

CARLA MARQUES XAVIER

IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO  
EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE ROLAMENTOS

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Orientador(a): Prof<sup>ª</sup> Eng. Silvia Regina Dornelles Souza

Porto Alegre  
2004



Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Departamento de Engenharia Mecânica

IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO  
EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE ROLAMENTOS

CARLA MARQUES XAVIER

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS RE-  
QUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
ENGENHEIRO(A) MECÂNICO(A)  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Francis Henrique Ramos França  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

*BANCA EXAMINADORA:*

Prof. Dr. DARCI BARNECH CAMPANI  
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. JOSÉ ANTÔNIO ESMÉRIO MAZZAFERRO  
UFRGS / DEMEC

Prof. JUAN CARLOS SANDOVAL ORTIZ  
UFRGS / DEMEC

Porto Alegre  
2004

" Quanto mais fazemos, mais somos capazes de fazer."  
**William Hazut**

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer:

À minha mãe *Liane*, que sempre incentivou meus estudos.

À minha orientadora, *Prof<sup>a</sup> Eng. Silvia Regina Dornelles Souza* que me aconselhou e auxiliou durante a elaboração da pesquisa.

À RIKES Indústria e Comércio de Peças para Máquinas Ltda., em particular na pessoa do engenheiro Delmonte Nunes Friedrich, pelos dados utilizados no estudo de caso e principalmente pela colaboração na solução de dúvidas pertinentes ao rolamento em estudo.

Este trabalho contou com apoio da entidade:

- RIKES Indústria e Comércio de Peças para Máquinas Ltda.

XAVIER, C. M. IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE ROLAMENTOS. 2004. 20f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

## RESUMO

Neste trabalho apresentou-se a implantação do Controle Estatístico de Processo (CEP) na linha de produção de Rolamentos. A crescente exigência, na relação entre fornecedor e cliente, nos índices de garantia da qualidade, faz com que o CEP seja cada vez mais adotado nas indústrias. Objetivando reduzir o número de rolamentos defeituosos, devolvidos para análise técnica, desejou-se controlar as variações significativas nas dimensões das peças que compõem os rolamentos, estudar suas causas e prevenir ocorrências buscando melhoria na qualidade do produto. Inicialmente, escolheu-se o rolamento mais devolvido por apresentar problemas. Com a descrição de seu processo de fabricação, realizou-se a coleta e organização dos dados finalizando com a análise das possíveis causas das variações, considerando-se as influências que o sistema de medição tem sobre os dados. Dessa forma foi possível agir adequadamente a fim de alcançar e manter um nível de capacidade e estabilidade no processo.

PALAVRAS-CHAVE: Controle Estatístico de Processo, Rolamentos, Qualidade, Processo.

XAVIER, C. M. STATISTICAL PROCESS CONTROL IMPLEMENTATION IN A BEARING PRODUCTION LINE. 2004. 20f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

#### ABSTRACT

This paper presents the Statistical Process Control (SPC) implementation in a bearing production line. The increasing requirements for quality assurance indexes within the supplier and customer relation makes SPC even more adopted in the industry. Targeting to reduce the quantity of defective bearings returned to technical analysis, we shall control the dimensions of the bearing components, identify the causes and prevent the occurrences pursuing the product quality improvement. Initially the bearing with the most occurrences is chosen and the production process described, a data collection sorted out, ending with the analysis of possible variation causes, taking into consideration the influences that the measurement system has on data. This way it will be possible to act properly in order to achieve and maintain the required level of capability and stability in the process.

KEYWORDS: Statistical Process Control, Bearings, Quality, Process.

## SUMÁRIO

ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 Conceito	9
2.2 - Carta de Controle	9
2.3 - Análise da Estabilidade do Processo	11
2.4 - Capacidade do Processo	12
2.5 - Análise de Capacidade do Sistema de Medição	14
3. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	16
3.1 Avaliação do Sistema de Medição	19
4. RESULTADOS E ANÁLISES	20
4.1 Leituras	20
4.2 Gráficos	20
4.3 Análise de Estabilidade	21
4.4 Análise de Capacidade do Processo e do Sistema de Medição	22
5. CONCLUSÕES	24
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	25
ANEXOS	26

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente exigência, na relação entre fornecedor e cliente, na garantia da qualidade, faz com que o Controle Estatístico de Processo (CEP) seja cada vez mais adotado pelas indústrias. Dessa forma é possível agir adequadamente a fim de alcançar e manter um nível de capacidade e estabilidade do produto. Em função dessa constatação, o CEP é proposto para redução do número de rolamentos defeituosos, devolvidos para análise técnica, onde se deseja controlar as variações significativas nas dimensões das peças que compõem os rolamentos, estudando as causas, prevenindo ocorrências e assim melhorando a qualidade do produto.

