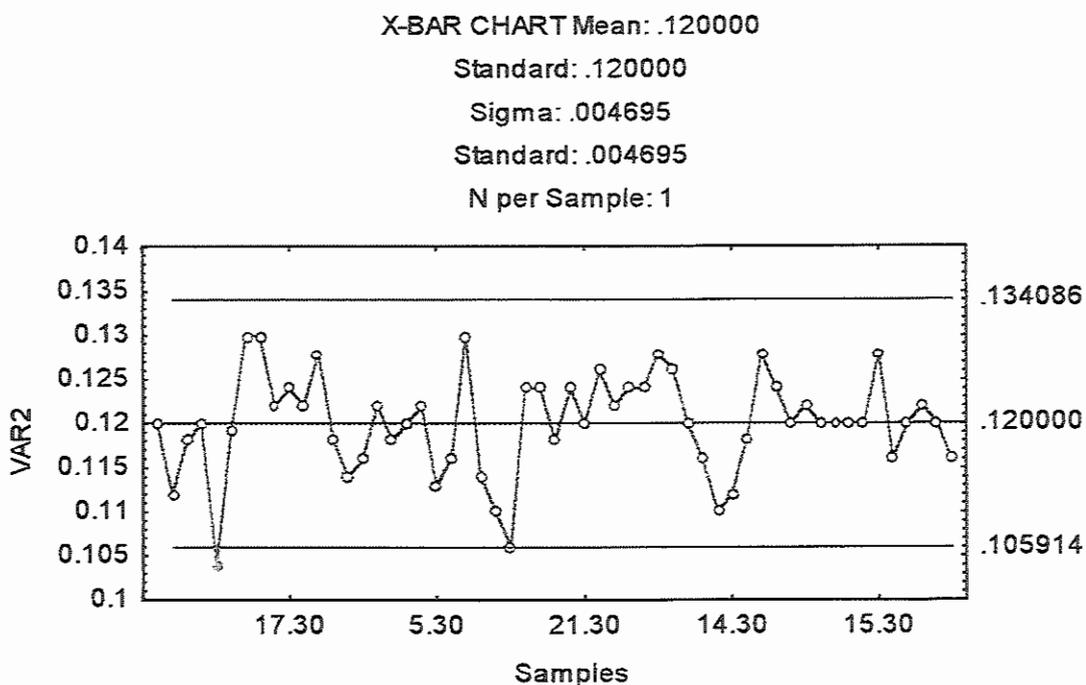


FIGURA 1.50 - Gráfico de \bar{x} : Passadeira 03 - Cabeça 02

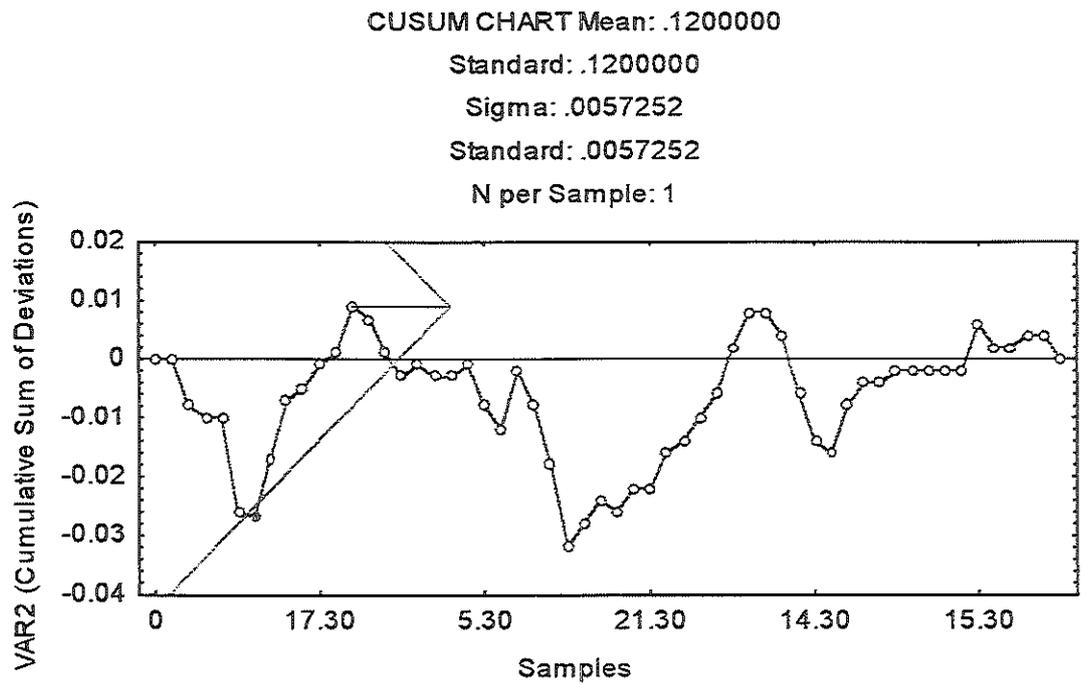


FIGURA 1.51 - Gráfico Cusum: Passadeira 03 - Cabeça 02

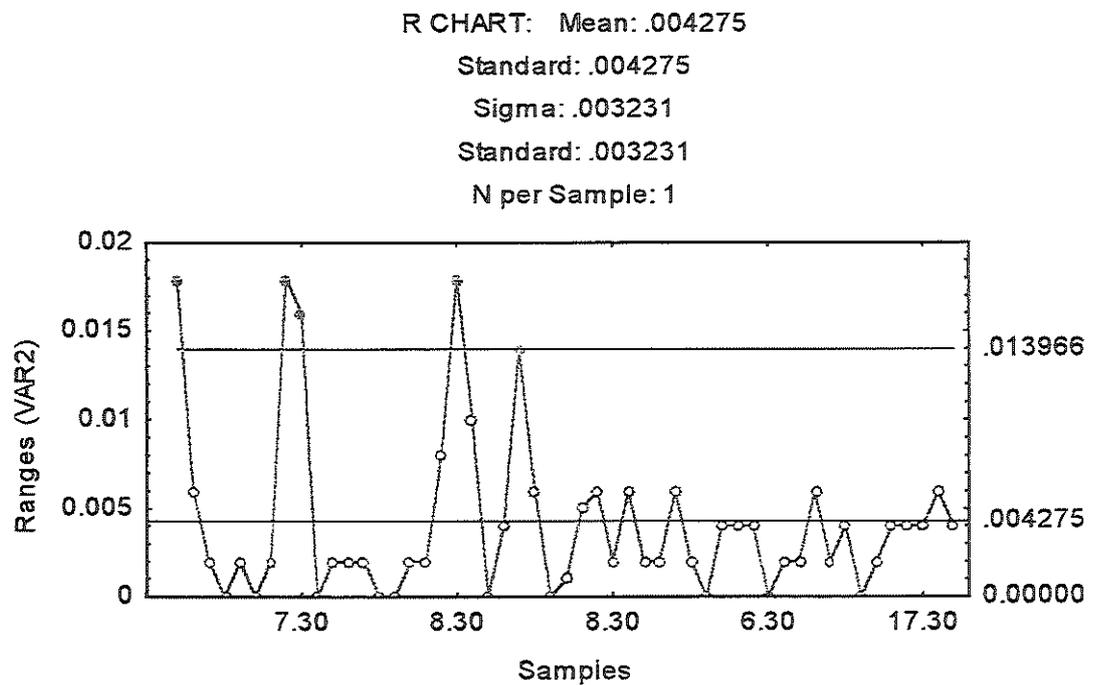


FIGURA 1.52 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Passadeira 04 - Cabeça 01

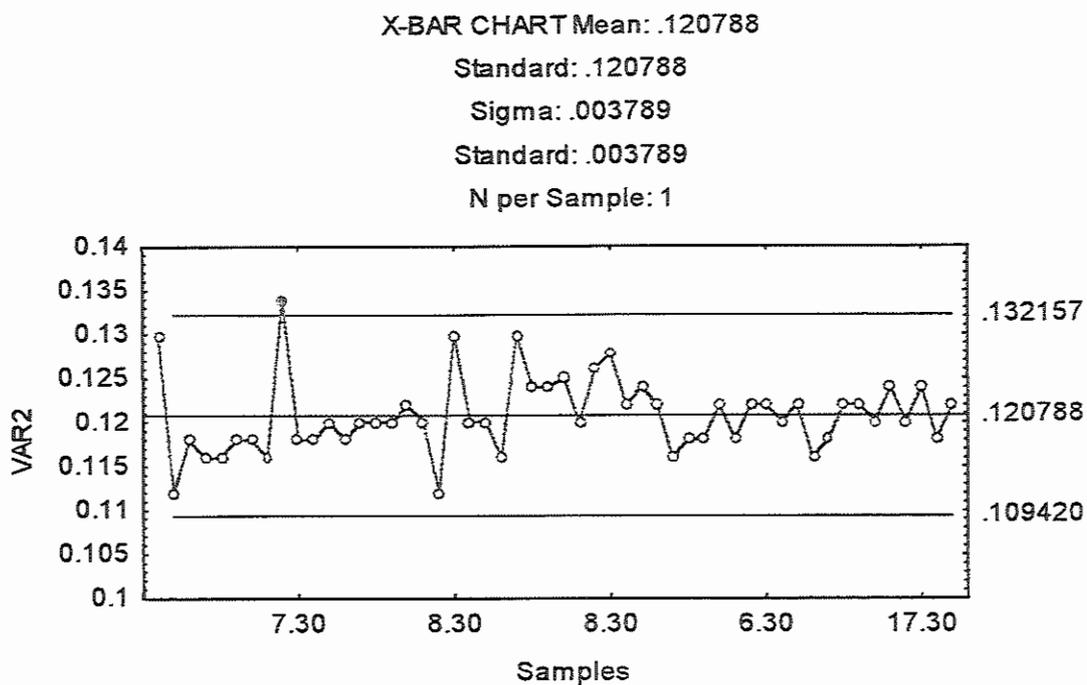


FIGURA 1.53 - Gráfico de \bar{x} : Passadeira 04 - Cabeça 01

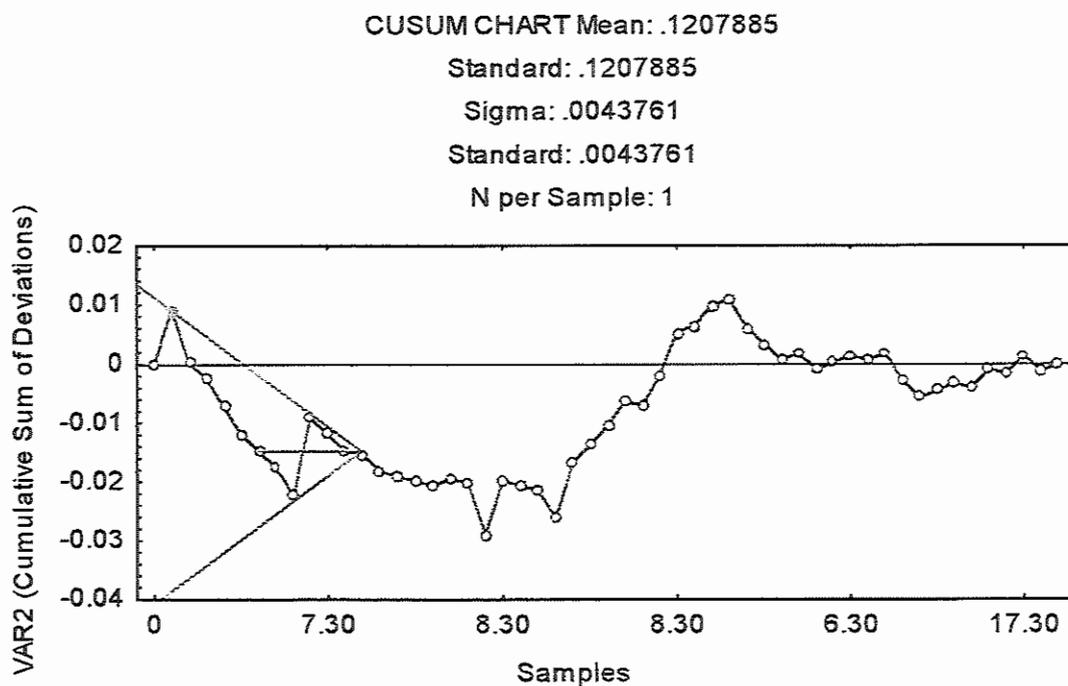


FIGURA 1.54 - Gráfico Cusum - Passadeira 04 - Cabeça 01

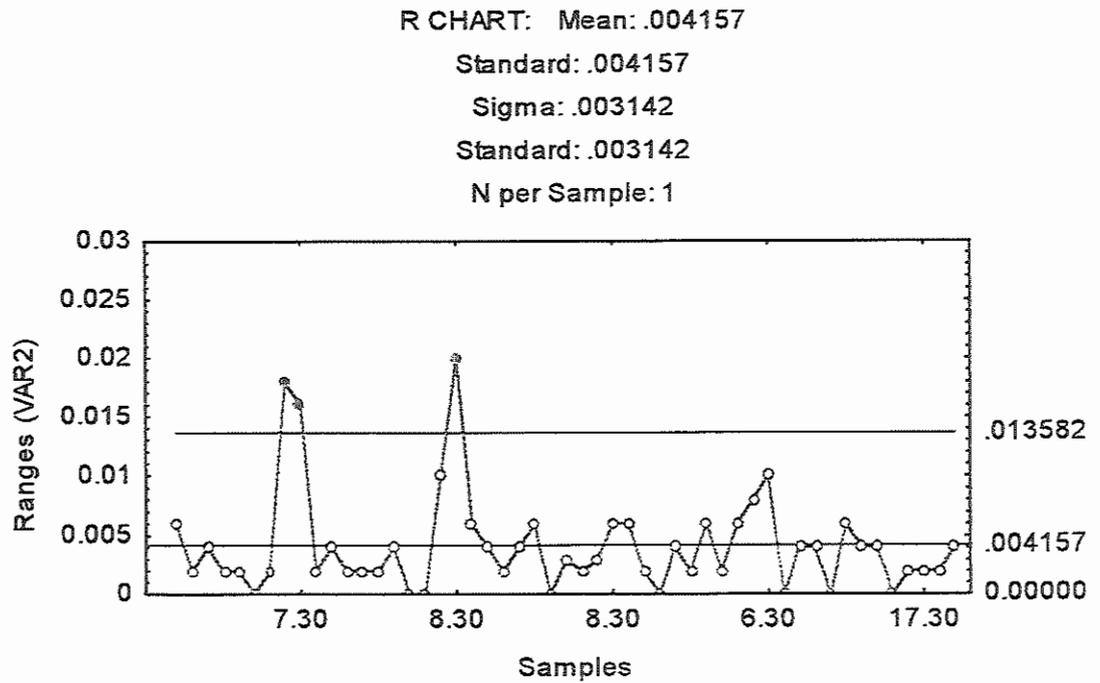


FIGURA 1.55 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Passadeira 04 - Cabeça 02