Este trabalho apresenta e conceitua o Controle Estatístico de Processo (CEP), discorrendo-se sobre: interesse, atualidade e relação com o Controle de Qualidade na indústria. Após será apresentado o Estudo de Caso na implantação do Controle Estatístico de Processo (CEP) na “RIKES Indústria e Comércio de Peças para Máquinas Ltda.” mostrando os resultados obtidos, e finalmente, sumarizam-se as conclusões decorrentes das análises realizadas anteriormente.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONCEITO

O Controle Estatístico de Processo (CEP) trata do uso de métodos estatísticos em todos os estágios considerados críticos, ou de muita importância, no desenvolvimento de um projeto e/ou da produção. Segundo Montgomery (1991), o principal objetivo do CEP é, monitorar o desempenho de processos ao longo do tempo e, detectar eventos incomuns que influenciem nas propriedades determinantes da qualidade do produto final. Uma vez encontradas as causas especiais responsáveis pelo evento incomum, melhorias no processo e na qualidade dos produtos podem ser sugeridas.

Conforme Werkema (1995), quando fabricamos um produto (bem ou serviço), as características deste produto irão apresentar uma variação inevitável, devido às mudanças sofridas pelos fatores que compõem o processo produtivo. Essas variações podem resultar de diferenças entre máquinas, mudanças nas condições ambientais, variações entre lotes de matérias-primas, diferenças entre fornecedores, etc. Apesar de um esforço considerável ser, especificamente, direcionado para controlar as variantes de cada um desses fatores, existirá sempre a variabilidade no produto acabado. Assim, para que sejam fabricados produtos com boa qualidade, é importante que essa variabilidade também seja controlada.

Walter Shewhart (1924), um físico dos Laboratórios da Bell Telephone, com o objetivo de controlar a variabilidade dos processos, introduziu a Carta de Controle implementando melhorias no processo. Segundo Siqueira (1997), Shewhart classificou a variabilidade como sendo provocada por causas comuns (pequenas variações aleatórias inerentes ao processo) e por causas especiais ou assinaláveis (presença de eventos anormais no processo que prejudicam a qualidade do produto).

De acordo com Hradesky (1998), a principal vantagem proporcionada pelo CEP é a realimentação de informações sobre o próprio processo em tempo real, tal realimentação deve ser contínua e estatisticamente fundamentada.

### 2.2 CARTAS DE CONTROLE

A Carta de Controle (Figura 1) é um gráfico de acompanhamento com três linhas horizontais: a superior (Limite Superior de Controle - LSC), a média (média do processo) e a inferior (Limite Inferior de Controle - LIC). No processo de construção, desses limites, são usados em geral  $\pm 3\sigma$  (desvio padrão), que pode ser justificado, pelos bons resultados obtidos na prática, com o nível de confiança estabelecido de 99,73% na análise dos dados.

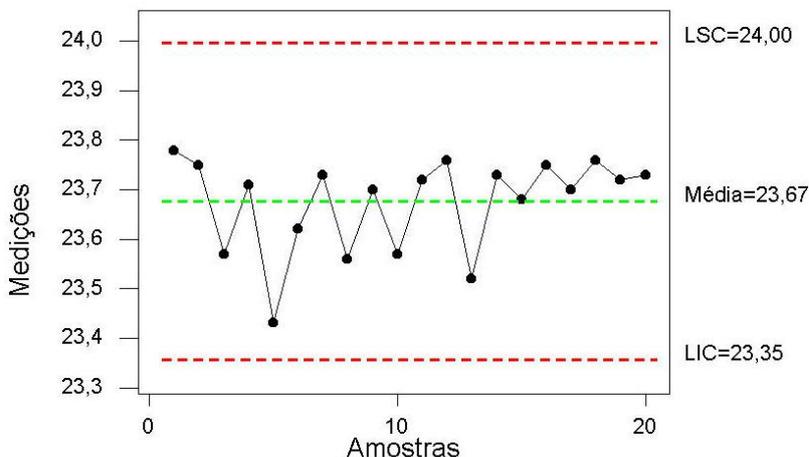


Figura 1 – Exemplo de Carta de Controle

Neste trabalho, serão adotadas as Cartas de Controle para Variáveis, pois se trata de características de qualidade que são mensuráveis, como as dimensões das peças que compõem os Rolamentos. Segundo Montgomery (1991), na prática, as Cartas de Controle para Variáveis, mais utilizadas, são as da Média e Amplitude ( $\bar{X}$  e R), as médias amostrais ou valor alvo de uma variável é monitorado através da Carta  $\bar{X}$ . A Carta R é utilizada para monitorar a variabilidade do processo, a partir de amplitudes amostrais.

As amostras coletadas serão divididas conforme Siqueira (1997), que propõe um subgrupo como sendo uma divisão racional da amostra coletada, de modo a facilitar a identificação de uma possível causa especial que seja assinalada na Carta de Controle.

Inicialmente, calcula-se a média ( $\bar{X}$ ) e a amplitude (R) de cada subgrupo (Brassard, 1985):

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (\text{eq. 1})$$

onde

$n = n^\circ$  elementos ou observações na amostra.

$$R = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}} \quad (\text{eq. 2})$$

Em seguida, calcula-se a média da amplitude ( $\bar{R}$ ) e a média do processo ( $\bar{\bar{X}}$ ):

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k} \quad (\text{eq. 3})$$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (\text{eq. 4})$$

onde,  $k$  é o  $n^\circ$  de subgrupos.

Cálculo dos Limites de Controle (ver tabela 1):

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \cdot \bar{R} \quad (\text{eq. 5})$$

$$LSC_R = D_4 \cdot \bar{R} \quad (\text{eq. 6})$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \cdot \bar{R} \quad (\text{eq. 7})$$

$$LIC_R = D_3 \cdot \bar{R} \quad (\text{eq. 8})$$

Nº de Observações no sub-grupo(n)	Fatores para Carta $\bar{X}$	Fatores para Carta R	
	A <sub>2</sub>	Inferior D <sub>3</sub>	Superior D <sub>4</sub>
2	1,88	0	3,268
3	1,023	0	2,574
4	0,729	0	2,282
5	0,577	0	2,114
6	0,483	0	2,004
7	0,419	0,076	1,924
8	0,373	0,136	1,864
9	0,337	0,184	1,816
10	0,308	0,223	1,777

Tabela 1 – Tabela com os Valores dos Fatores A<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> e D<sub>4</sub> para o Cálculo dos Limites de Controle nas Cartas  $\bar{X}$  - R (Ribeiro & Caten, 2001)

As amostras, a partir das quais serão executadas as Cartas de Controle, deverão ser extraídas junto à linha de produção, em séries curtas, sendo de grande importância o registro e a identificação das observações em ordem cronológica.

Não existe uma regra para definir o tamanho e o número de subgrupos para se construir uma Carta de Controle. Essa definição deve levar em conta o volume de produção, o custo da inspeção e a importância da informação. A Tabela 2, retirada da Norma NBR-5429 e mostrada a seguir, também pode ser usada para auxiliar nessa definição. Por exemplo, se um processo produz 4000 peças por dia, será necessário inspecionar 60 peças por dia; se o tamanho do subgrupo for 4, serão necessários 15 subgrupos de 4 peças cada.

Tamanho do Lote	Tamanho da Amostra
66-110	10
111-180	15
181-300	25
301-500	30
501-800	35
801-1300	40
1301-3200	50
3201-8000	60
8001-22000	85

Tabela 2 – Tamanho da Amostra  
(Norma NBR-5429, normal, nível IV, método do range).

### 2.3 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO PROCESSO

Uma vez definidos os limites de controle, os dados continuam sendo coletados e são plotados na carta de controle.

Se os pontos estão dentro dos limites de controle LIC e LSC, determinados estatisticamente e, a trajetória formada por estes pontos segue um padrão aleatório, assume-se que o processo está sob controle e nenhuma ação é necessária. Por outro lado, se um ponto sai dos limites de controle, a princípio, existe uma evidência de que o processo está fora de controle, isto é, pode existir uma ou mais causas especiais. Uma investigação e tomada de ações são necessárias.

Conforme Graça (1996), causas comuns são as que fazem parte da natureza do processo, sendo responsáveis pela sua variabilidade natural. Dificilmente são identificadas, geralmente sendo uma conjugação de diversas fontes de variação e fáceis de medir. São também dificilmente eliminadas devido aos custos, geralmente, necessitariam de intervenções gerenciais tais como: troca de máquina, alteração do produto, etc. Em um processo de produção bem projetado e cuidadosamente mantido, uma variação natural ou inerente sempre existirá. Esta variabilidade natural é o efeito acumulado de causas inevitáveis. Ou seja, causas comuns são inerentes ao processo.

Causas especiais são causas específicas, acidentais e imprevisíveis que podem afetar uma determinada operação da máquina, operador ou período de tempo. São facilmente identificadas, estão quase sempre no domínio do operador, gerente ou pessoal de apoio. As causas especiais quando detectadas devem ser prontamente eliminadas para não afetar o desempenho do processo.