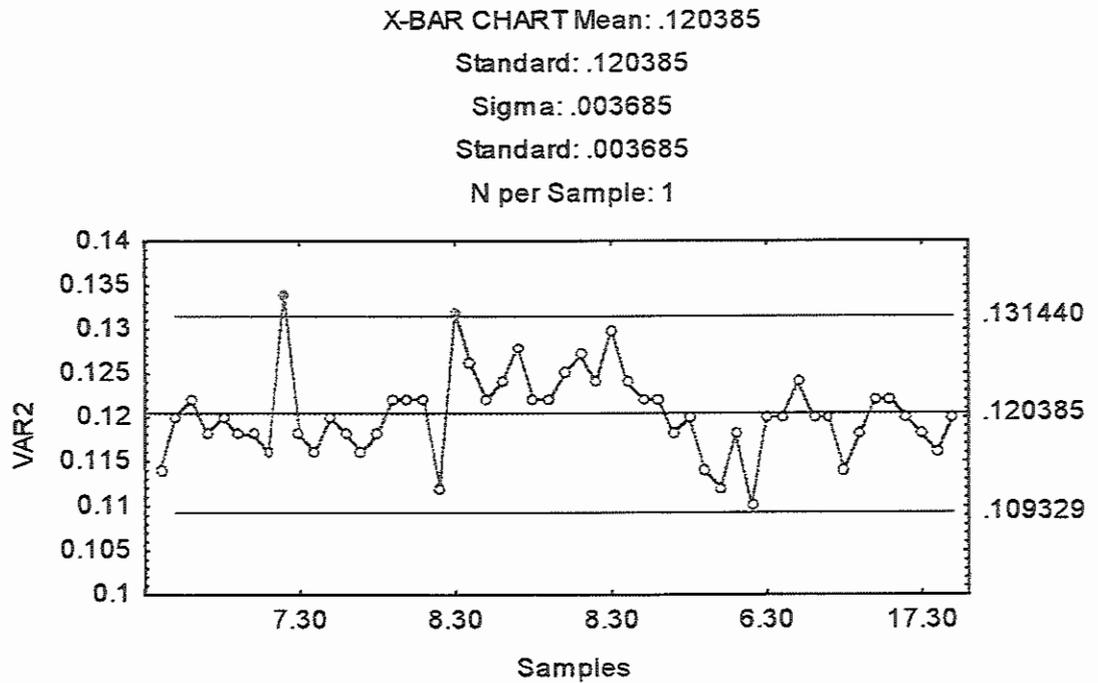


FIGURA 1.56 - Gráfico de \bar{x} : Passadeira 04 - Cabeça 02

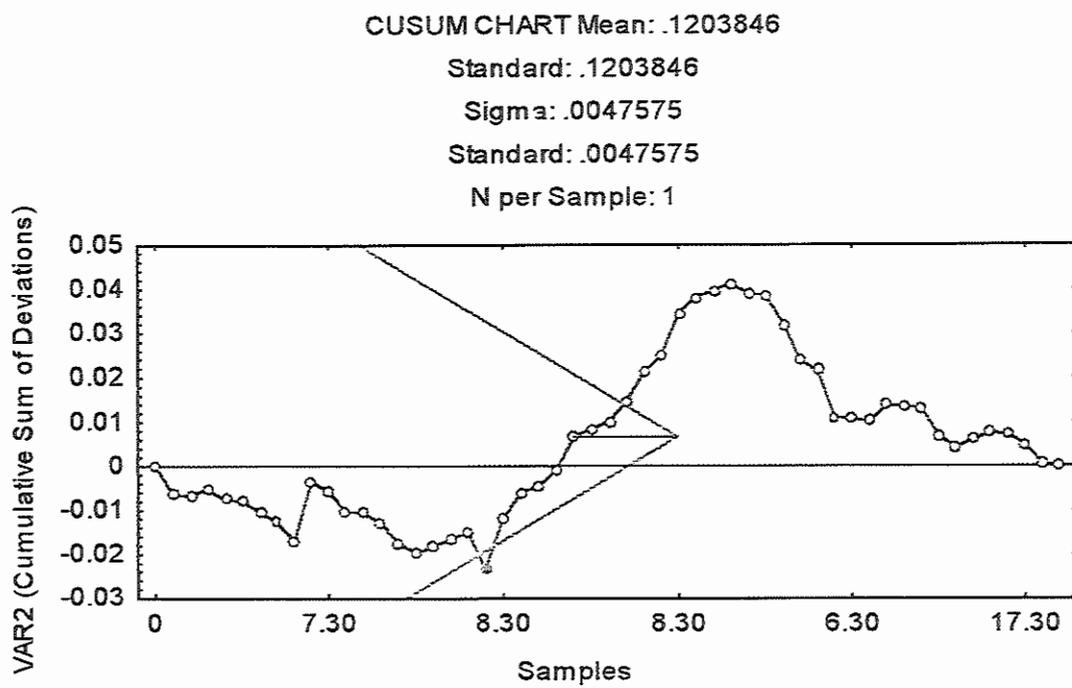


FIGURA 1.57 - Gráfico Cusum: Passadeira 04 - Cabeça 02



ANEXO B - SEGUNDA COLETA DE DADOS: GRÁFICOS CARDAS E PASSADEIRAS

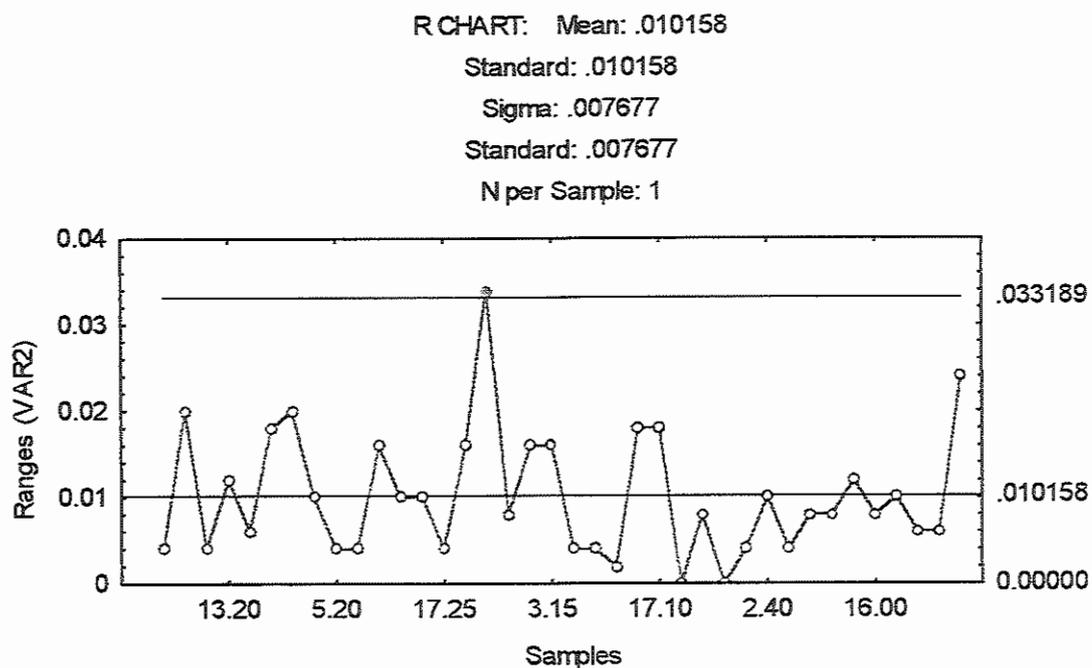


FIGURA 1.1 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 01

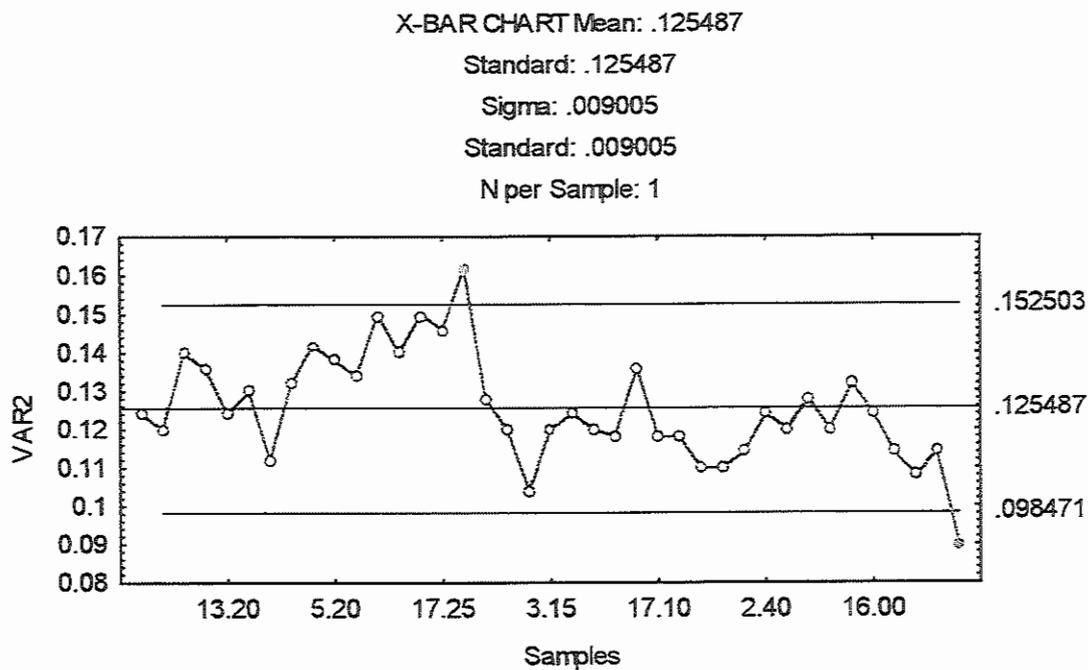


FIGURA 1.2 - Gráfico de \bar{x} : Carda 01

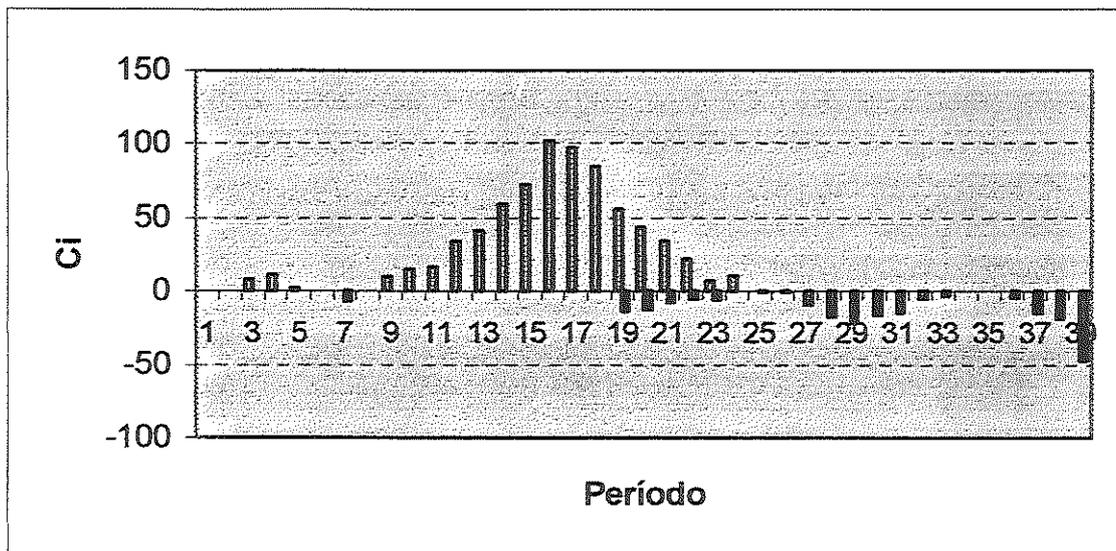


FIGURA 1.3 - Gráfico Cusum Tabular: Carda 01

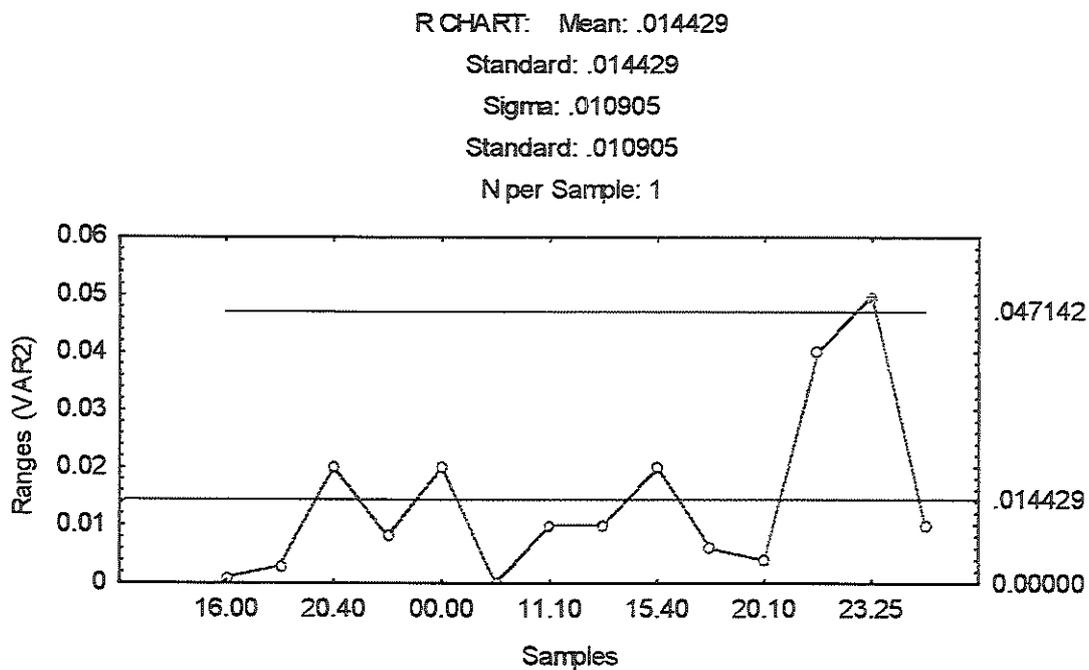


FIGURA 1.4 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 02

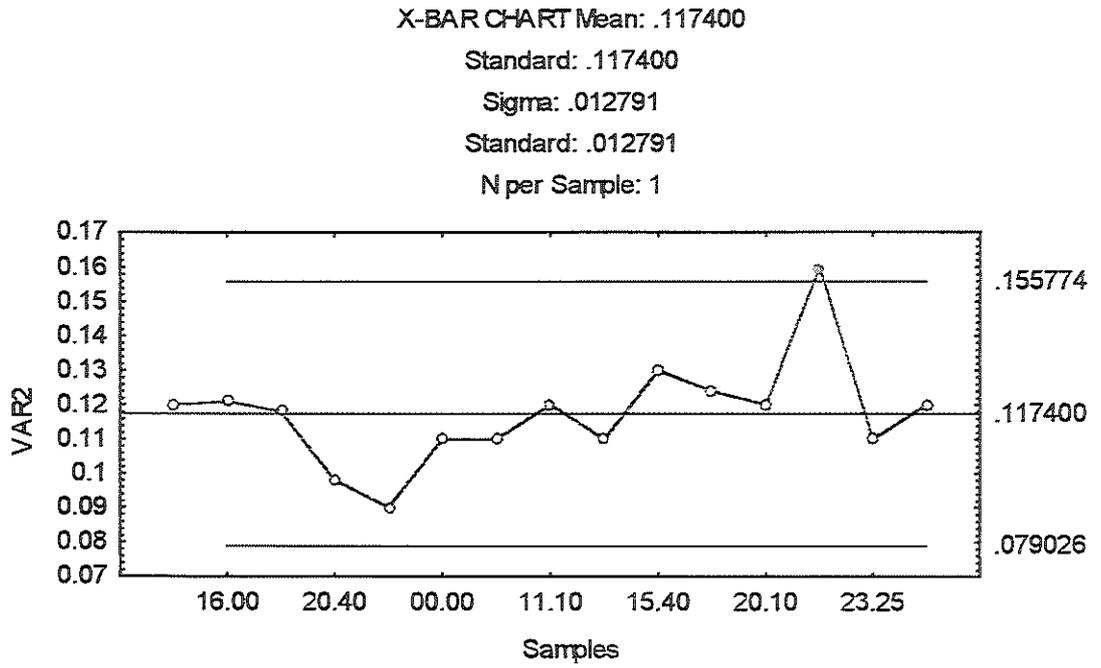


FIGURA 1.5 - Gráfico de x: Carda 02

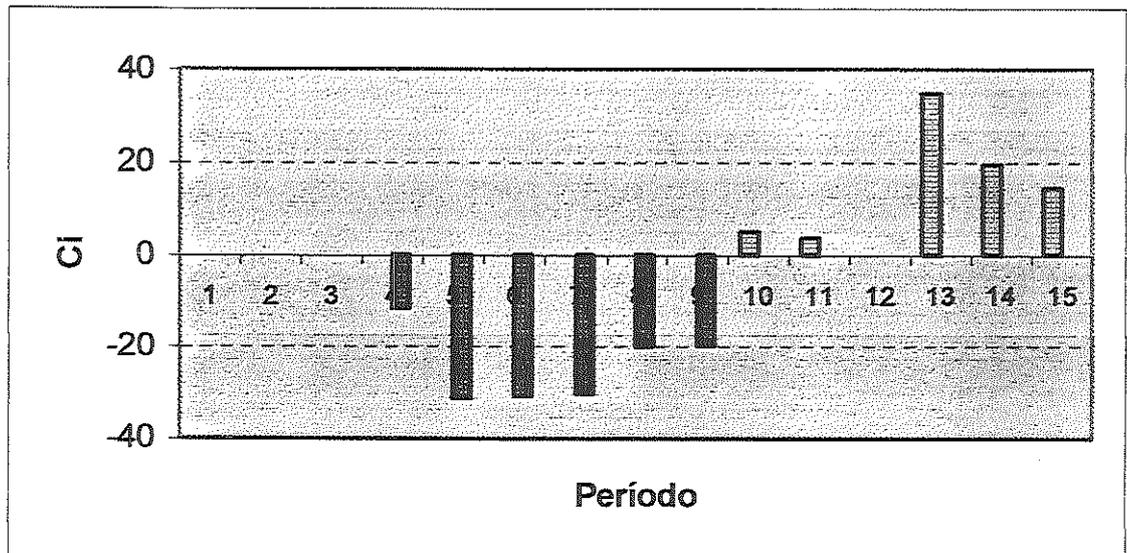


FIGURA 1.6 - Gráfico Cusum Tabular: Carda 02

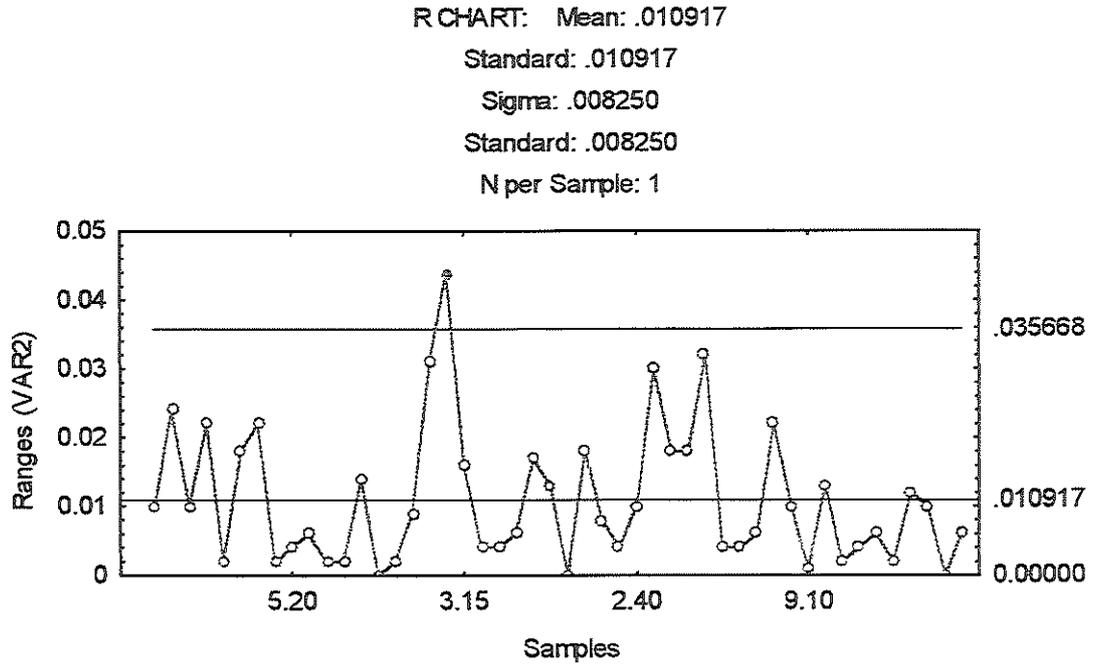


FIGURA 1.7 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 03

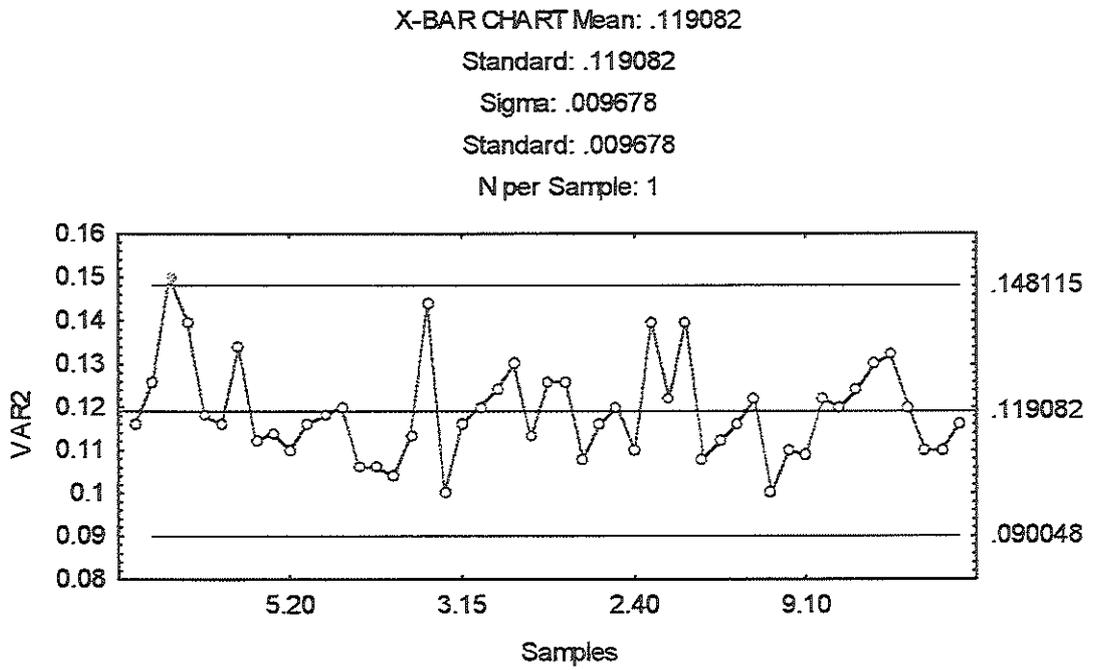


FIGURA 1.8 - Gráfico de x : Carda 03

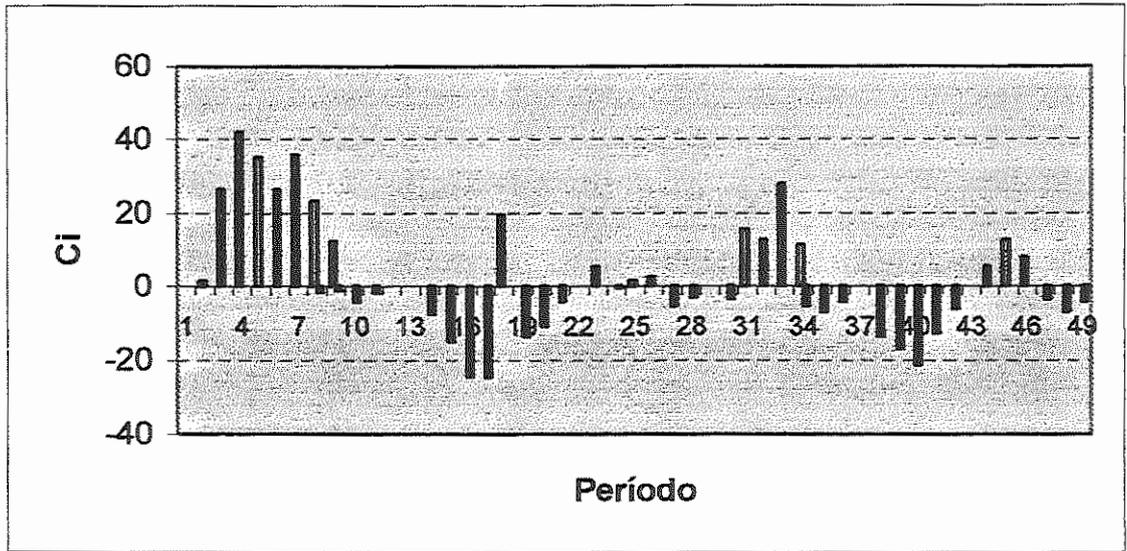


FIGURA 1.9 - Gráfico Cusum Tabular: Carta 03

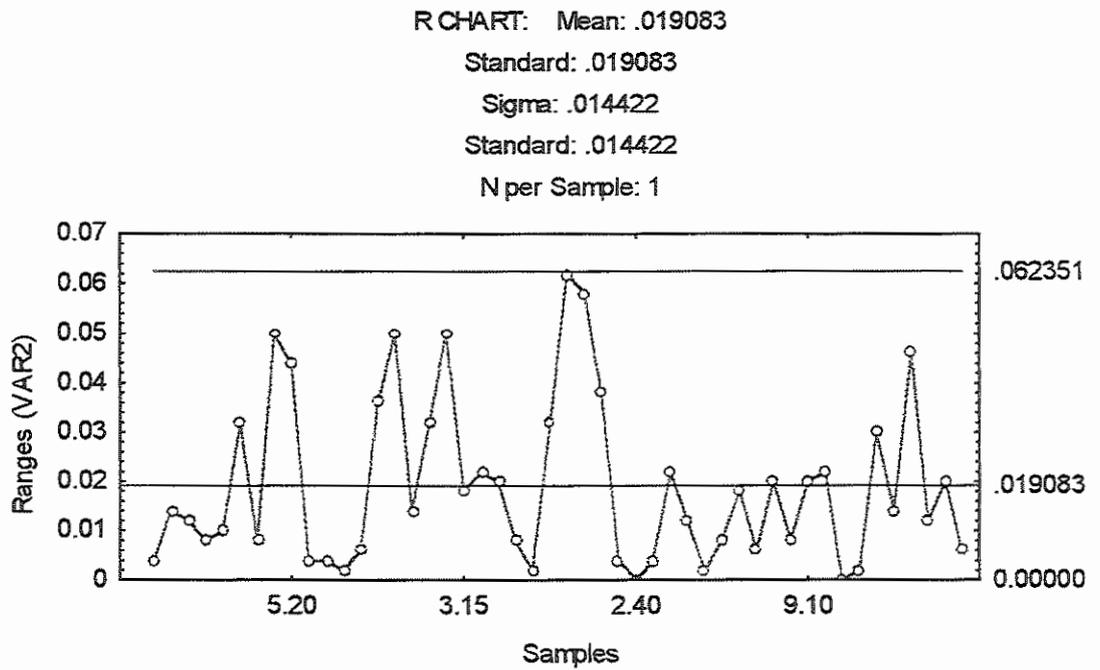


FIGURA 1.10 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carta 04

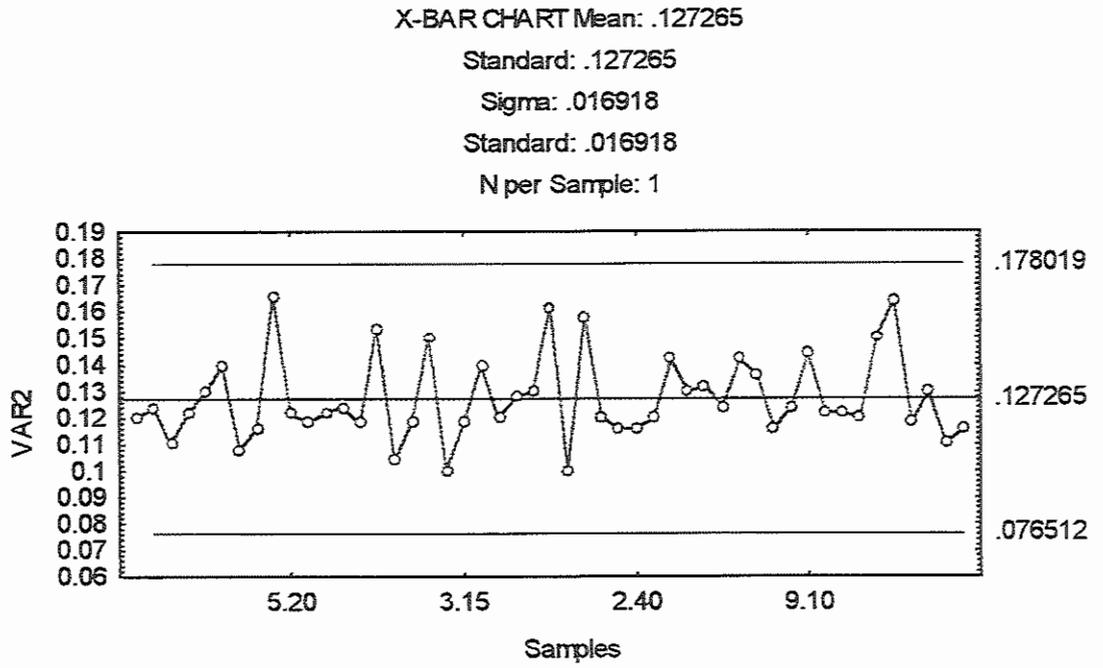


FIGURA 1.11 - Gráfico de \bar{x} - Carda 04

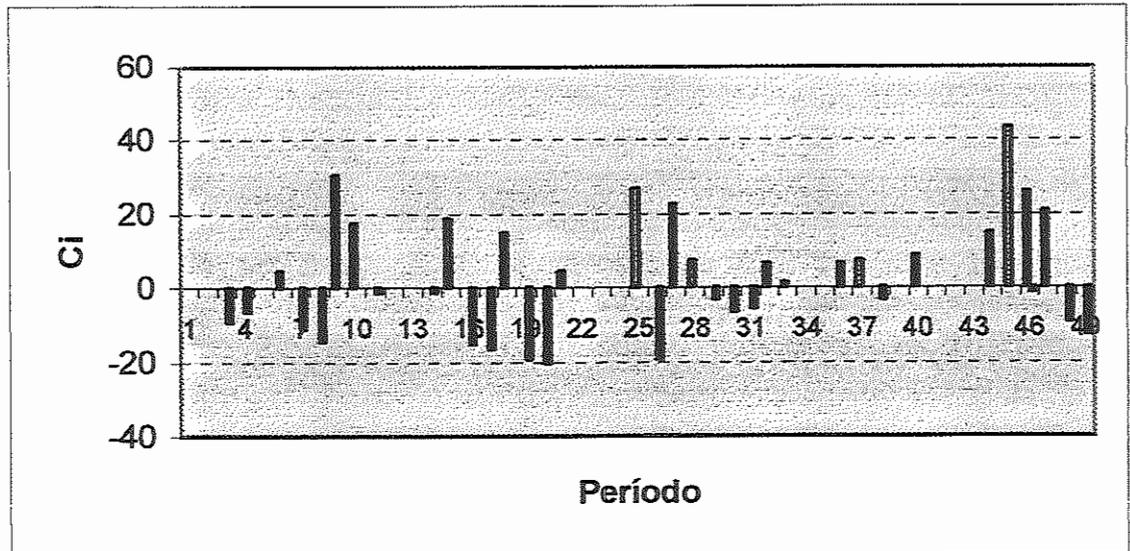


FIGURA 1.12 - Gráfico Cusum Tabular: Carda 04

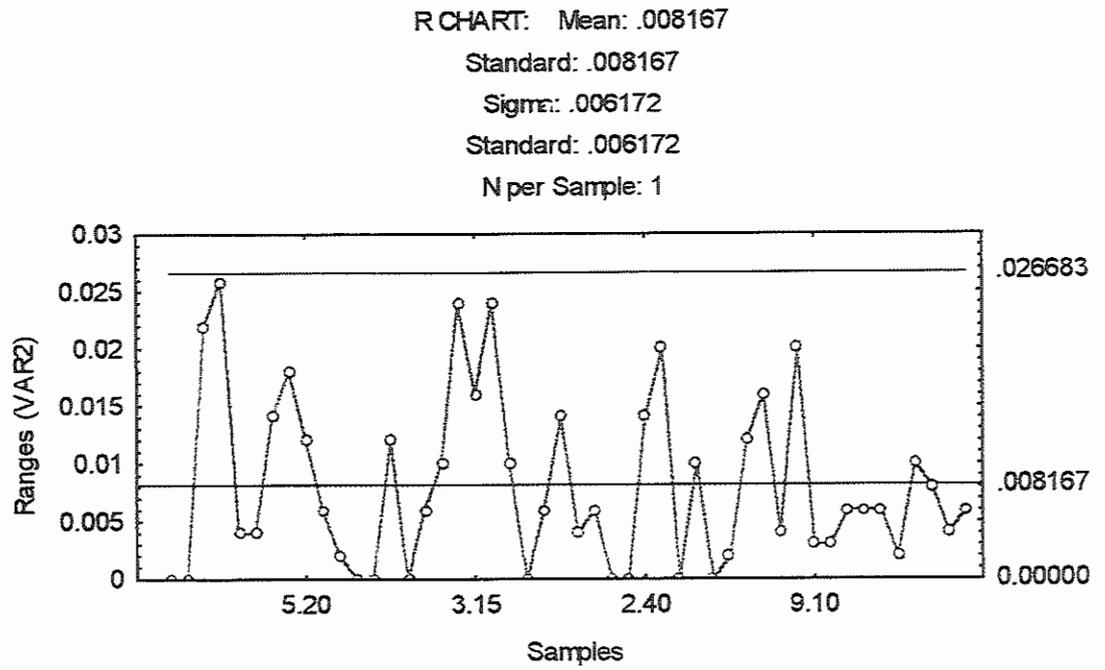


FIGURA 1.13 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 05

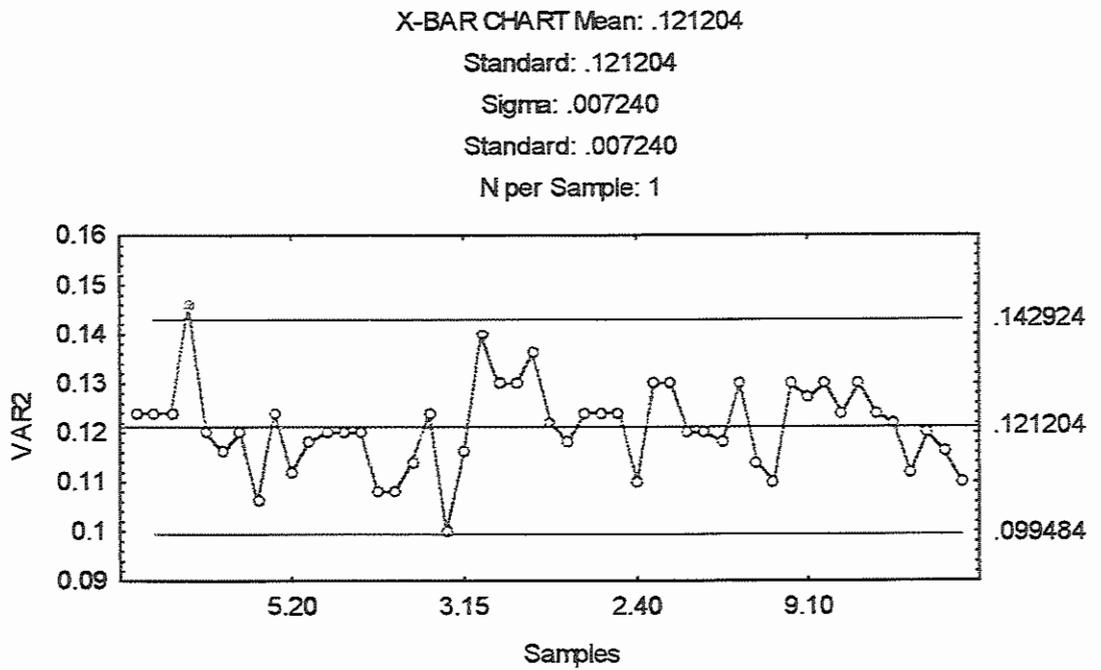


FIGURA 1.14 - Gráfico de \bar{x} : Carda 05

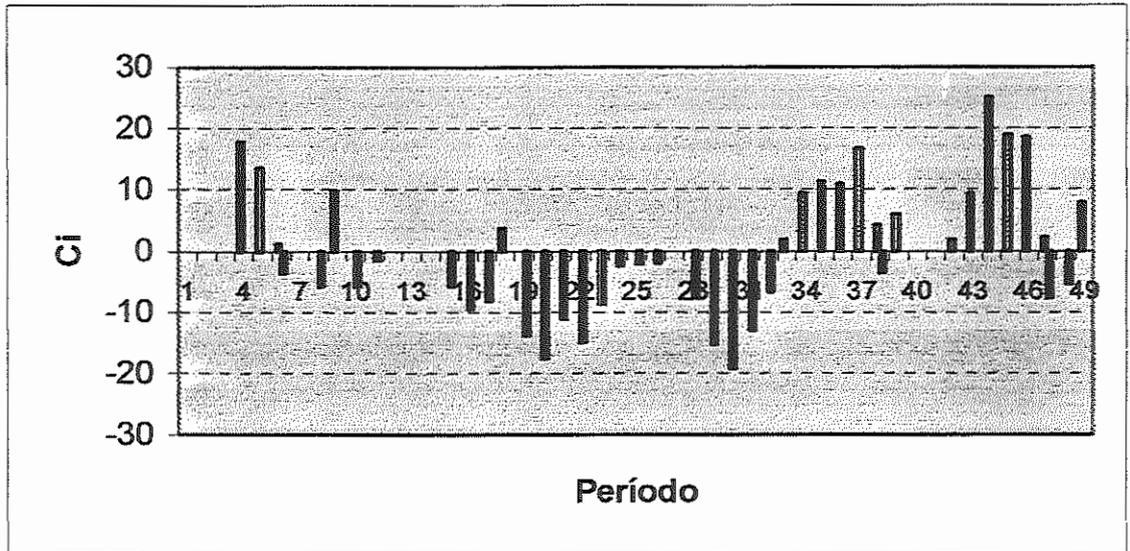


FIGURA 1.15 - Gráfico Cusum Tabular - Carda 05

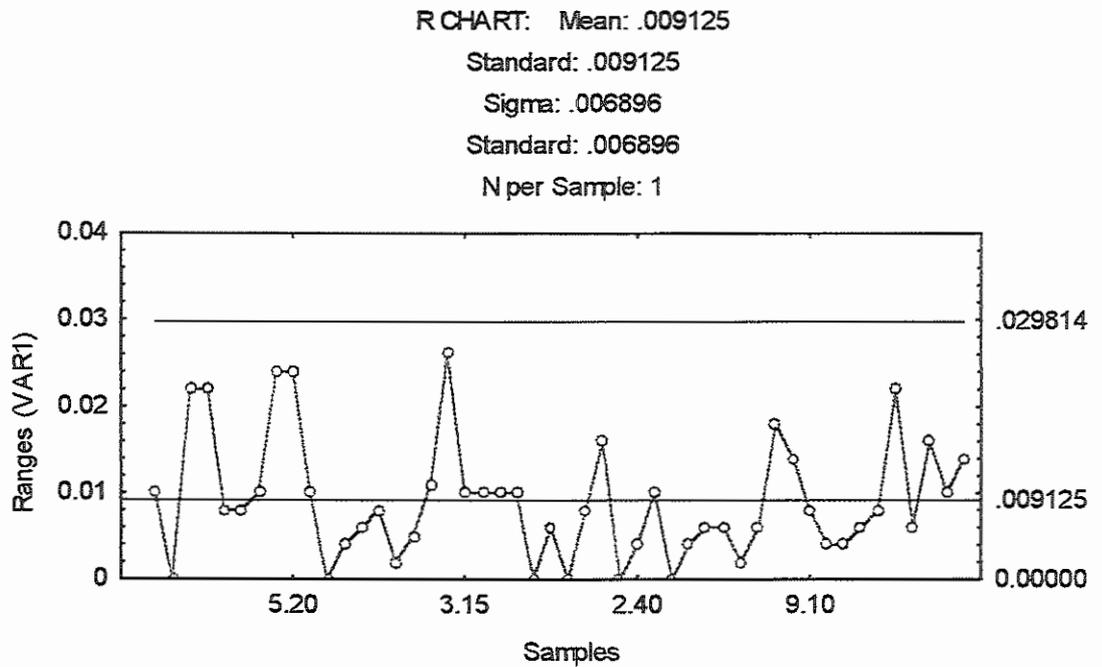


FIGURA 1.16 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 06

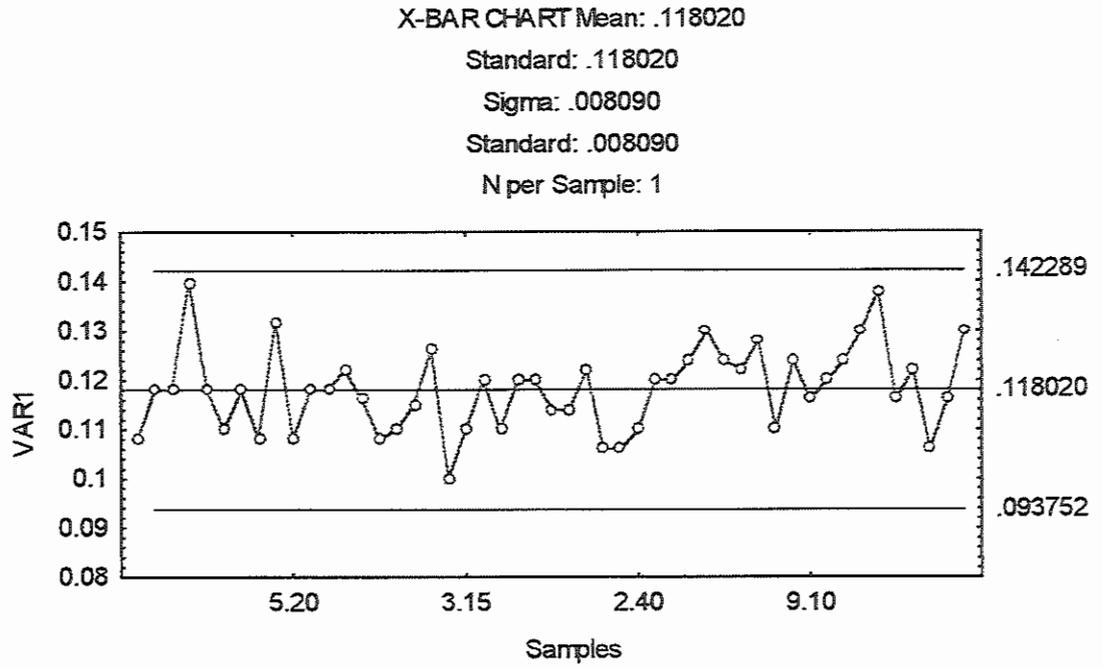


FIGURA 1.17 - Gráfico de x: Carda 06

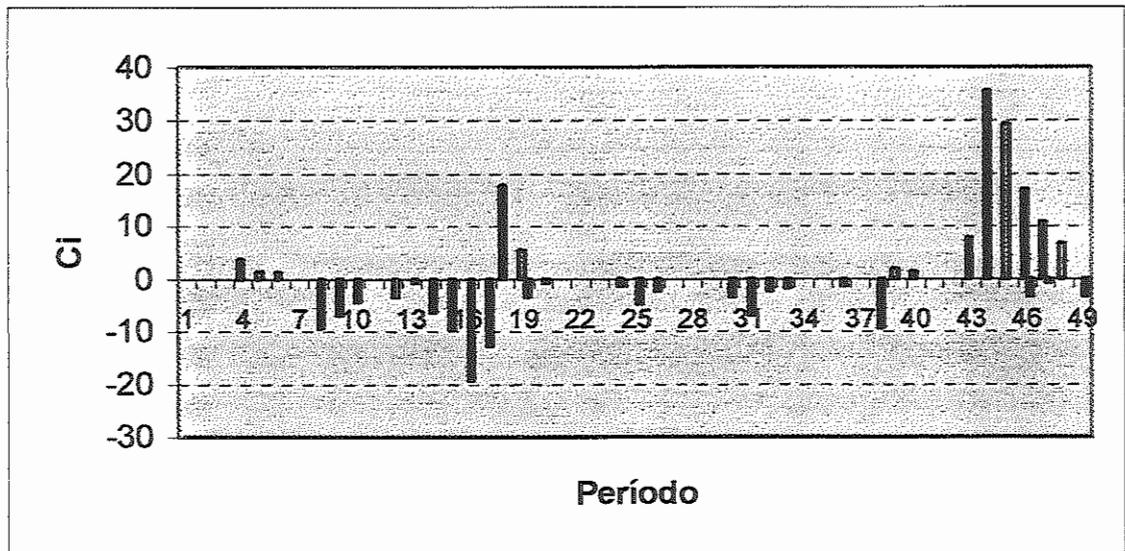


FIGURA 1.18 - Gráfico Cusum Tabular: Carda 06

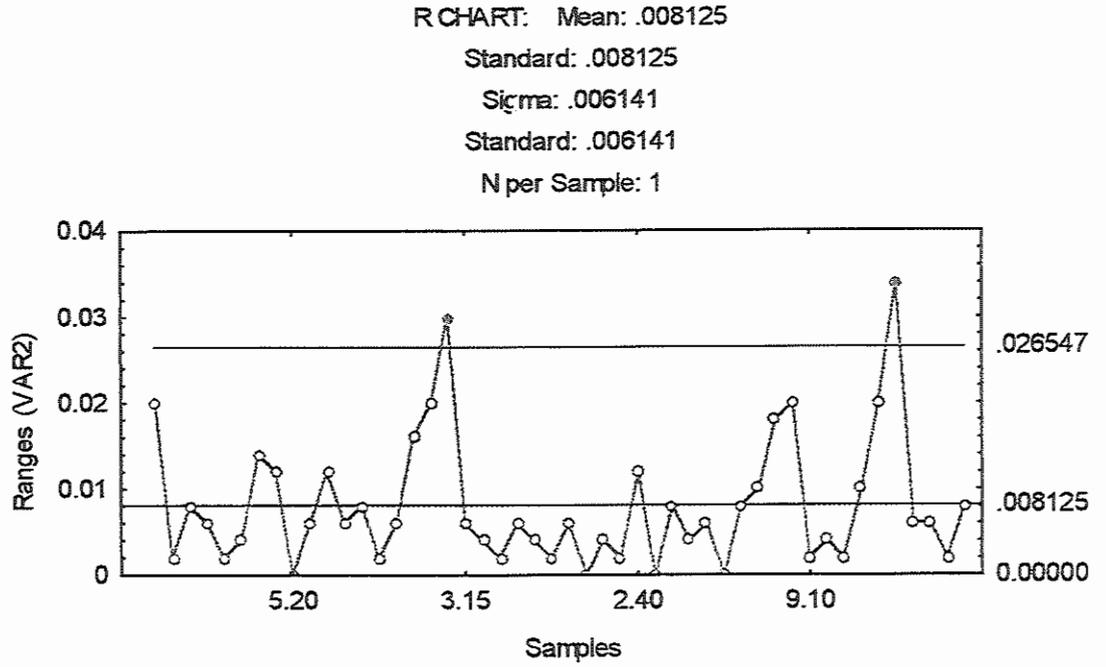


FIGURA 1.19 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 07