## 2.4 CAPACIDADE DO PROCESSO

Conforme Siqueira (1997), capacidade é a medida da variabilidade de um processo estável em relação às especificações de projeto, ou seja, esse conceito está associado à capacidade de um processo de produzir produtos cujos resultados atendam às especificações de projeto. Segundo esse conceito, a classificação do processo quanto à sua capacidade é:

- Processo Capaz: quando os resultados das medições das características de controle estão dentro do intervalo especificado em projeto, ou seja, estatisticamente não estão sendo produzidos produtos defeituosos.
- Processo Incapaz: quando os resultados das medições das características de controle estão fora do intervalo especificado em projeto, ou seja, estatisticamente existem indicações que estão sendo produzidos produtos defeituosos.

Como definido intrinsecamente no conceito, não faz sentido avaliar a capacidade de processos fora do estado de controle estatístico. Assim, a capacidade de um processo só deve ser avaliada se a sua variação for devida apenas às causas comuns.

A maior vantagem na avaliação da capacidade do processo é a quantificação da variabilidade do mesmo. Logo, à medida que o CEP está sendo praticado é importante avaliar a capacidade do processo, para se quantificar os ganhos obtidos.

Dentre os métodos difundidos para avaliação, o usual é o que propicia o cálculo dos índices de capacidade  $C_p$  e  $C_{pk}$ . Para um processo representado por uma distribuição normal é comum utilizar uma dispersão  $6\sigma$  de referência. O índice de capacidade  $C_p$  é também denominado índice de capacidade potencial do processo sendo calculado da seguinte forma:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (\text{eq. 9})$$

Onde:

LSE - Limite Superior de Especificação do produto ou processo

LSI - Limite Inferior de Especificação do produto ou processo

$6\sigma$  - Capacidade do Processo

Observa-se que o denominador da fórmula representa a dispersão do processo (ou variabilidade), enquanto o numerador representa a tolerância especificada para o produto. Este índice é denominado potencial, pois compara apenas os tamanhos da dispersão do processo e do intervalo de tolerância do produto, não levando em consideração a posição relativa entre ambos.

Segundo Siqueira (1997), a análise do índice de capacidade é muito útil na tomada de decisões sobre a adequação do processo às especificações. Uma regra prática para esta análise é descrita a seguir:

- Processo Vermelho: ( $C_p < 1$ ) a capacidade do processo é inadequada à tolerância exigida. Nessa situação, o ideal é realizar o trabalho com outro processo mais adequado às especificações. Não sendo possível mudar o processo, deve-se tentar diminuir a sua variabilidade. Por último, resta a possibilidade de se alterar as especificações do produto.
- Processo Amarelo: ( $1 \leq C_p \leq 1,33$ ) a capacidade do processo está em torno da diferença entre as especificações e, o tratamento deve ser semelhante àquele dado ao processo vermelho. Nesse caso, cartas de controle são muito úteis para manter o processo sob controle e evitar a produção de itens fora das especificações.
- Processo Verde: ( $C_p > 1,33$ ) a capacidade do processo é adequada à tolerância exigida. É aconselhável coletar amostras, periódicas, para acompanhamento do processo, se sua capacidade estiver entre três quartos e dois terços da tolerância. Se a capacidade do processo é menor do que a metade da tolerância, não é preciso tomar maiores cuidados, a menos que se queira reduzir a tolerância para aumentar a qualidade do produto.

A fórmula do Índice de Capacidade, acima descrita, considera que o processo está sempre centrado na média. Na prática, entretanto, isto nem sempre ocorre e, a utilização daquele cálculo pode conduzir a conclusões erradas. Para considerar a possibilidade do processo não estar centrado na média, Kane (1986) propôs a utilização do Índice de Performance ou Índice de Capacidade Real do Processo  $C_{pk}$ , calculado da seguinte forma:

$$C_{pk} = \min\left(\frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma}, \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma}\right) \quad (\text{eq. 10})$$

Onde  $\bar{X}$  representa a média das observações.

#### 2.4.1 Relações típicas entre $C_p$ e $C_{pk}$

Quando  $C_p$  é alto ( $\geq 1,33$ ) e  $C_{pk}$  é baixo ( $< 1,0$ ) tem-se o caso típico em que a dispersão é adequada, porém a média está deslocada. Para esses, as ações geralmente indicadas, são operacionais, resumindo-se muitas vezes na regulagem de máquina para centralização do processo. Portanto, se um processo estiver produzindo peças cujos resultados, das medições, estejam fora das especificações, mas sua dispersão for relativamente pequena, pode ser considerado potencialmente capaz, isto é, o  $C_p$  será elevado, mas em contrapartida poderá apresentar  $C_{pk}$  baixo. A figura 2 apresenta uma interpretação gráfica para os Índices de Capacidade e de Performance.