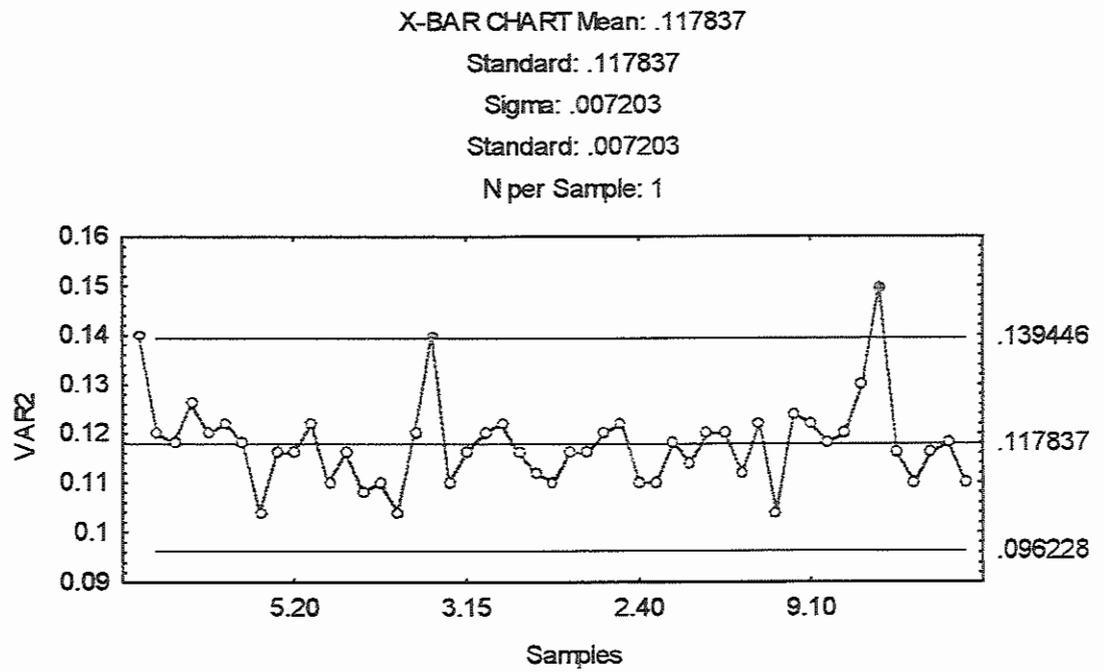


FIGURA 1.20 - Gráfico de \bar{x} : Carda 07

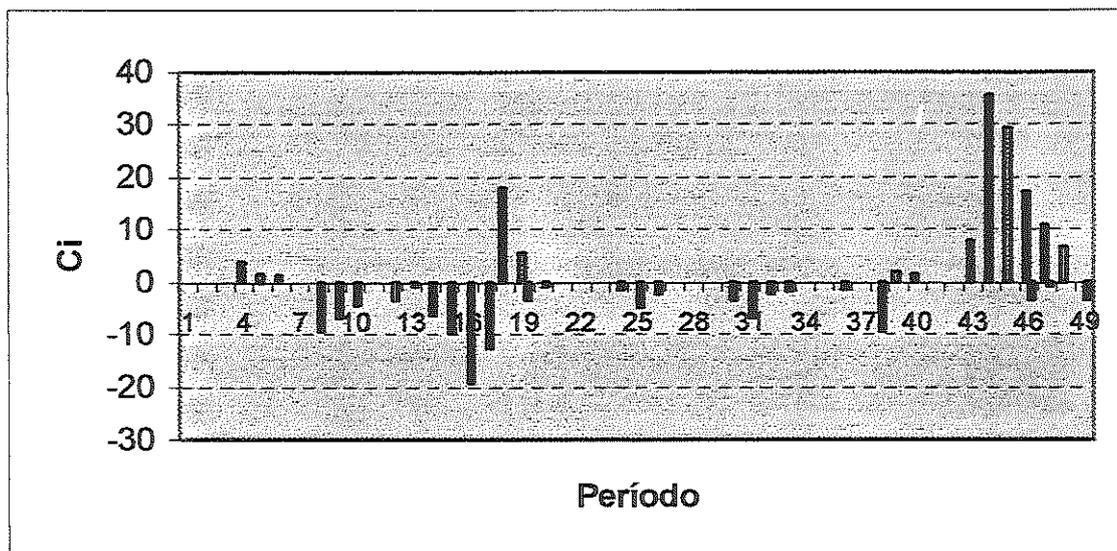


FIGURA 1.21 - Gráfico Cusum Tabular: Carta 07

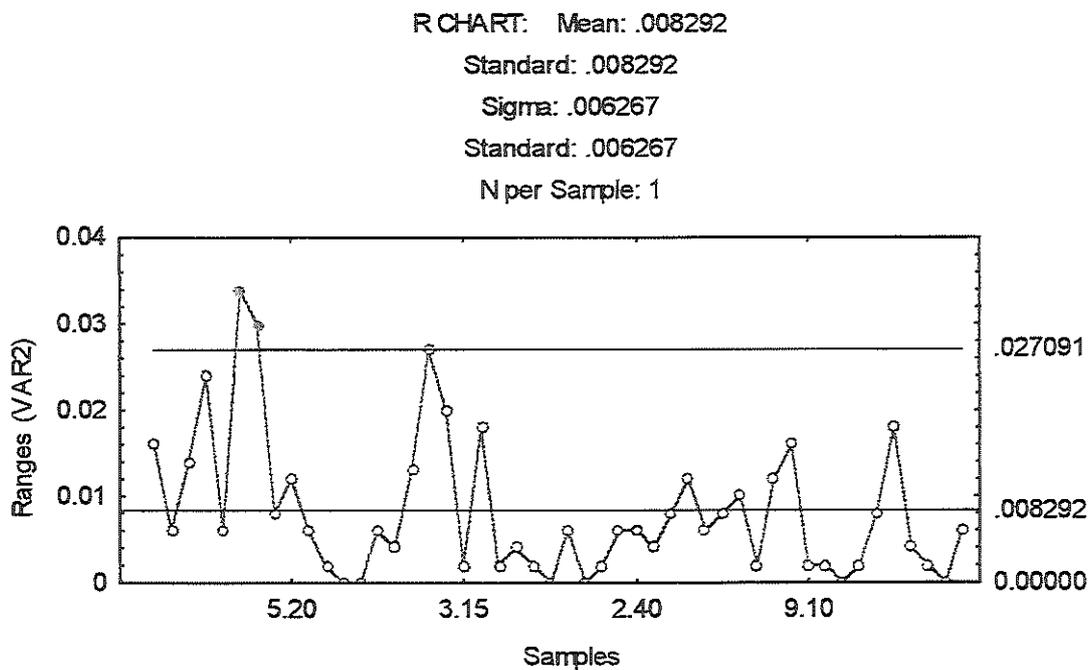


FIGURA 1.22 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carta 08

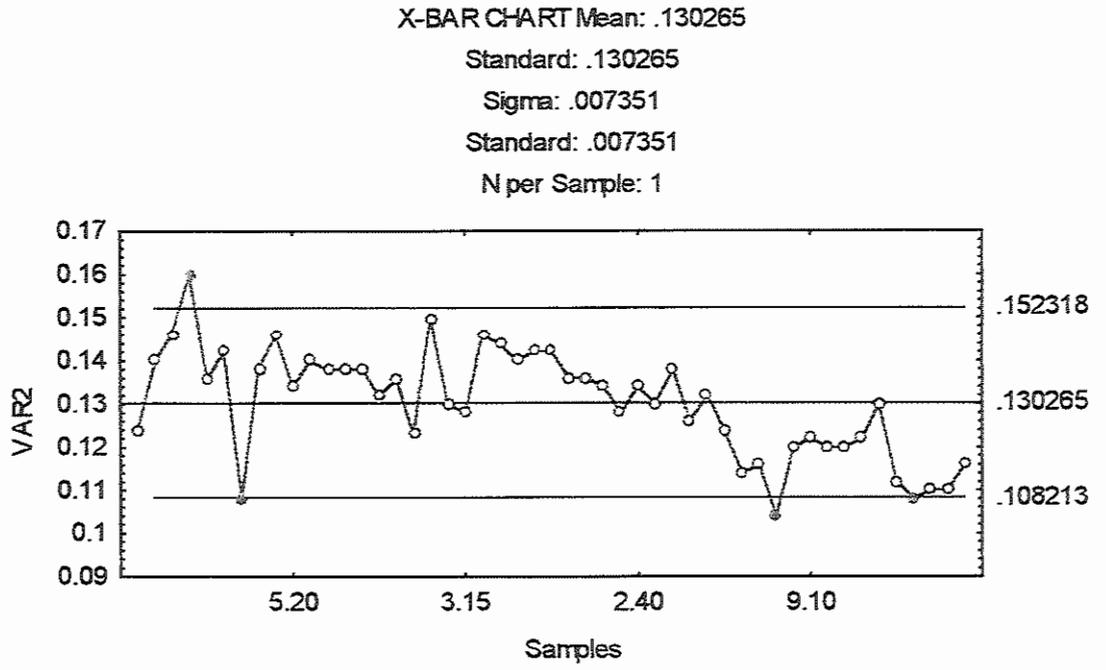


Figura 1.23 - Gráfico de x: Carda 08

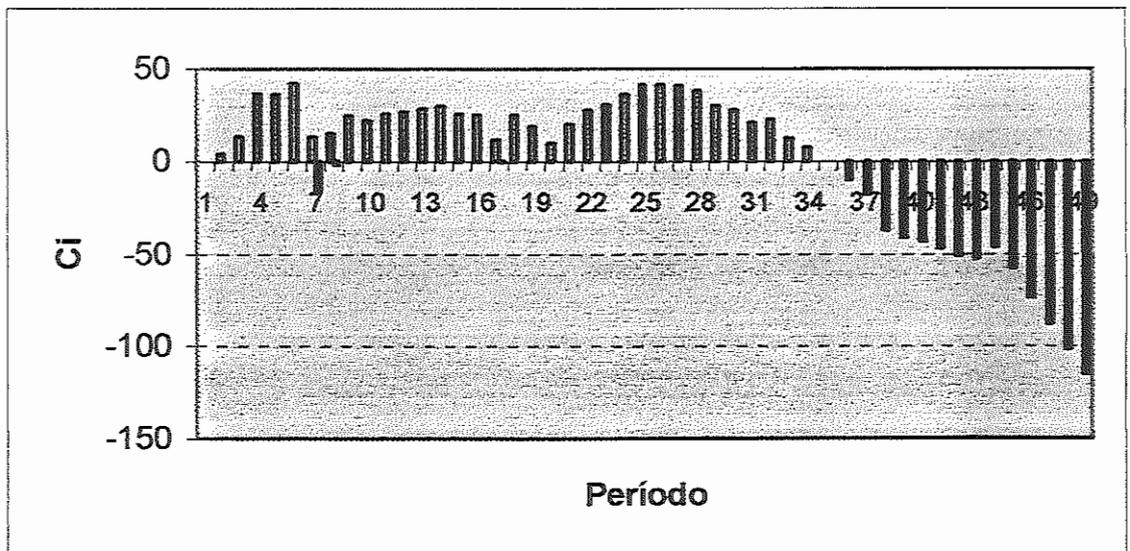


FIGURA 1.24 - Gráfico Cusum Tabular: Carda 08

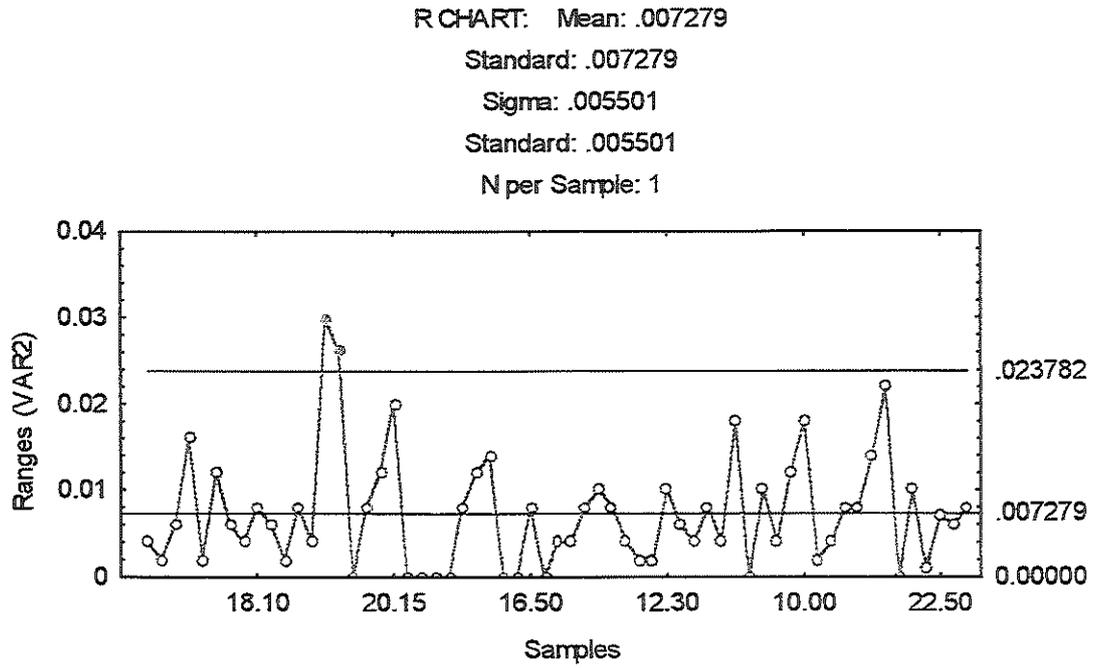


FIGURA 1.25 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 09

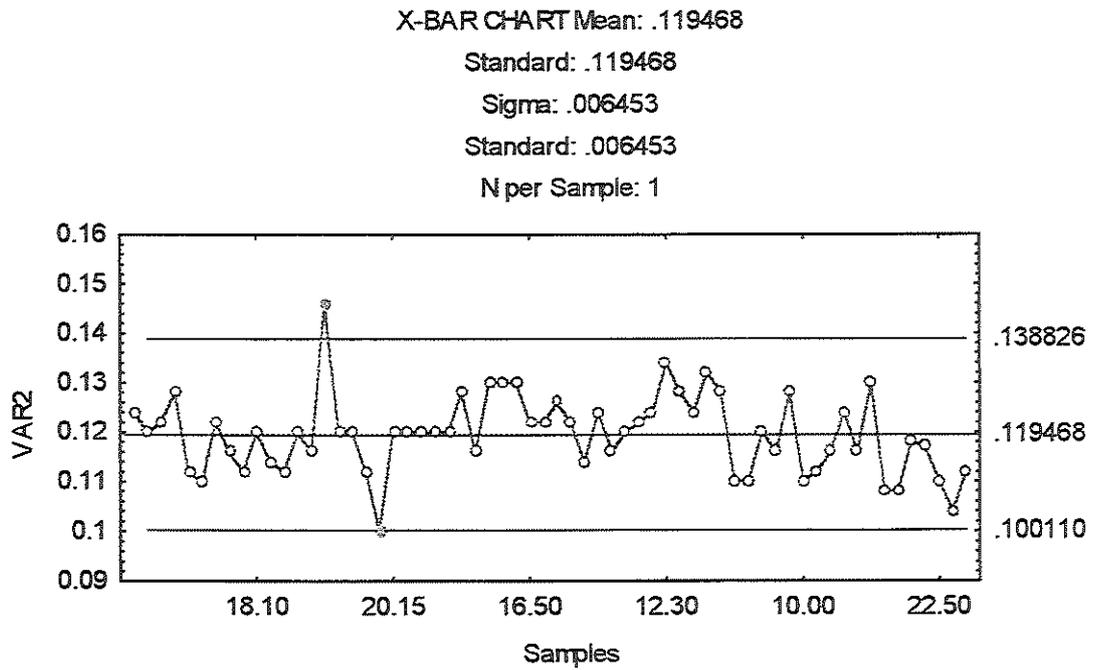


FIGURA 1.26 - Gráfico de \bar{x} : Carda 09

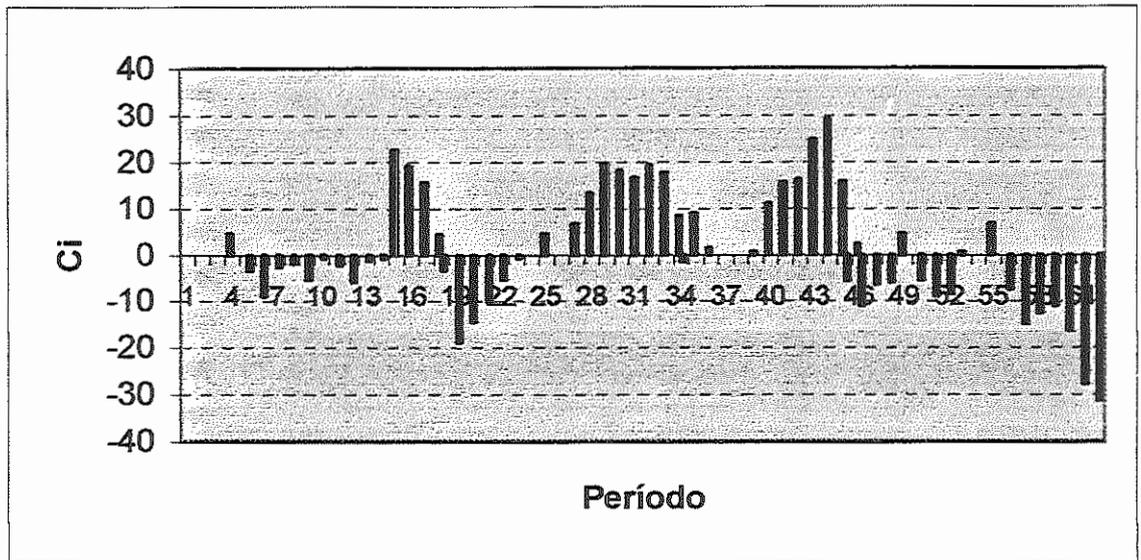


FIGURA 1.27 - Gráfico Cusum Tabular: Carda 09

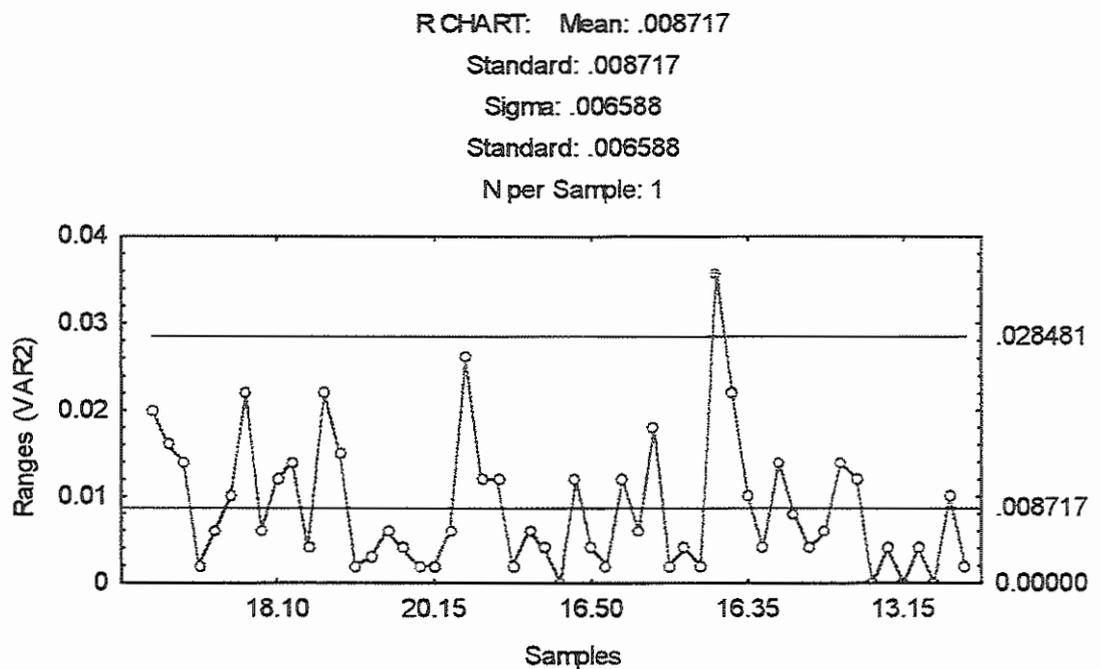


FIGURA 1.28 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 10

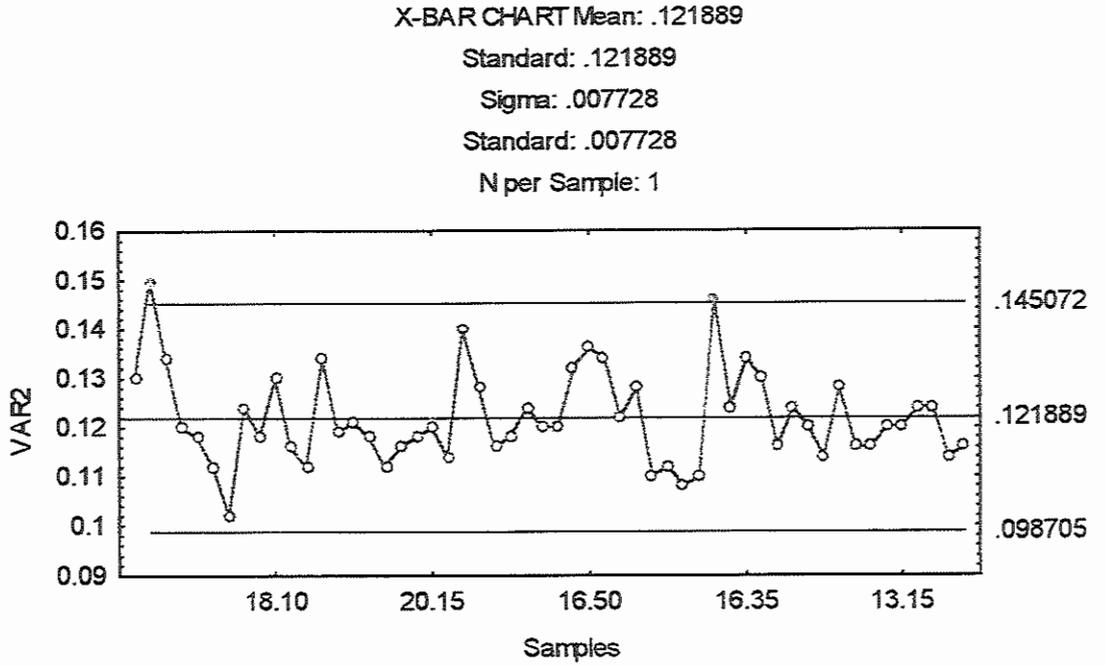


FIGURA 1.29 - Gráfico de \bar{x} : Carta 10

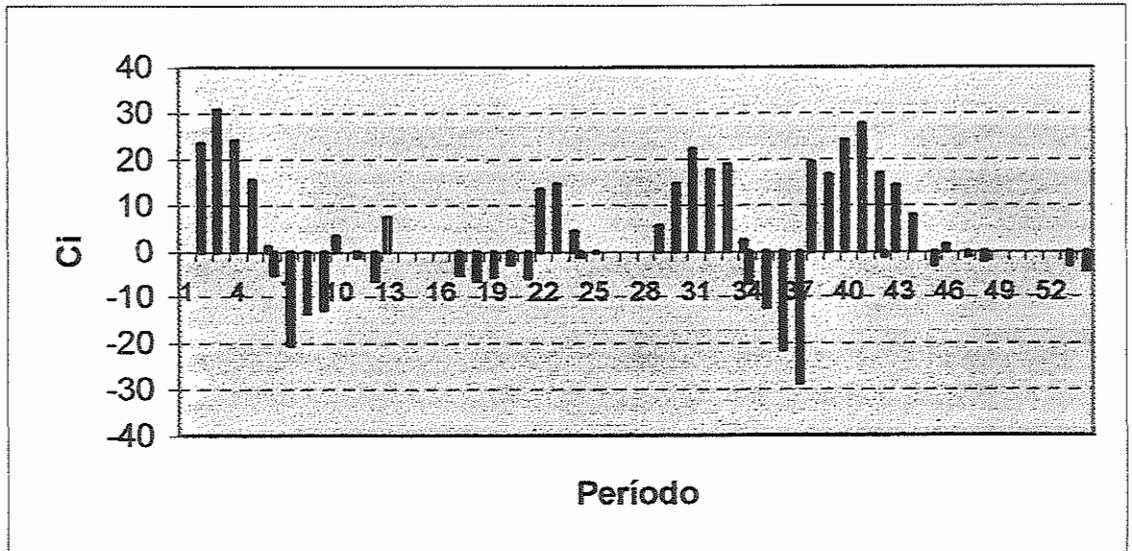


FIGURA 1.30 - Gráfico Cusum Tabular - Carta 10

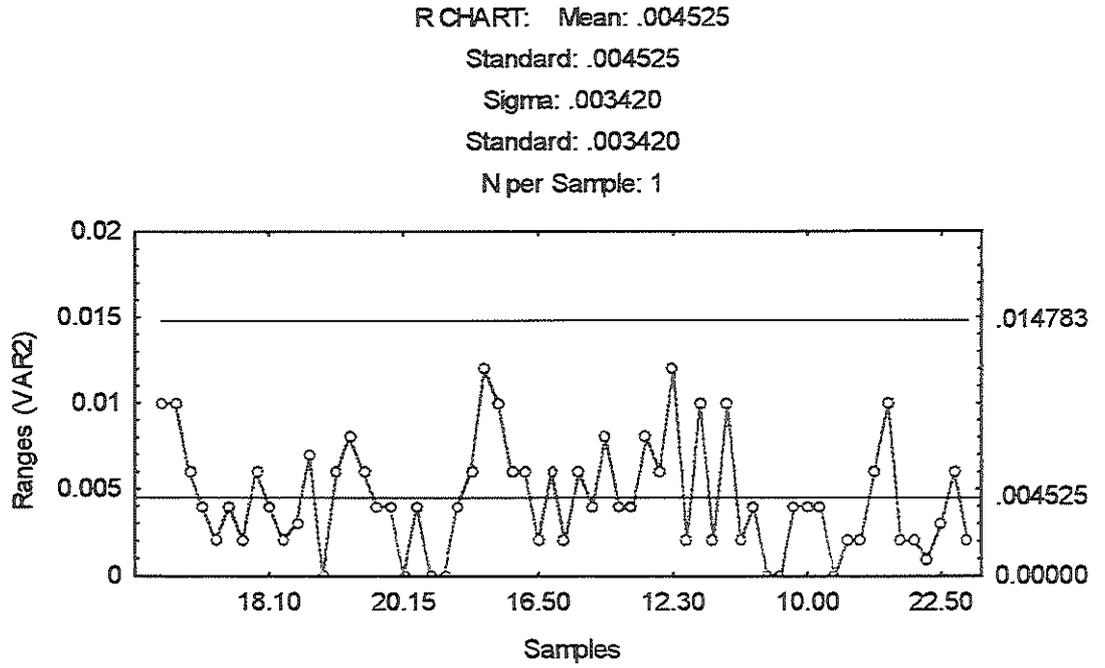


FIGURA 1.31 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 11

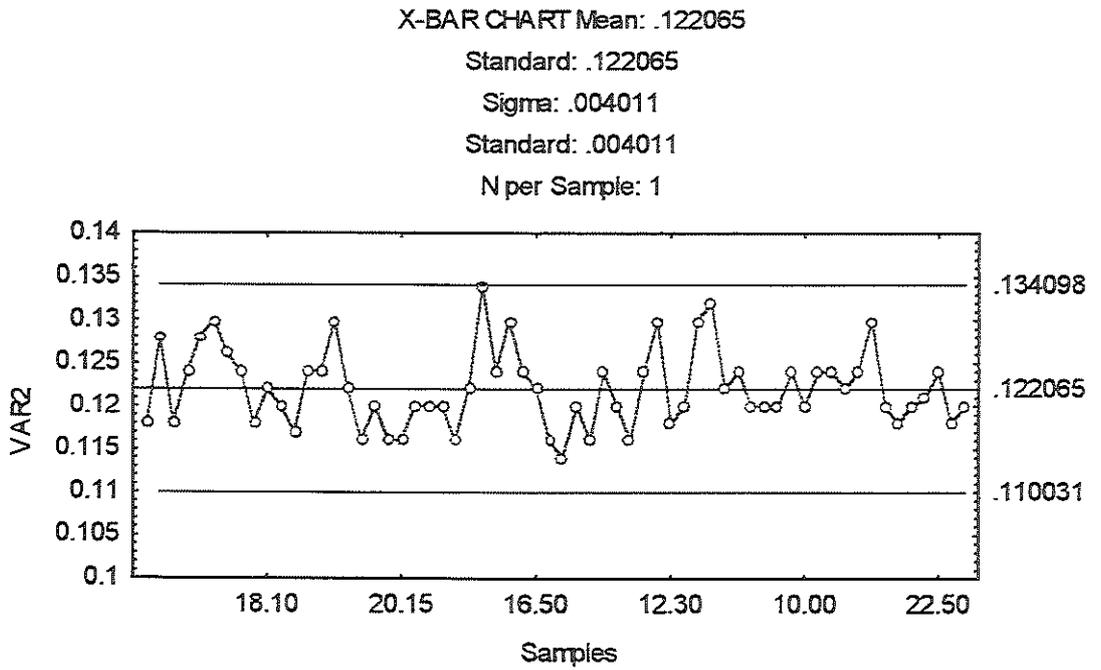


FIGURA 1.32 - Gráfico de \bar{x} : Carda 11

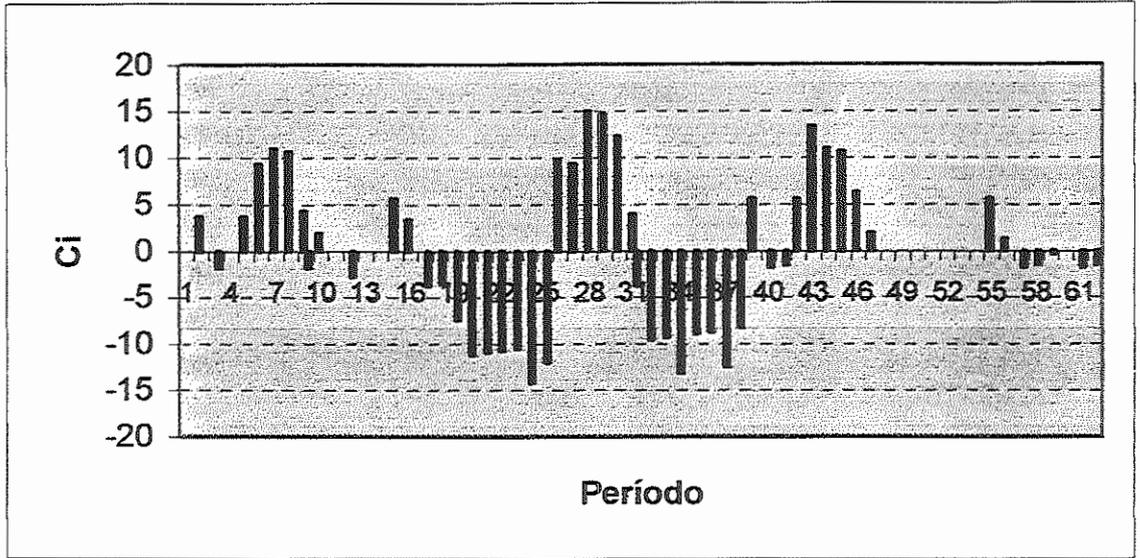


FIGURA 1.33 - Gráfico Cusum Tabular: Carda 11

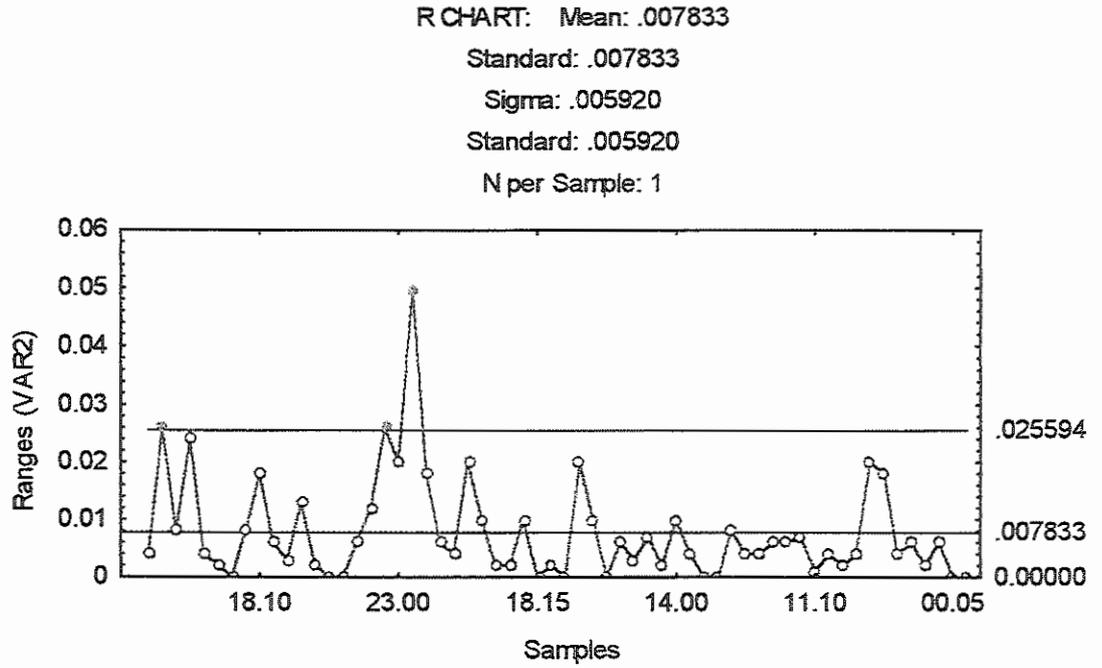


FIGURA 1.34 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Carda 12

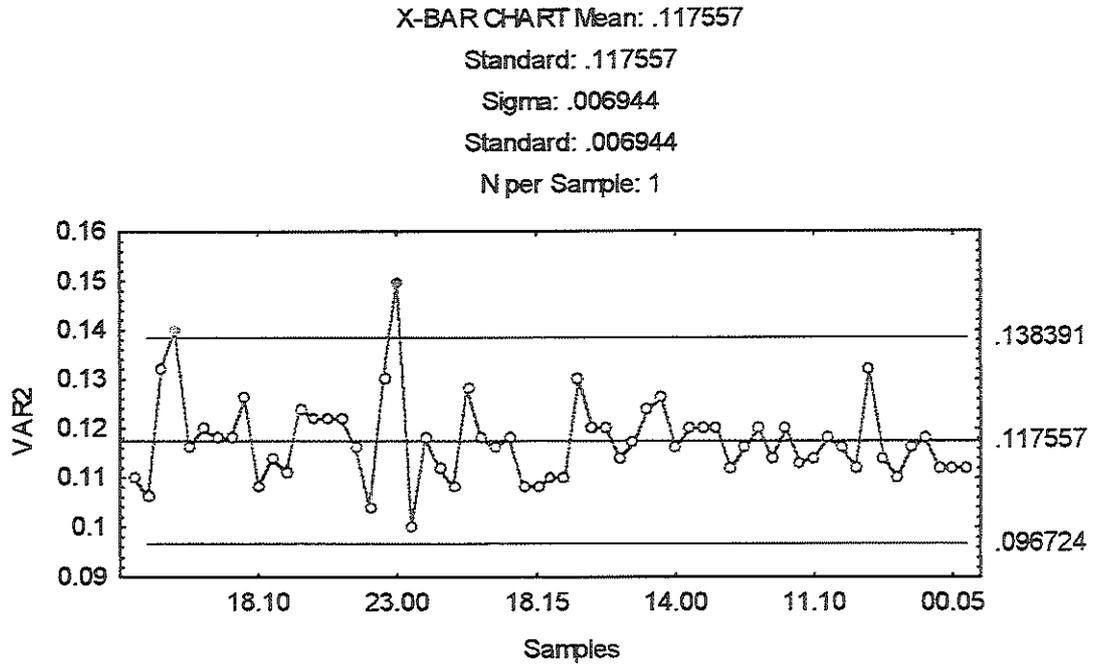


FIGURA 1.35 - Gráfico de x: Carda 12

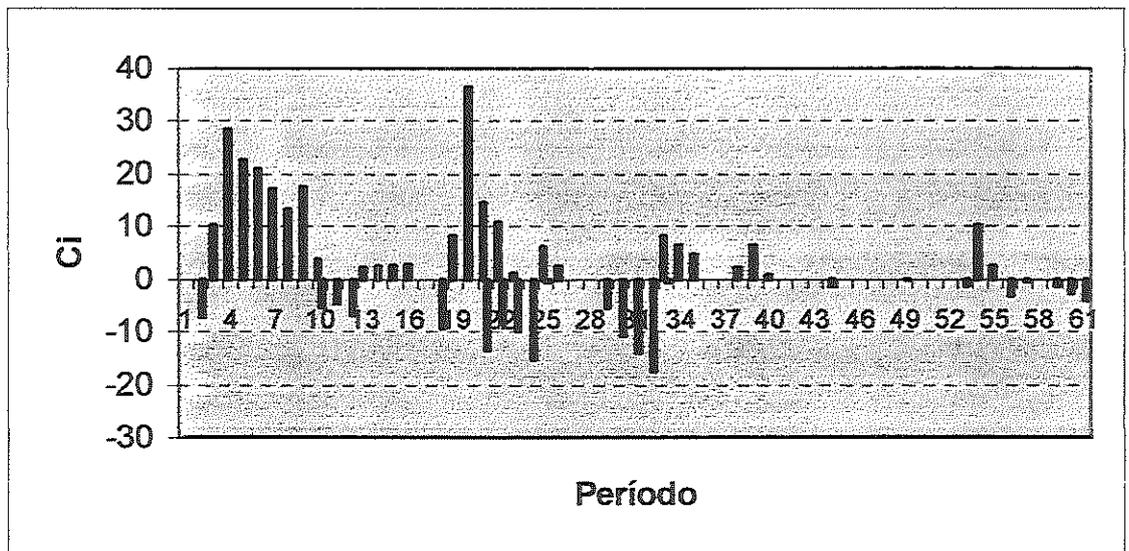


FIGURA 1.36 - Gráfico Cusum Tabular: Carda 12

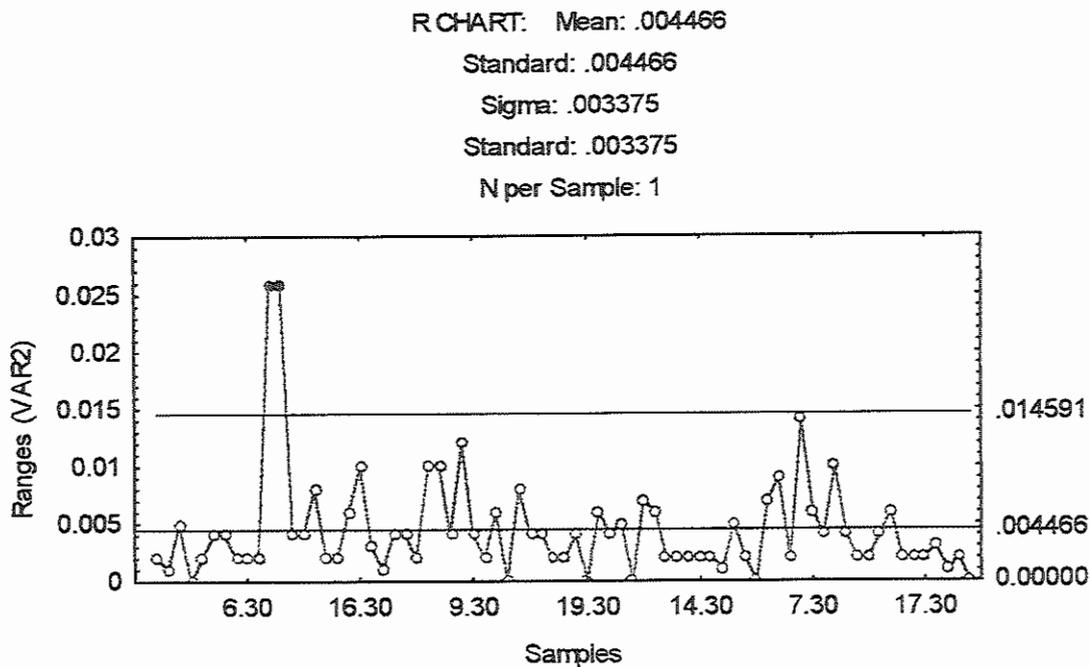


FIGURA 1.37 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Passadeira 01 - Cabeça 01

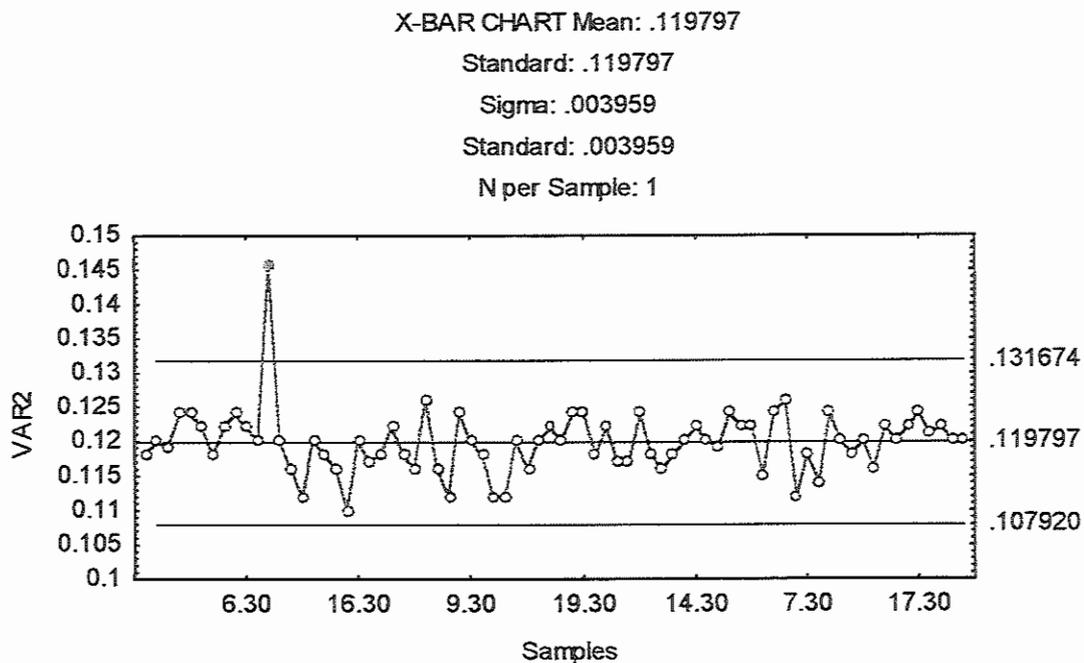


FIGURA 1.38 - Gráfico de \bar{x} : Passadeira 01 - Cabeça 01

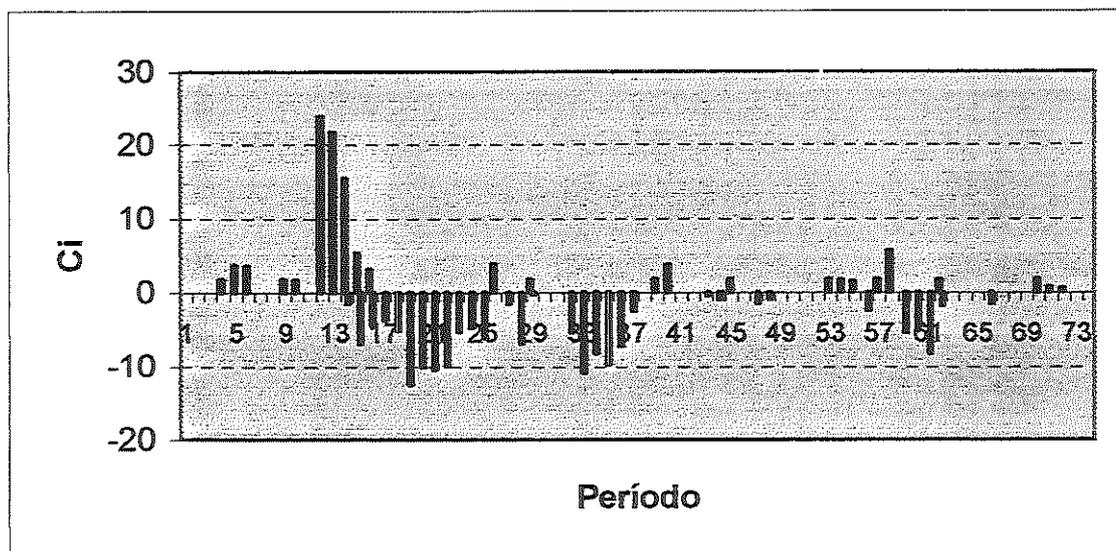


FIGURA 1.39 - Gráfico Cusum Tabular: Passadeira 01 - Cabeça 01

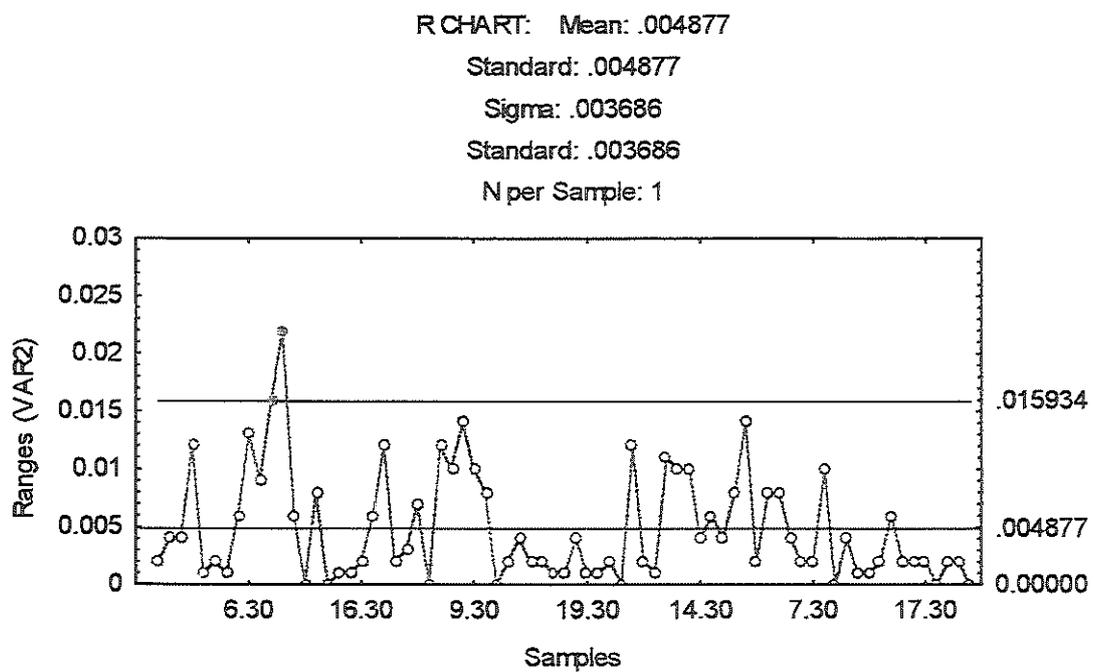


FIGURA 1.40 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Passadeira 01 - Cabeça 02