Uma outra situação é quando o valor de  $C_p$  é baixo, nesse caso, a dispersão do processo não é satisfatória e, pode ser também que a sua média esteja deslocada. Ações, nesse caso, são

muitas vezes gerenciais e mais complexas, pois, as causas da elevada dispersão podem, muitas vezes, ser de difícil redução, tanto financeira quanto tecnicamente.

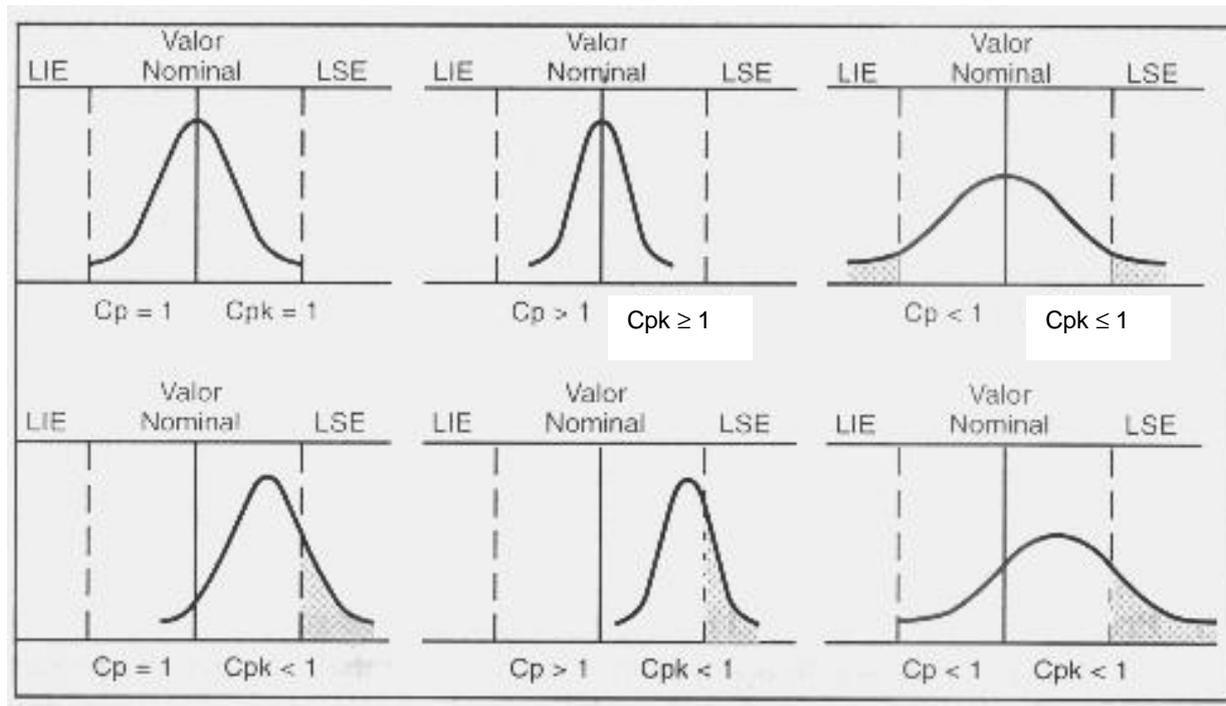


Figura 2 – Interpretação dos Índices de Capacidade e de Performance

#### 2.4.2 Relação com o percentual de defeituosos produzidos

Uma grande vantagem em se utilizar o método de cálculo para  $C_p$  e  $C_{pk}$ , é a possibilidade de relacionar estes índices com a taxa de defeituosos produzida. Se um processo for representado pela distribuição normal, sua média coincidir com o valor nominal especificado para o produto e o índice  $C_p$  for igual a 1, então se pode dizer que: este processo produz no máximo 0,27% de peças defeituosas, pois para esta distribuição, 99,73% dos dados estão dentro dos limites que cobrem a dispersão de tamanho  $6\sigma$ .

#### 2.5 ANÁLISE DE CAPACIDADE DO PROCESSO E DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

Conforme Ribeiro & Caten (2001), uma vez definido o sistema de medição é necessário avaliar a sua capacidade. Sempre que houver suspeita a respeito da capacidade de um sistema de medição, este deve ser analisado através de estudos de Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R).