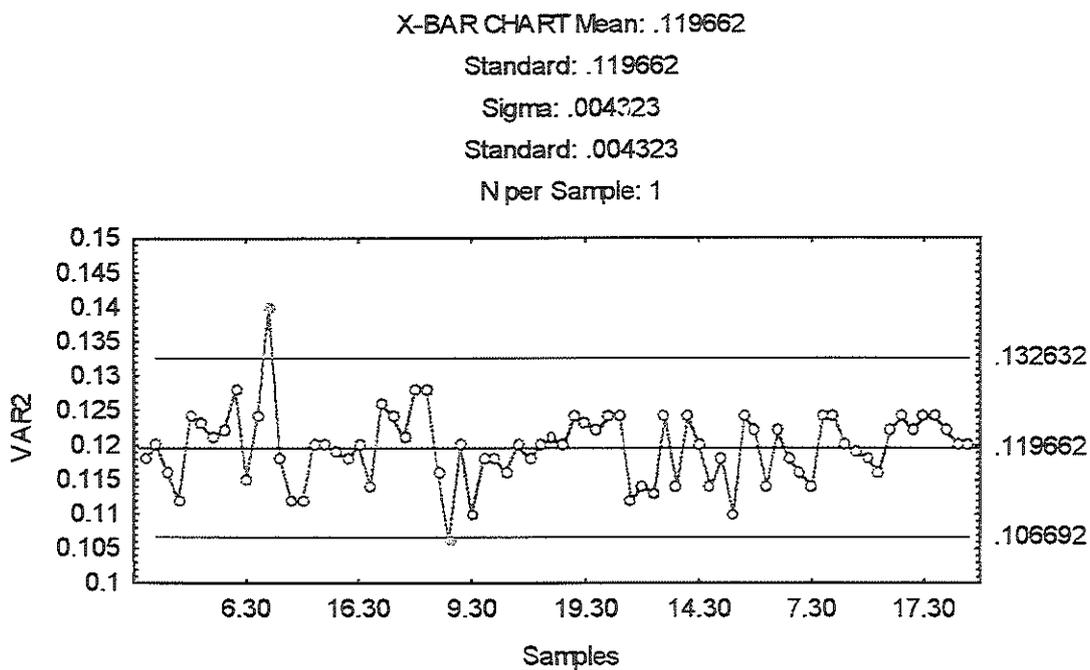


FIGURA 1.41 - Gráfico de x: Passadeira 01 - Cabeça 02

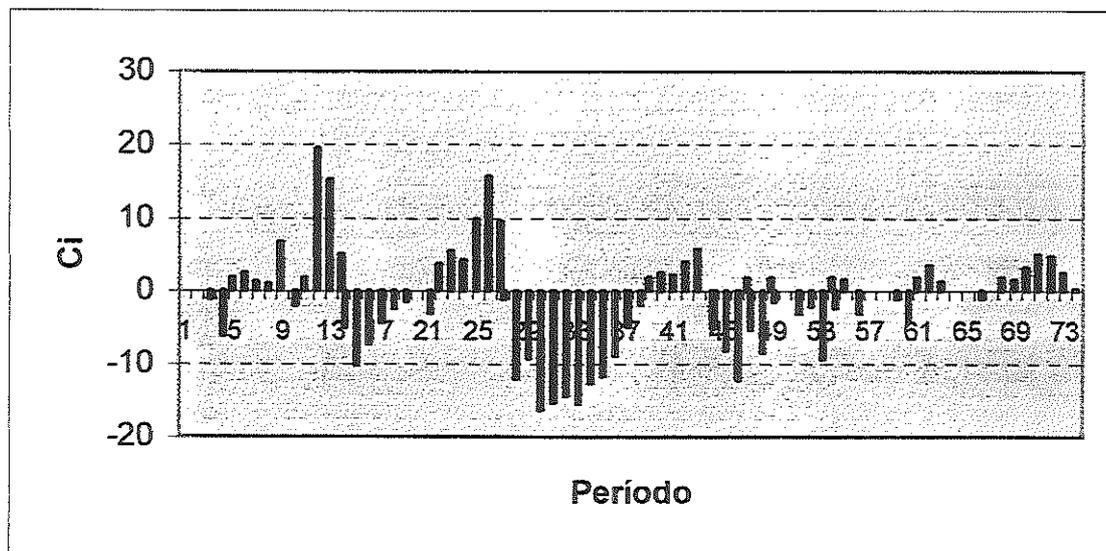


FIGURA 1.42 - Gráfico Cusum Tabular: Passadeira 01 - Cabeça 02

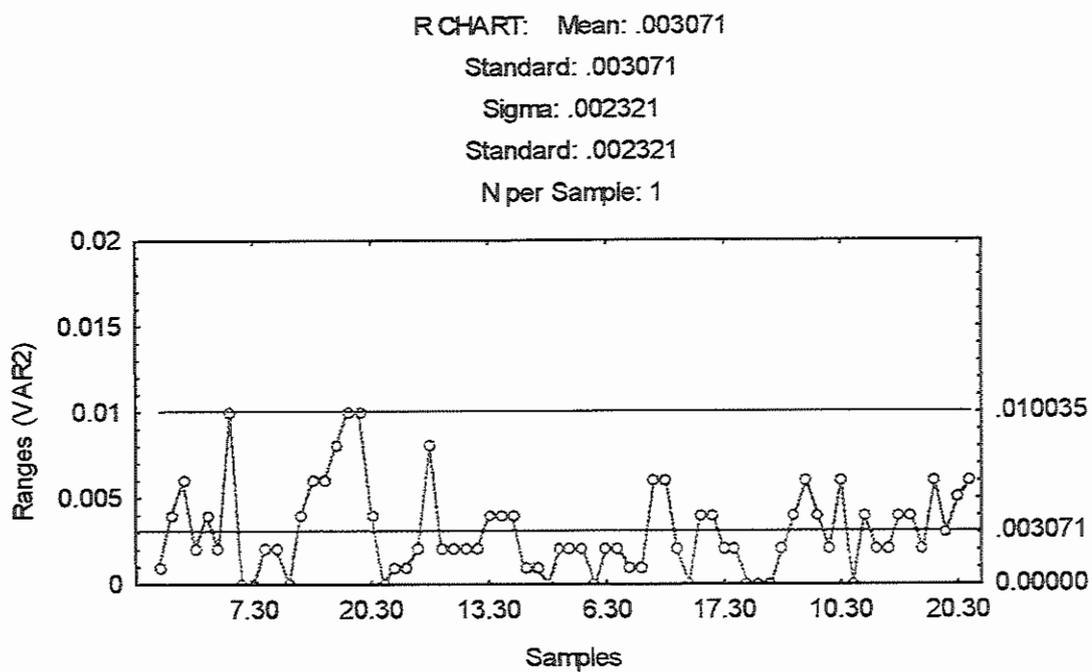


FIGURA 1.43 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Passadeira 02 - Cabeça 01

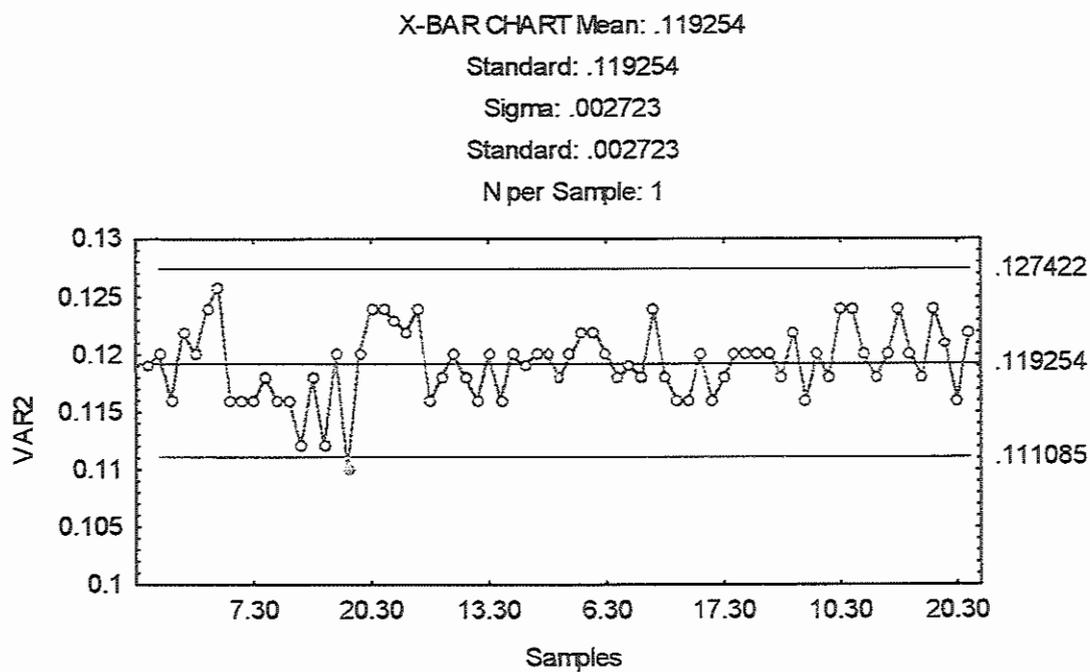


FIGURA 1.44 - Gráfico de \bar{x} : Passadeira 02 - Cabeça 01

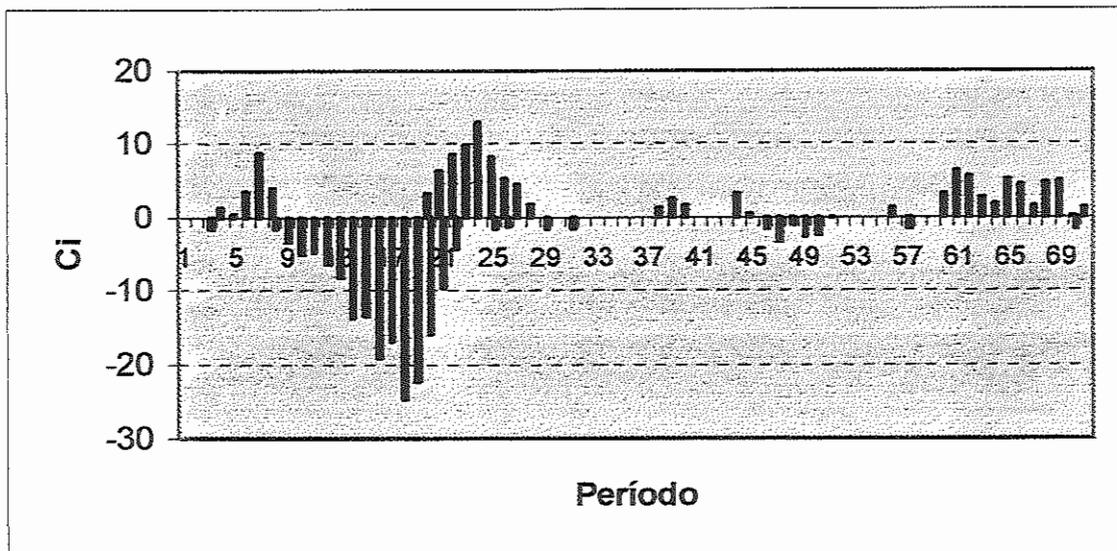


FIGURA 1.45 - Gráfico Cusum Tabular: Passadeira 02 - Cabeça 01

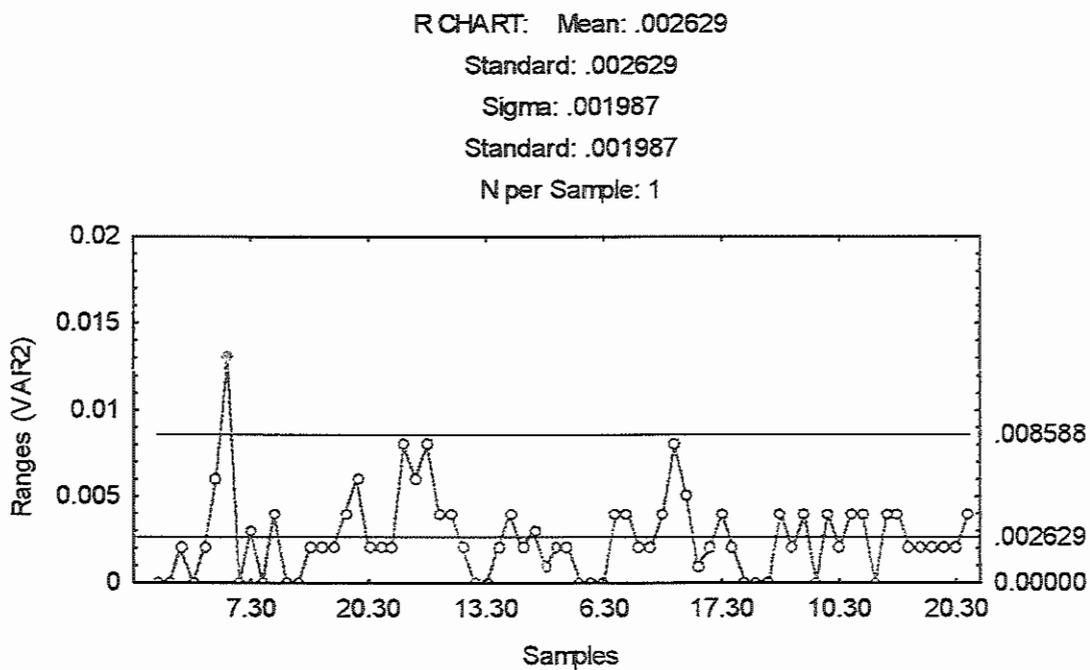


FIGURA 1.46 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Passadeira 02 - Cabeça 02

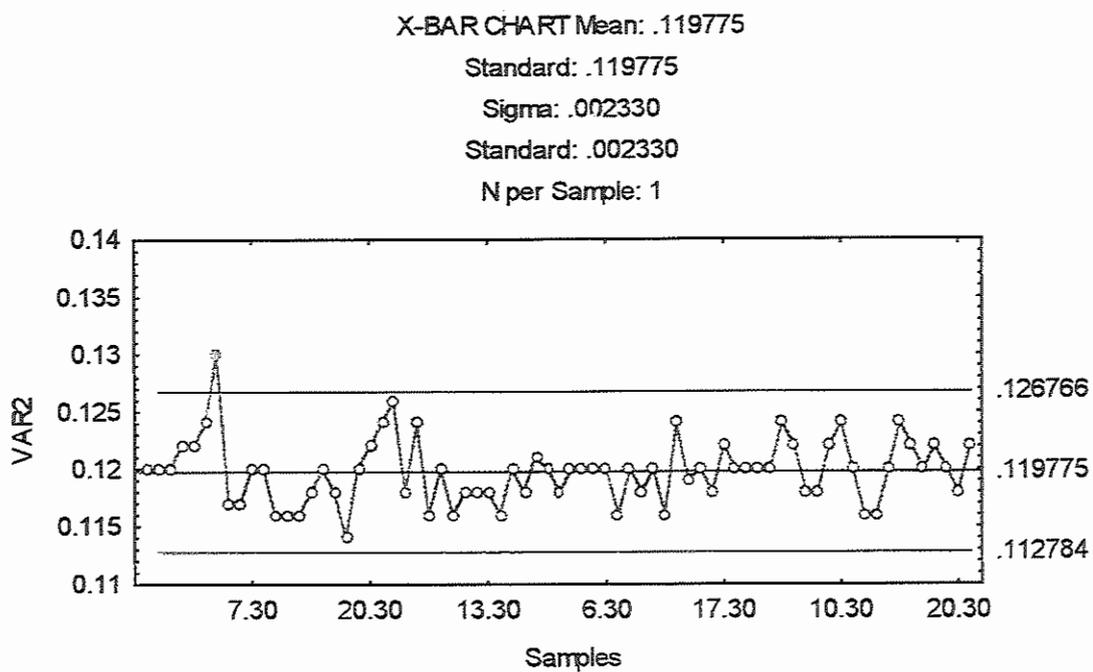


FIGURA 1.47 - Gráfico de \bar{x} : Passadeira 02 - Cabeça 02

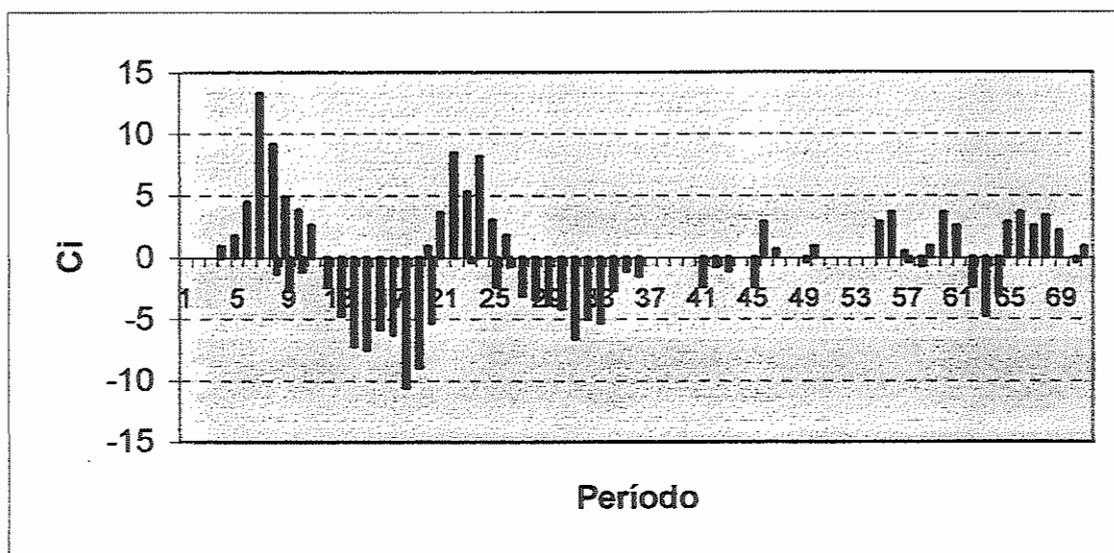


FIGURA 1.48 - Gráfico Cusum Tabular: Passadeira 02 - Cabeça 02

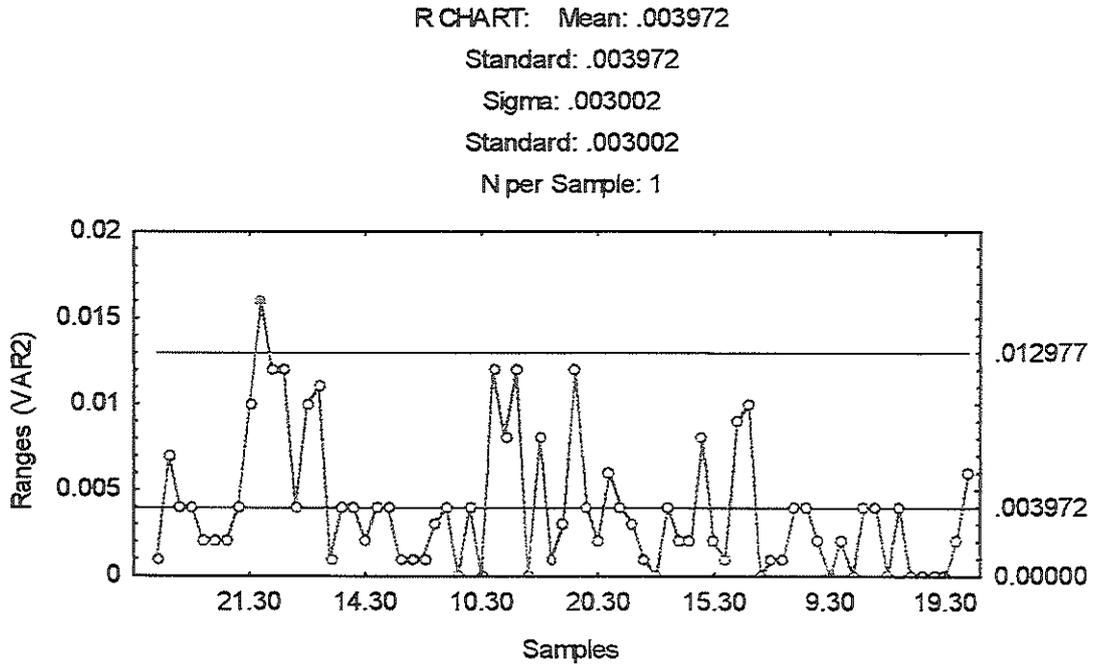


FIGURA 1.49 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Passadeira 03 - Cabeça 01

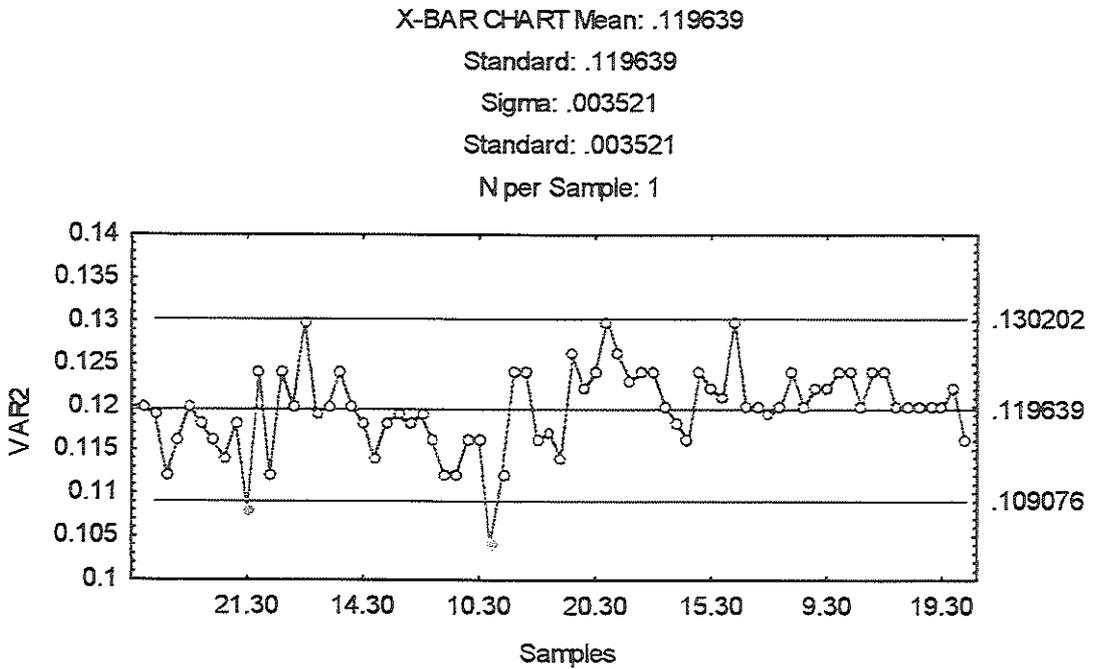


FIGURA 1.50 - Gráfico de \bar{x} : Passadeira 03 - Cabeça 01

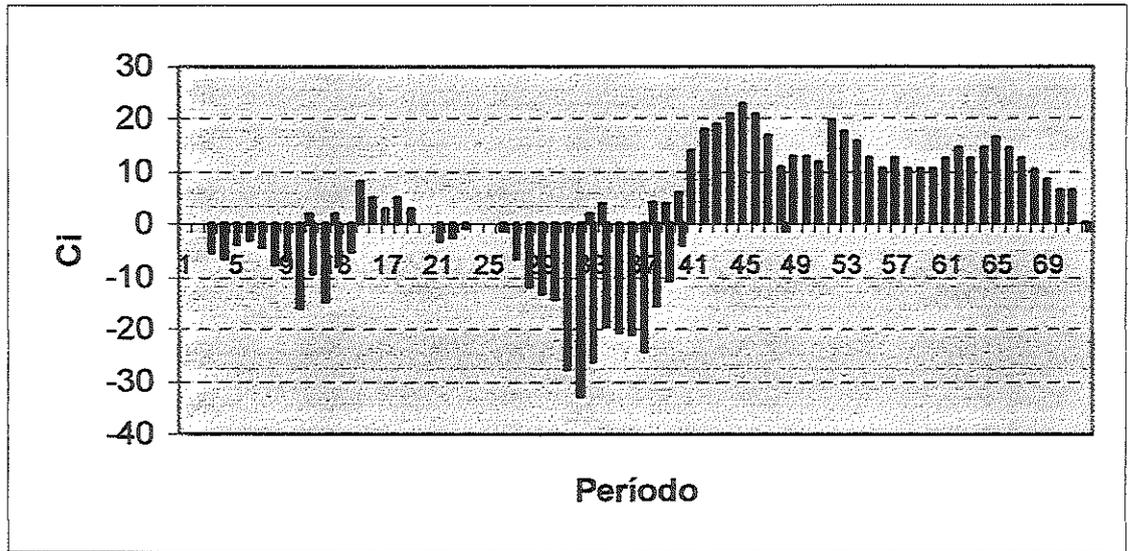


FIGURA 1.51 - Gráfico Cusum Tabular: Passadeira 03 - Cabeça 01

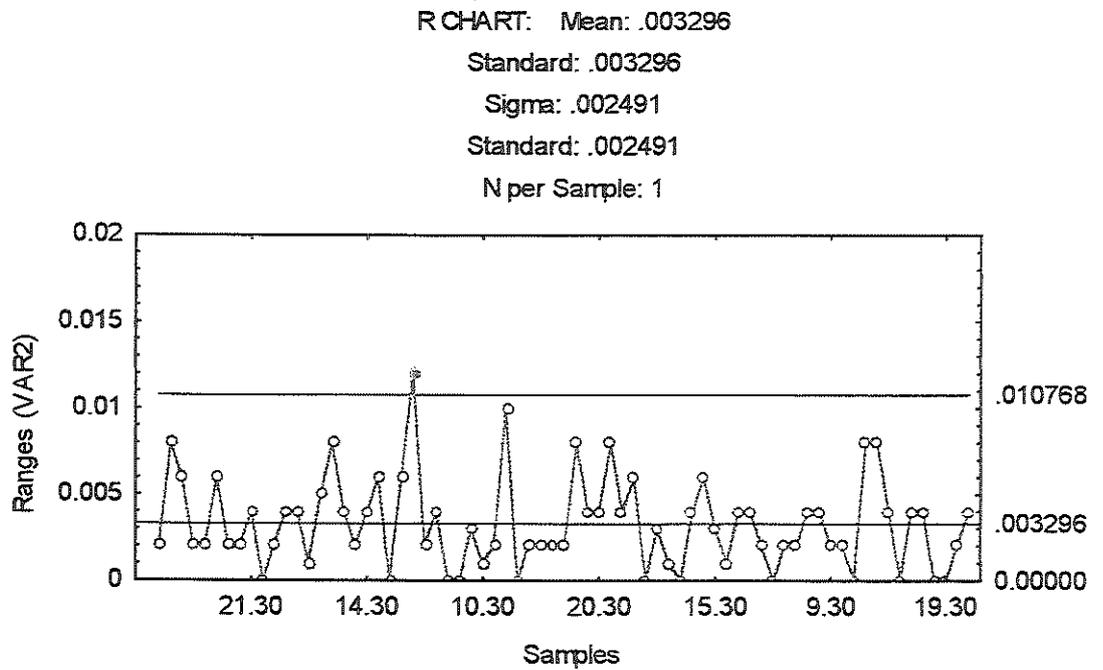


FIGURA 1.52 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Passadeira 03 - Cabeça 02