Um sistema de medição não é composto apenas pelo instrumento de medição, são também componentes desse sistema: o operador do instrumento, o ambiente no qual o instrumento está sendo utilizado e as peças a serem medidas.

##### ESTUDOS DE REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE (R&R)

- Repetitividade (Variação do Equipamento)

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad \text{onde } k \text{ é o nº de operadores.} \quad (\text{eq. 11})$$

$$\sigma_e = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (\text{eq. 12})$$

$$VE = 5,15 \cdot \sigma_e \quad (\text{eq. 13})$$

$$VE\% = \frac{VE}{VT} \cdot 100 \quad (\text{eq. 14})$$

- Reprodutibilidade (Variação do Operador)

$$R_o = \bar{X}_{\text{máx}} - \bar{X}_{\text{mín}}, \quad \text{entre os operadores} \quad (\text{eq. 15})$$

$$VO = \sqrt{\left(5,15 \cdot \frac{R_o}{d_2}\right)^2 - \frac{(5,15 \cdot T_{\text{op}})^2}{n \cdot r}} \quad \Phi 5 \quad 15,359 \quad T_{\text{op}} \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 268,32 \quad 569,01 \quad (\text{eq. 16})$$

$$\sigma_o = \frac{VO}{5,15} \quad (\text{eq. 17})$$

$$VO\% = \frac{VO}{VT} \cdot 100 \quad (\text{eq. 18})$$

- Repetitividade e Reprodutibilidade

$$\sigma_m = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_o^2} \quad (\text{eq. 19})$$

$$R \ \& \ R = 5,15 \cdot \sigma_m \quad \text{ou} \quad R \ \& \ R = \sqrt{VE^2 + VO^2} \quad (\text{eq. 20})$$

$$R \ \& \ R\% = \frac{R \ \& \ R}{VT} \cdot 100 \quad (\text{eq. 21})$$

- Variação Peça a Peça

$$R_p = \bar{X}_{\text{máx}} - \bar{X}_{\text{mín}}, \quad \text{entre peças} \quad (\text{eq. 22})$$

$$VP = 5,15 \cdot \sigma_p \quad (\text{eq. 23})$$

$$\sigma_p = \frac{R_p}{d_2} \quad (\text{eq. 24})$$

$$VP\% = \frac{VP}{VT} \cdot 100 \quad (\text{eq. 25})$$

- Variação Total

$$VT = \sqrt{R \ \& \ R^2 + VP^2} \quad (\text{eq. 26})$$

onde:

R = amplitude

$\sigma_e$  = desvio-padrão do dispositivo de medição

$d_2$  = deve ser obtido da Tabela 3 (sendo que para repetitividade,  $g > 15$  e para reprodutibilidade,  $g = 1$ )

VE = repetitividade ou variação no equipamento

VT = variabilidade total do processo

$R_o$  = amplitude entre médias

VO = reprodutibilidade ou variação do operador

$\sigma_o$  = desvio-padrão dos operadores

$\sigma_m$  = desvio-padrão do sistema de medição

$R_p$  = amplitude entre peças

$\sigma_p$  = desvio-padrão das peças

VP = variação total da peça

n = número de peças

r = número de ciclos de medição

$\begin{matrix} m \\ g \end{matrix}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
1	1,41	1,91	2,24	2,48	2,67	2,83	2,96	3,08	3,18	3,55
5	1,19	1,74	2,10	2,36	2,56	2,73	2,87	2,99	3,10	3,49
10	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09	3,48
15	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54	2,71	2,85	2,98	3,08	3,48
30	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078	3,472

Tabela 3 – Valores de  $d_2$

Na Tabela 4, Ribeiro & Caten (2001) classificam os dados encontrados acima.

	NC < 5	NC > 5
R&R > 20%	Sistema de medição inaceitável, não discrimina entre as peças, não é confiável na classificação de peças dentro/fora das especificações.	
R&R < 20%		Sistema de medição muito bom, eficiente na classificação de peças dentro/fora das especificações, capaz de identificar várias categorias, contribuindo para a melhoria contínua.

Tabela 4 – Classificação de Sistemas de Medição

### 3. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Rolamentos limitam ao máximo as perdas de energia em consequência do atrito. São geralmente constituídos de dois anéis concêntricos, entre os quais são colocados elementos rolantes como esferas, roletes e agulhas.

A escolha do Rolamento RL-27079, da Polia Tensora do automóvel Gol, MI 1.0 16 válvulas Volkswagen, fabricado pela RIKES Ind. e Com. de Peças para Máquinas Ltda., baseou-se na análise dos rolamentos devolvidos, por não atenderem às exigências do cliente. Em anexo, as vendas deste Rolamento durante o período de janeiro de 2003 a agosto de 2004, juntamente com o número de peças devolvidas do RL-27079 em comparação a outros Rolamentos também fabricados pela RIKES. A figura 3 mostra o Rolamento RL-27079 RIKES.

Peças que compõem o Rolamento em estudo:

- MOLA – Procedência: terceiros
- ROLAMENTO – Procedência: terceiros
- ALUMÍNIO:INJEÇÃO–Procedência:terceiros  
MATERIA-PRIMA – Procedência: RIKES
- NYLON: INJEÇÃO – Procedência: Terceiros  
MATERIA-PRIMA – Procedência: RIKES
- EIXO GUIA – Procedência: RIKES
- EIXO EXCÊNTRICO – Procedência: RIKES
- CHAPA ESTAMPADA SUPERIOR–Procedência: RIKES
- CHAPA ESTAMPADA INFERIOR – Procedência: RIKES



Figura 3 – Rolamento RL-27079

As figuras 3.1(a) e 3.1(b) mostram a localização do Rolamento da Polia Tensora no motor.

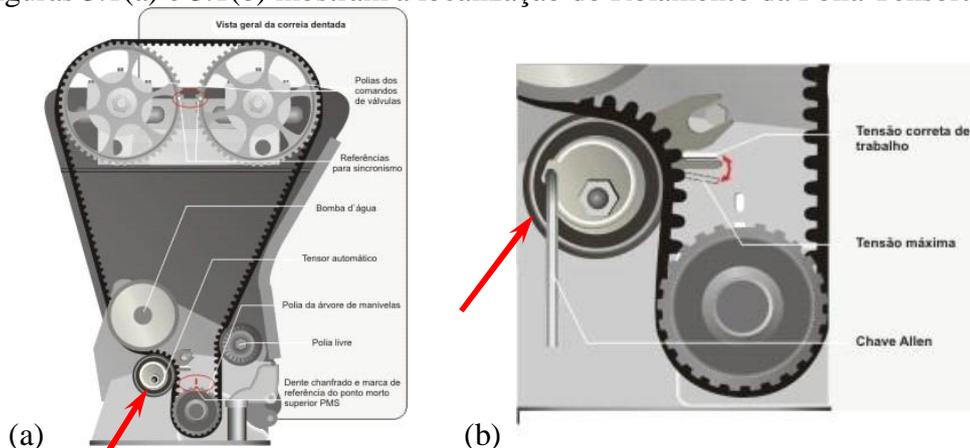


Figura 3.1 – (a) Localização do tensor RL-27079;  
(b) Localização detalhada do tensor RL-27079

A figura 3.2 mostra o eixo e a chapa que serão montados com interferência. Observou-se que o anel da chapa(ver figura 3.2), criado durante a estampagem, não possui a mesma tolerância ao longo de sua altura. Após inúmeros retornos, para a análise técnica, dos rolamentos que apresentaram defeitos, verificou-se que a chapa presa no eixo, que deveria ser com interferência durante a montagem, estava soltando e girando em relação ao eixo, causando a perda na tensão da polia. Este problema tem causado a falta de rigidez entre eixo e chapa.



Figura 3.2 – Chapa e Eixo

Após avaliar diversos produtos, a origem da falha foi identificada como se originando da matriz de estampagem, onde o cilindro, que “repuxa” o furo, está cônico. Esta conicidade, mostrada na figura 3.3(b), pode ter função de facilitar a extração, porém ela não se faz necessária caso se utilize um extrator. As figuras 3.3(a) e 3.3(b) mostram o cilindro e o detalhe de suas dimensões (conicidade).

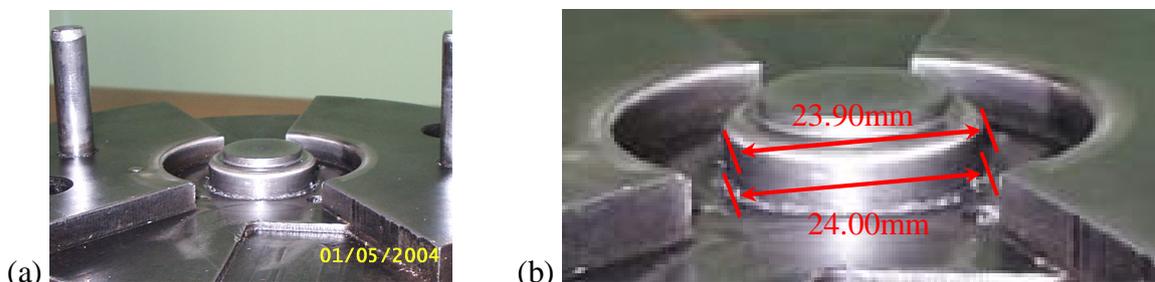


Figura 3.3 – (a)Cilindro; (b)Dimensões do cilindro(conicidade)

Um exemplo de componente apresentando esta falha, é mostrado nas figuras 3.4(a) e 3.4(b), onde é visto o desalocamento da mola de sua posição normal.