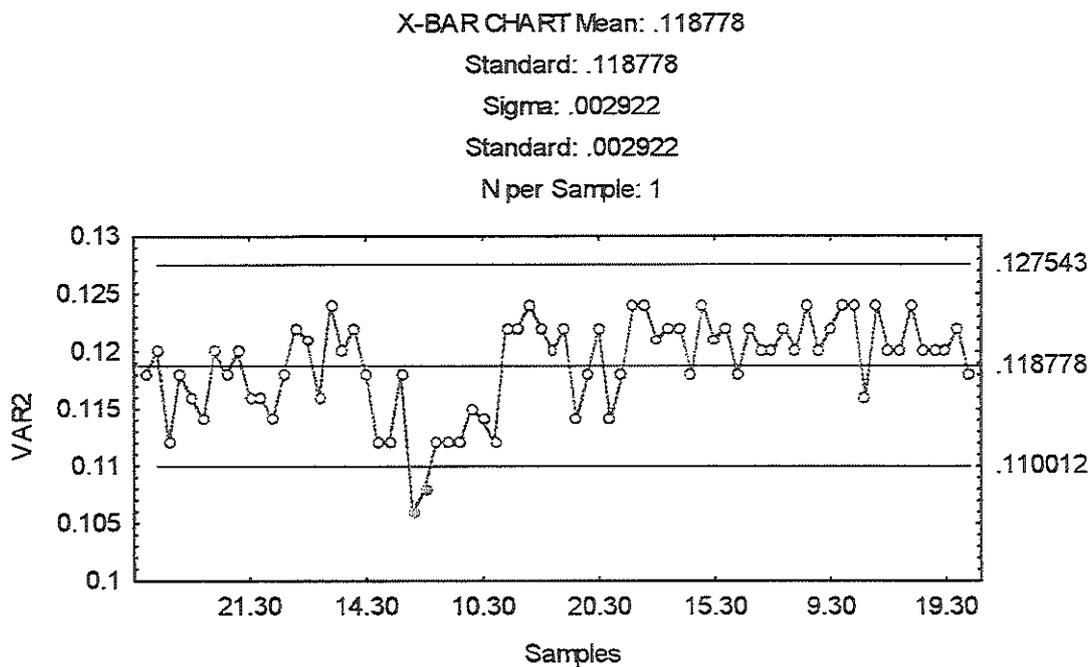


FIGURA 1.53 - Gráfico de x: Passadeira 03 - Cabeça 02

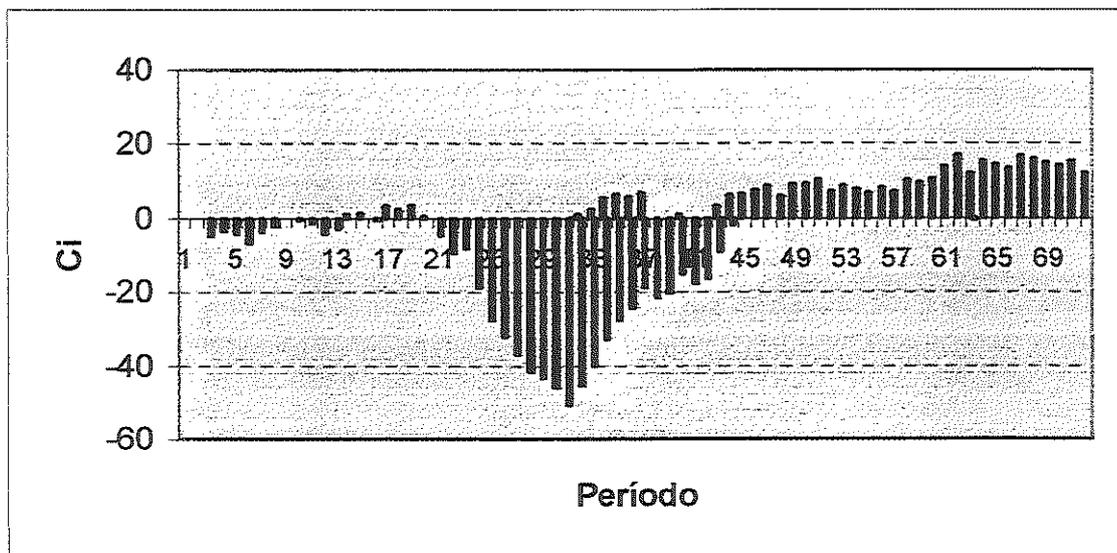
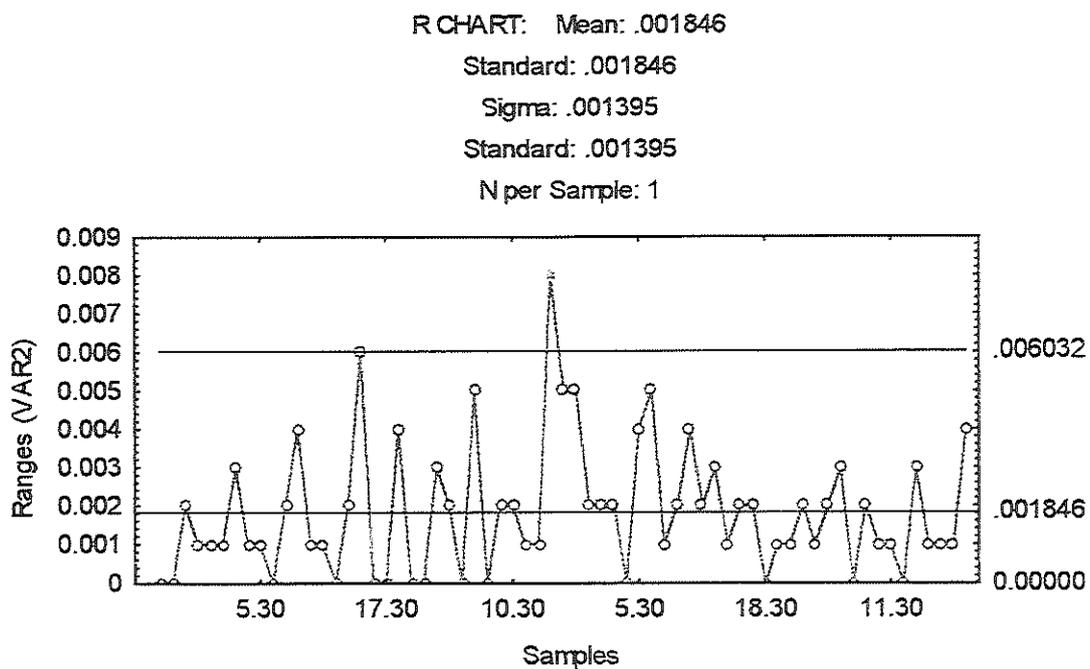
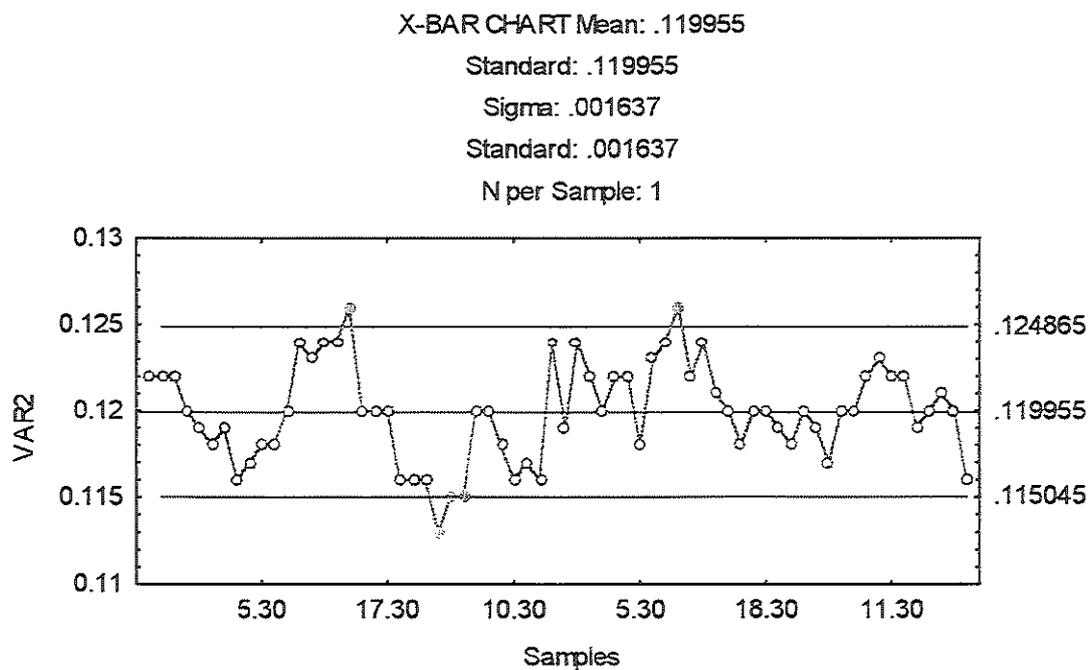


FIGURA 1.54 - Gráfico Cusum Tabular: Passadeira 03 - Cabeça 02

FIGURA 1.55 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Passadeira 04 - Cabeça 01FIGURA 1.56 - Gráfico de \bar{x} : Passadeira 04 - Cabeça 01

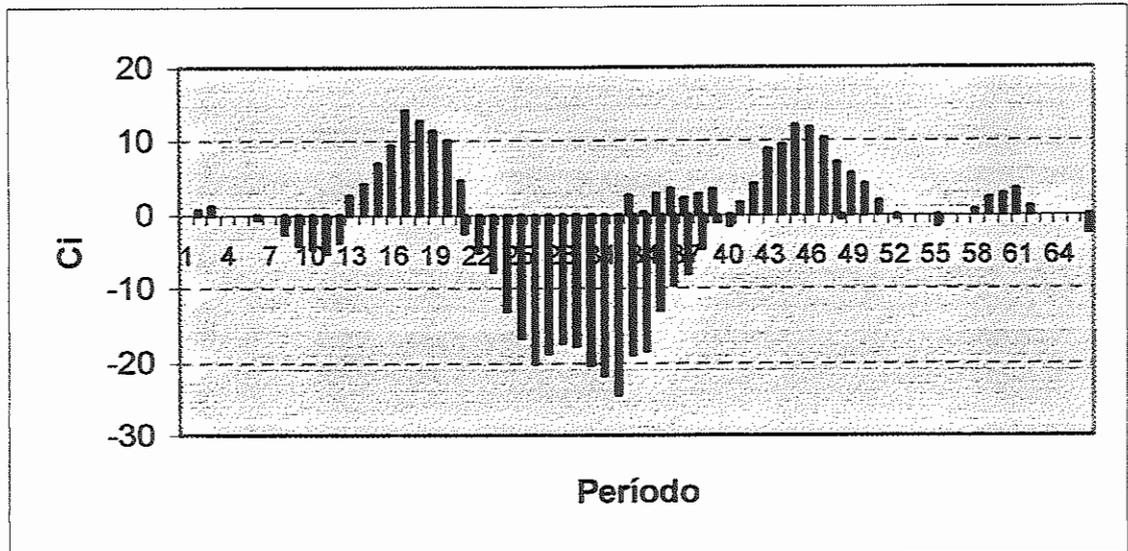


FIGURA 1.57 - Gráfico Cusum Tabular: Passadeira 04 - Cabeça 01

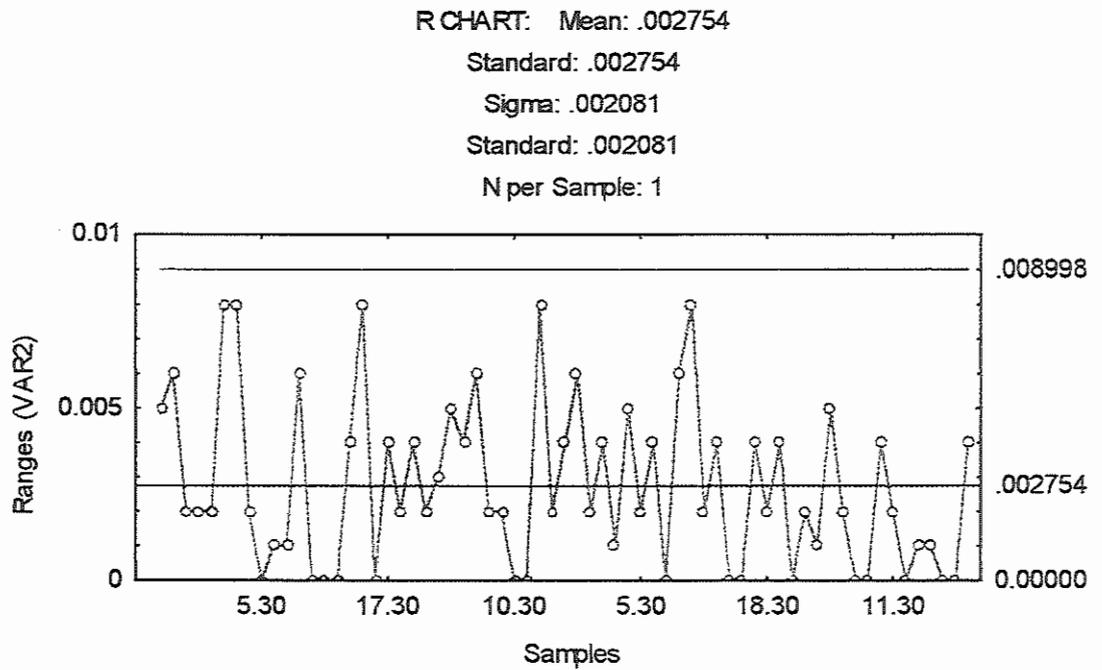


FIGURA 1.58 - Gráfico de Amplitude Móvel, R_m : Passadeira 04 - Cabeça 02

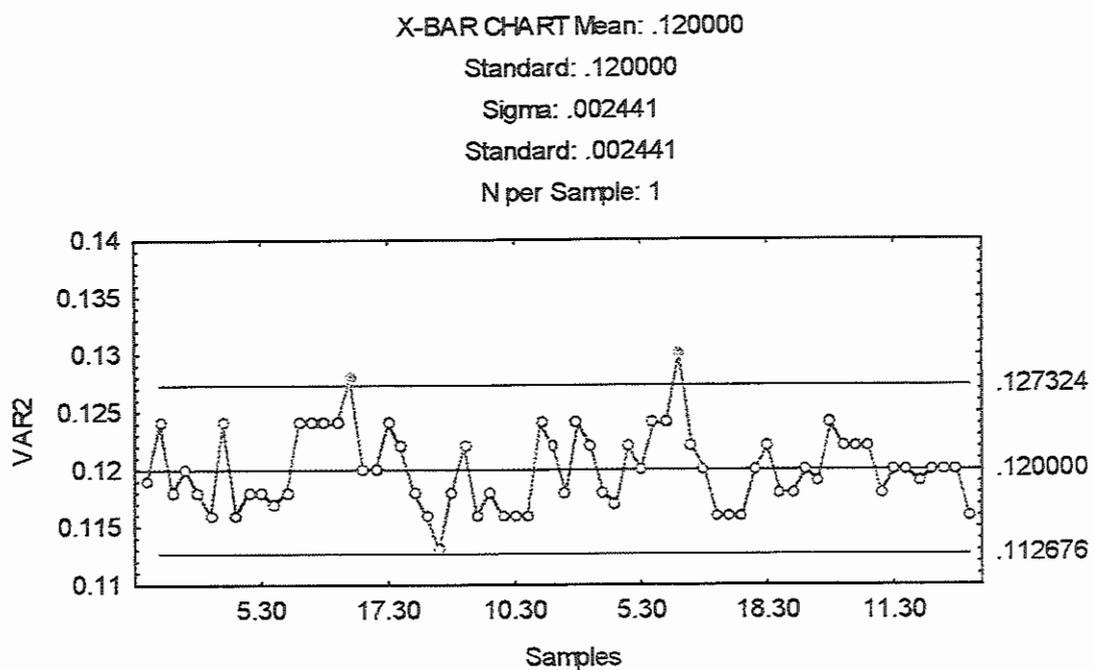


FIGURA 1.59 - Gráfico de \bar{x} : Passadeira 04 - Cabeça 02

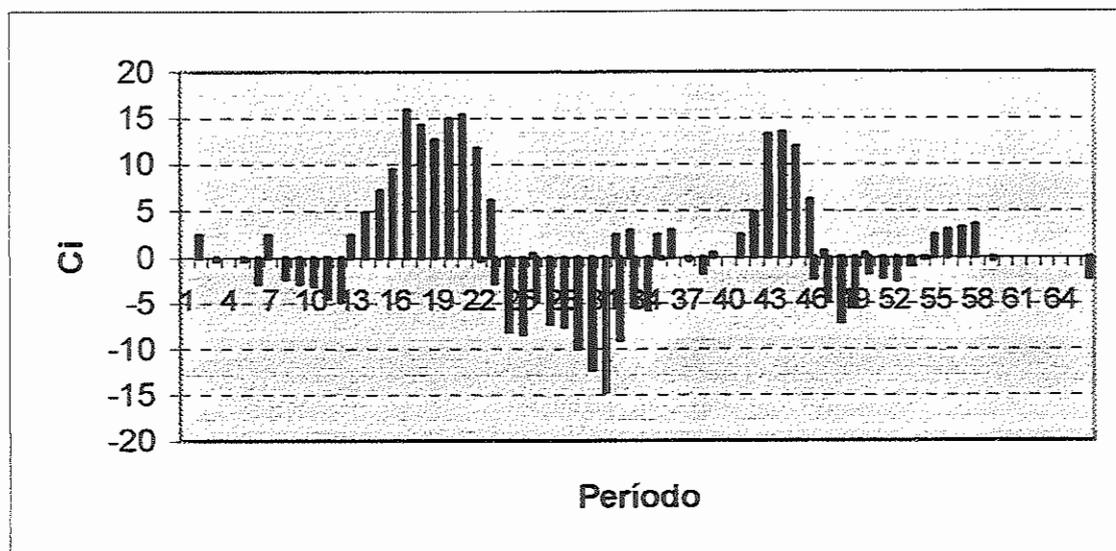


FIGURA 1.60 - Gráfico Cusum Tabular: Passadeira 04 - Cabeça 02

ANEXO C - TERCEIRA COLETA DE DADOS: GRÁFICOS CARDAS

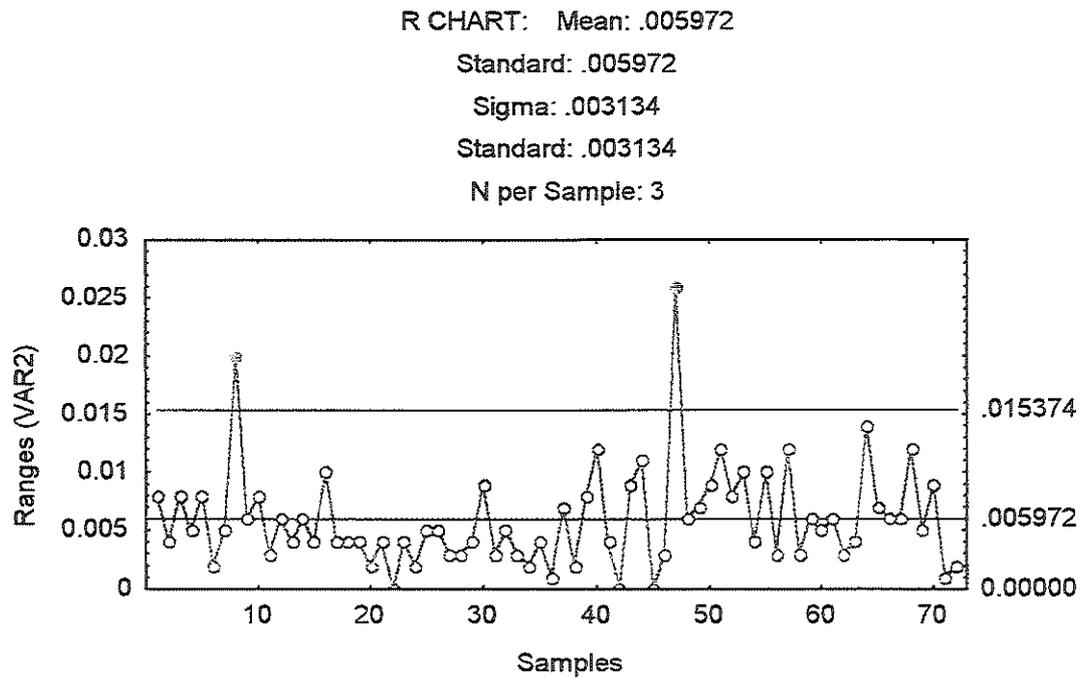


FIGURA 1.1 - Gráfico de R: Carda 06

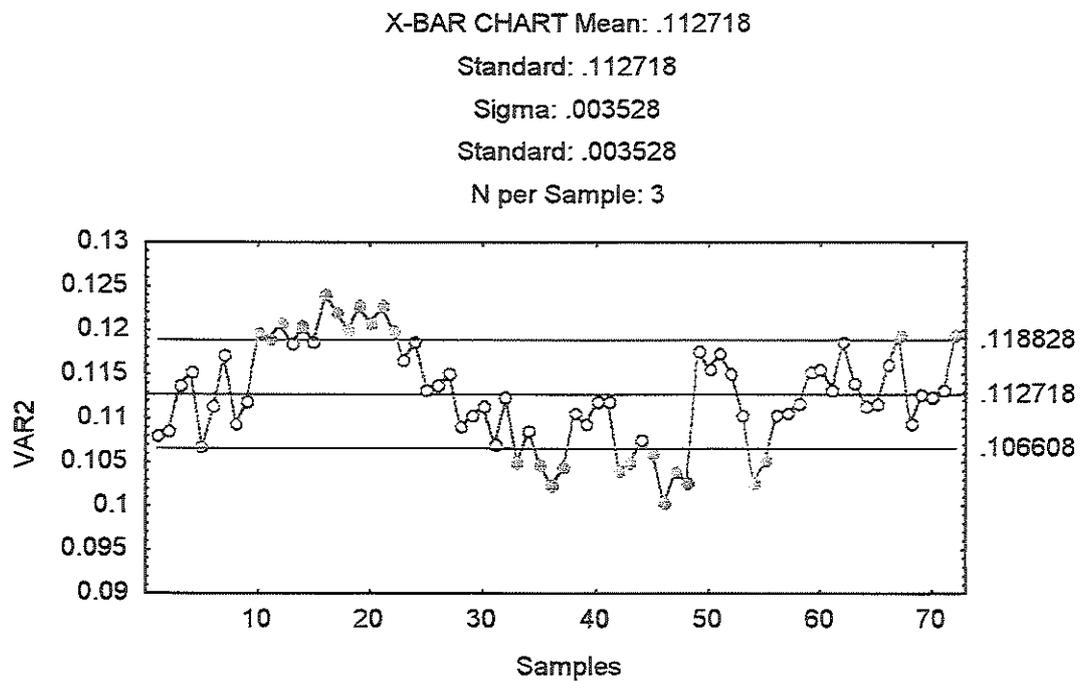


FIGURA 1.2 - Gráfico de \bar{x} : Carda 06

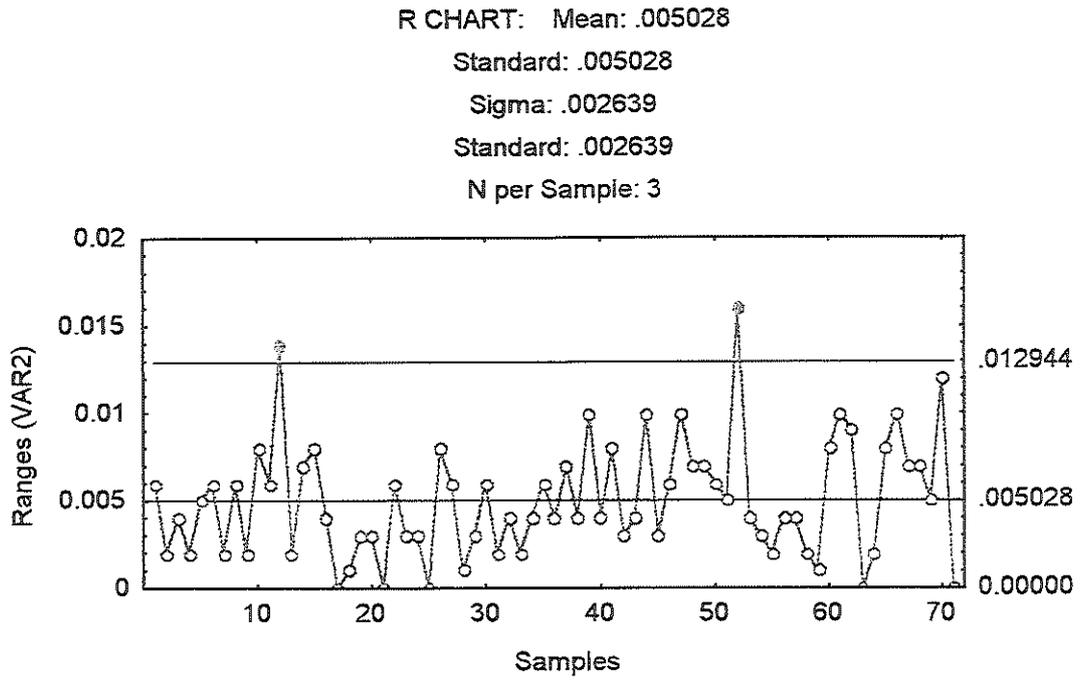


FIGURA 1.3 - Gráfico de R: Carda 07

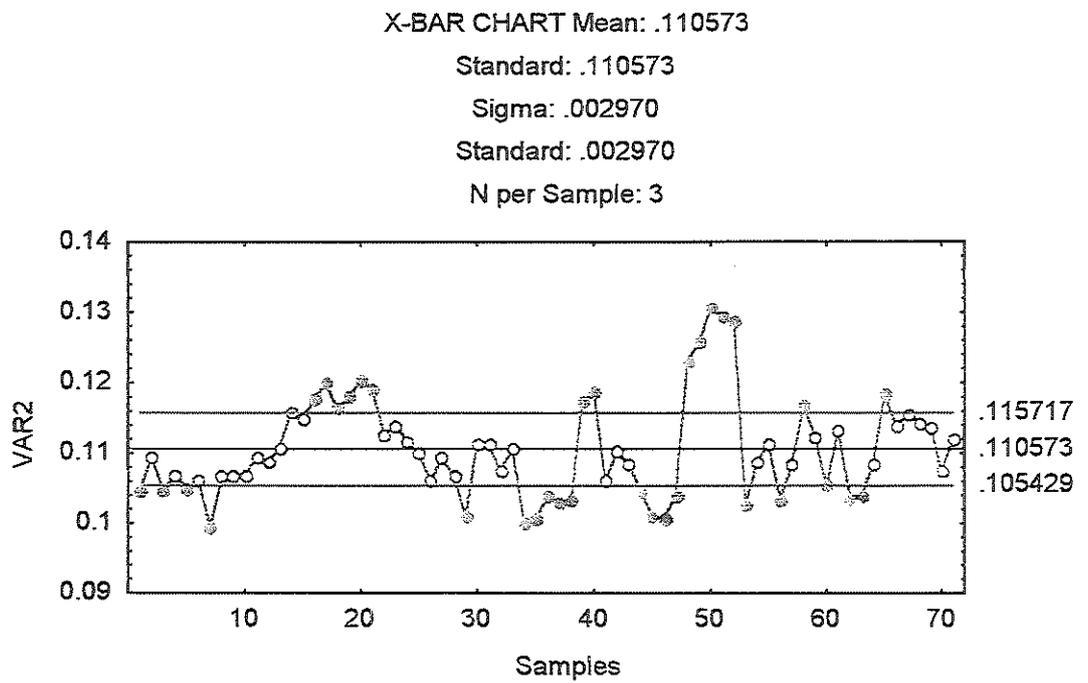


FIGURA 1.4 - Gráfico de \bar{x} : Carda 07

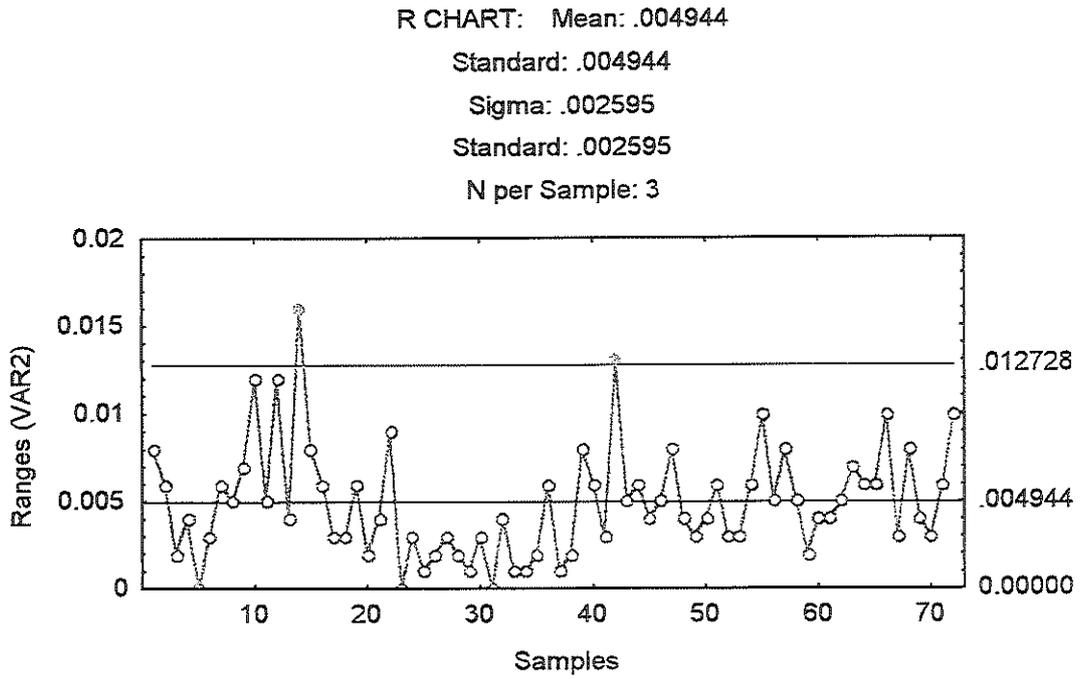


FIGURA 1.5 - Gráfico de R: Carda 11

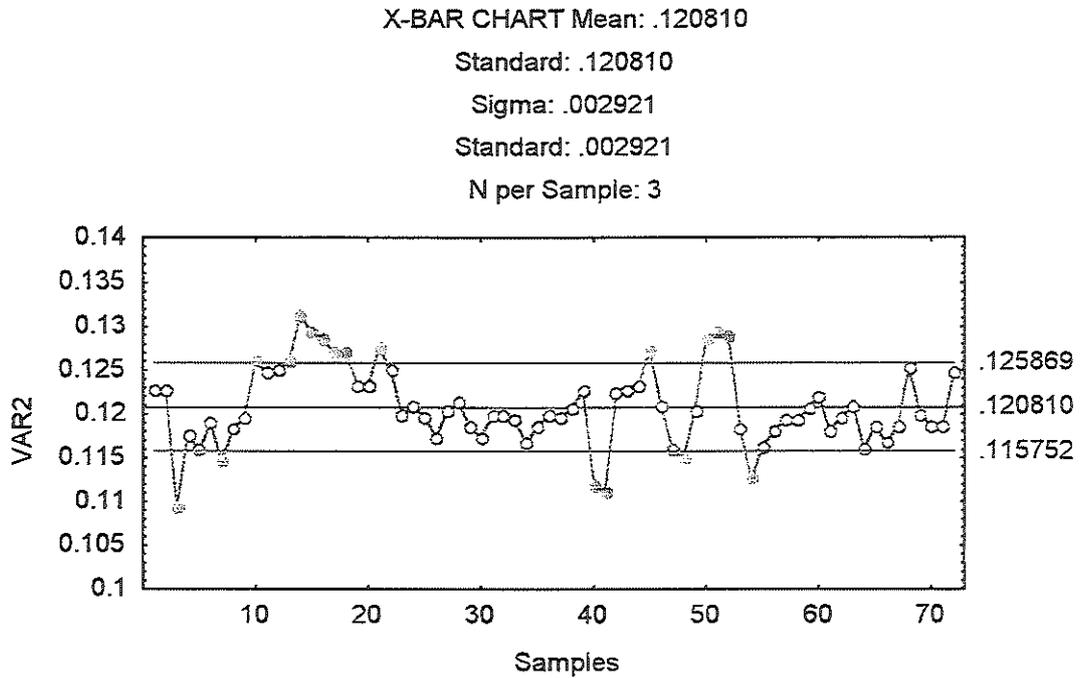
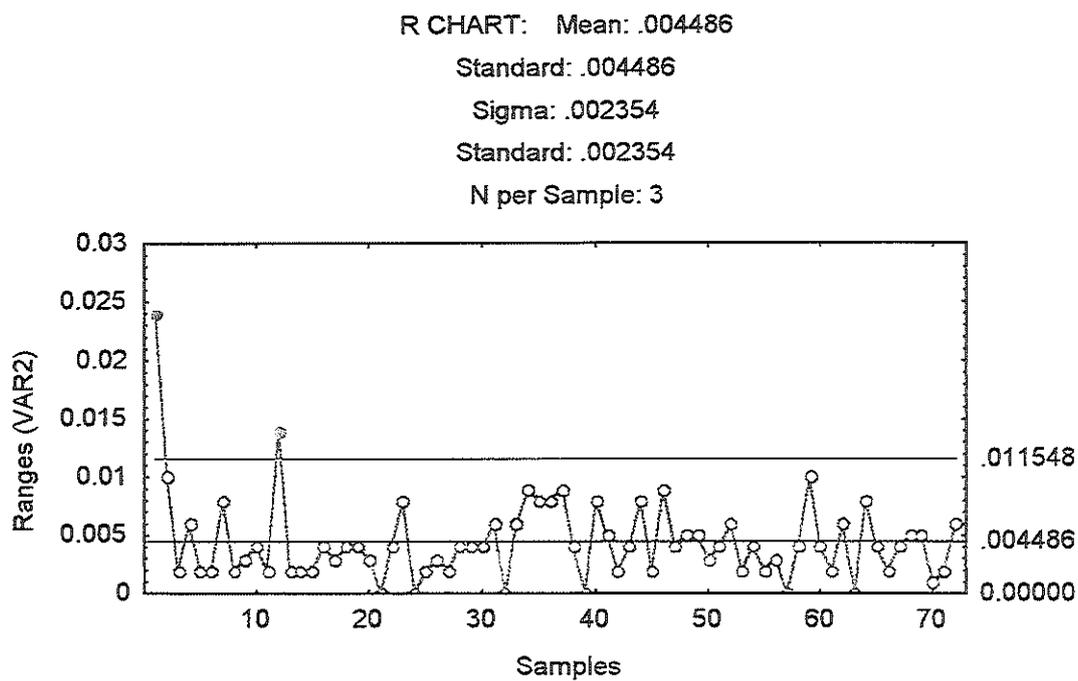
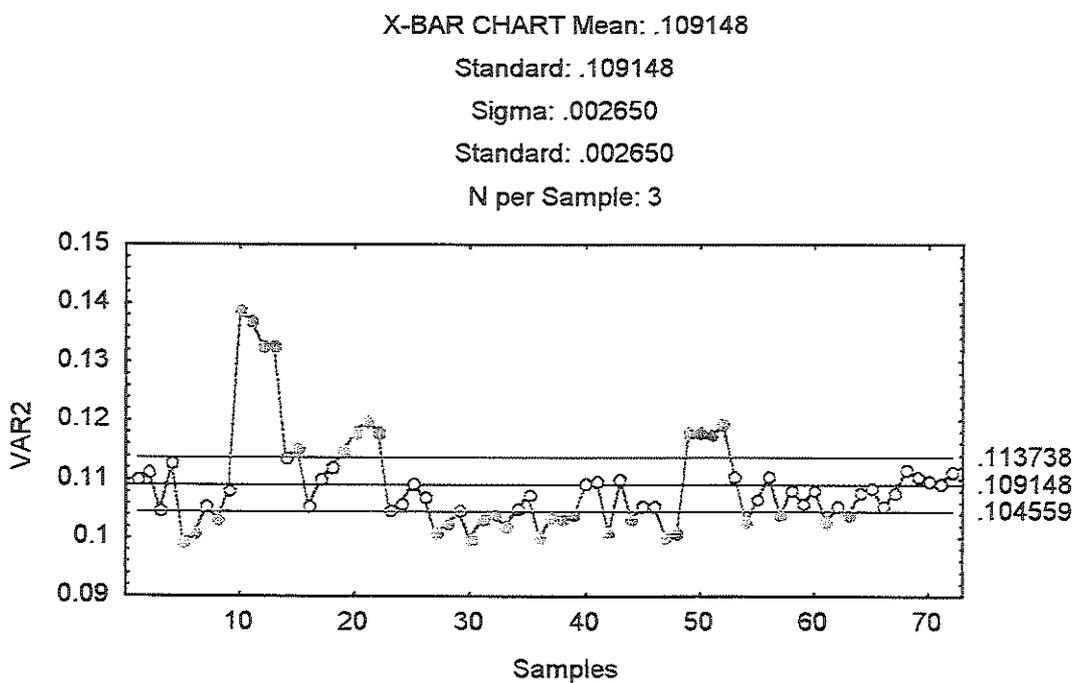


FIGURA 1.6 - Gráfico de \bar{x} : Carda 11

FIGURA 1.7 - Gráfico de R : Carda 12FIGURA 1.8 - Gráfico de \bar{x} : Carda 12

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, R. A.; LEAMAN, D. C. *Quality Control and Quality Assurance: The Encyclopedia of Management*, 3° ed., New York, 1982.
- ABERNATHY, W. J.; CORCORAN, J. E. *Relearning from the Old Masters: Lessons of the American System of Manufacturing*, Journal of Operations Management, Agosto, 1983.
- ALVAREZ, J. M.; RAHMILEVITZ, A. *CIM têxtil sistemas informatizados de apoio a produção*. SENAI/CETIQT, Rio de Janeiro, 1988.
- ARAÚJO, M. & CASTRO, E. M. M. *Manual de engenharia têxtil - volumes I, II e III*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1984.
- BICKING, C. A. *The Thecnical Aspects of Quality Control*, Industrial Quality Control, Março, 1958, p. 7.
- CARPINETTI, L. C. R. *Controle da Qualidade*, Apostila - USP - Escola de Engenharia de São Carlos, 1998.
- CHANDLER, A. D. JR. *The Visible Hand*, Cambridge, Mass.: Belknap Press, Harvard University Press, 1977, pp. 50-64.
- DODGE, H. F. *Notes on Evolution of Acceptance Sampling Plans Part II*, Journal of Quality Tecnology, Julho, 1969.
- DEVOR, R.; CHANG, T. E SUTHERLAND, J. W. *Statistical Quality Design and Control*. Macmillan Pub. Co., NY, 1992.
- FEIGENBAUM, A. V. *Total Quality Control*, New York, McGraw-Hill, 1961.
- GARVIN, D. A. *A Note on Quality: The Views of Deming, Juran and Crosby*. Boston MA, HBS Case Services, Harvard Business School, 1986.
- GARVIN, D. A. *Managing Quality*, Harvard Busuness Reviw, 1988.
- GRANT, E. L.; LEAVENWORTH, R. S. *Statistical Quality Control*, 5° ed., New York, McGraw-Hill, 1980.
- HOUNSHELL, D. A. *From American System to Mass Production*, Baltimore: Johns Hopkins Press, 1984.
- ISHIKAWA, K. *TQC: Total Quality Control: Estratégia e Administração da Qualidade*. São Paulo, IMC, 1985.

- ISHIKAWA, K. *Introduction to Quality Control*. Chapman & Hall, 1989.
- JOHNSON, L. A.; MONTGOMERY, D. C. *Operations research in production planning and control*. New York: John Wiley & Sons, 1974.
- JURAN, J. M. *Consumerism and Product Quality*, Revista Quality Progress, Julho de 1984.
- JURAN, J. M. *Juran na Liderança pela Qualidade*. 2.ed. São Paulo, Pioneira, 1993.
- JURAN, J. M. *Quality Control Handbook*, New York, McGraw-Hill, 1951.
- JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. JR. *Quality Planning and Analysis*, New York, McGraw-Hill, 1980.
- KUME, H. *Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade*. 5.ed. São Paulo, Gente, 1993.
- MIRANDA, J. M. S. *A indústria em análise*. Revista Textília. nº 18, p.16-22, Editora Braasil Têxtil, Brasil, 1995.
- MONTGOMERY, D. C. *Introduction to Statistical Quality Control*. New York: John Wiley & Sons, 1991
- NBR ISO 9000-1 *Sistema da Qualidade - Diretrizes para Seleção e Uso*. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1994.
- NEVES, J. S. M. F. *Indústria e comércio dos têxteis*. Lopes da Silva Editora, Porto, Portugal, 1987.
- OLIVEIRA, D. H. *Uma contribuição ao domínio da tecnologia têxtil através do desenvolvimento de um software CAD para automação do processo de padronagem de tecidos planos*. São Carlos, 1997, 210 pp. Dissertação Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
- RADFORD, G. S. *The Control of Quality in Manufacturing*, New York, Ronald Press, 1922.
- SAFFORD, H. F. *The U. S. Army Ordnance Department Use of Quality Control*, Industrial Quality Control, Janeiro, 1946.
- SATO, H. *Máquinas: o alicerce para a industrialização*. Revista Textília, nº 18, p.24-27, Editora Brasil Têxtil, Brasil, 1995.
- SILLY, J. A. R. *Produtividade dependente de tecnologia*. Revista Textília, nº 16, p.68-72, Editora Brasil Têxtil, Brasil, 1995.
- TAYLOR, F. W. *Shop Management*, New York: Harper & Brothers, 1919.

TAGUCHI, G.; ELSAYED, E.; HSIANG, T. *Taguchi - Engenharia da Qualidade em Sistemas de Produção*. São Paulo, McGraw-Hill, 1990.

WERKEMA, M. C. C. *TQC: Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos*. Belo Horizonte, Fundação Christiano Ottoni, 1995.

WOMACK, J. P.; JONES, D.; ROOS, D.; CARPENTER, D. *The Machine That Changed The World*, Copyright, 1990.