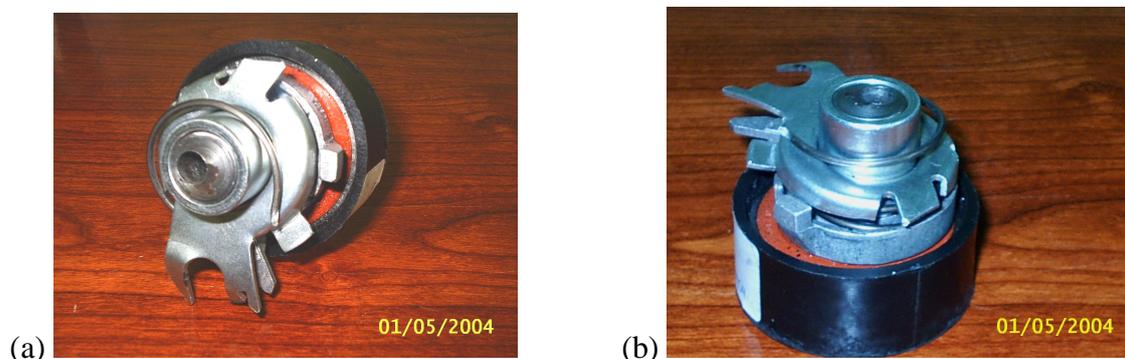


Figura 3.4 – (a) e (b) - Rolamento RL 27079, um defeito na chapa tirou a mola de sua posição.

Citam-se algumas alterações para solucionar o problema, primeiramente aumentar-se-ia a parede que faz contato com o eixo, porém, esta solução, modificaria a geometria final do componente e não é recomendada, pois seriam necessários muitos testes que elevariam os custos.

A alteração mais sutil e óbvia seria eliminar a conicidade e usar um extrator para realizar a desmontagem do componente. Essa solução já aumentaria a área de contato entre a chapa e o eixo, aumentando a rigidez do conjunto.

Uma alternativa seria aumentar a interferência entre os componentes, que atualmente, é de três décimos de milímetro garantindo a fixação entre as partes.

A alteração escolhida foi aumentar a interferência entre os componentes, nesse momento questionou-se o controle das dimensões dos eixos durante todo o processo, desde a produção até a montagem do Rolamento.

Com a necessidade de diminuir o número de peças defeituosas, iniciou-se a implantação do CEP.

A empresa forneceu uma amostra de 60 Rolamentos RL-27079 para a realização do Estudo de Caso.

Para o problema, anteriormente definido, o CEP foi realizado apenas no Eixo Guia, nestas 60 peças foram feitas tomadas de medida do Diâmetro Externo Maior. As medições foram realizadas com Paquímetro Digital, também analisado no decorrer deste trabalho. A figura 3.5 mostra as dimensões do Eixo Guia.

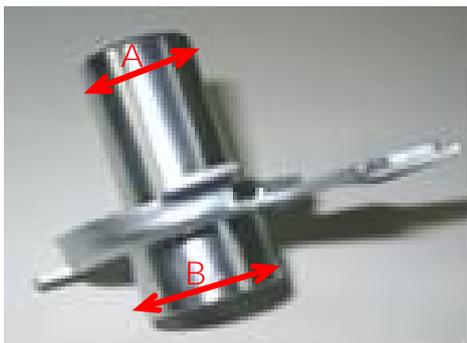


Figura 3.5 – Indicação dos Diâmetros:  
A - Externo Menor e B – Externo Maior.

### 3.1 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

Realizou-se uma análise de estabilidade, onde uma peça padrão é medida ao longo de um curto período de tempo, e os resultados são plotados em uma carta de controle. Como se trata da mesma peça, a leitura deveria ser sempre a mesma, mas isso poderá não acontecer, devido à presença de desgaste localizado e possível desregulagem do equipamento. Se houver problemas no sistema de medição (por exemplo, um instrumento que se afrouxa, ou que perde a calibragem, ou um operador sem treinamento) isso irá aparecer como um ponto fora dos limites de controle, e estar fora dos limites de controle, na carta das médias, revela falta de estabilidade no sistema de medição. A figura 3.6 mostra as medições realizadas no bloco-padrão e a carta de controle feita com as medições.

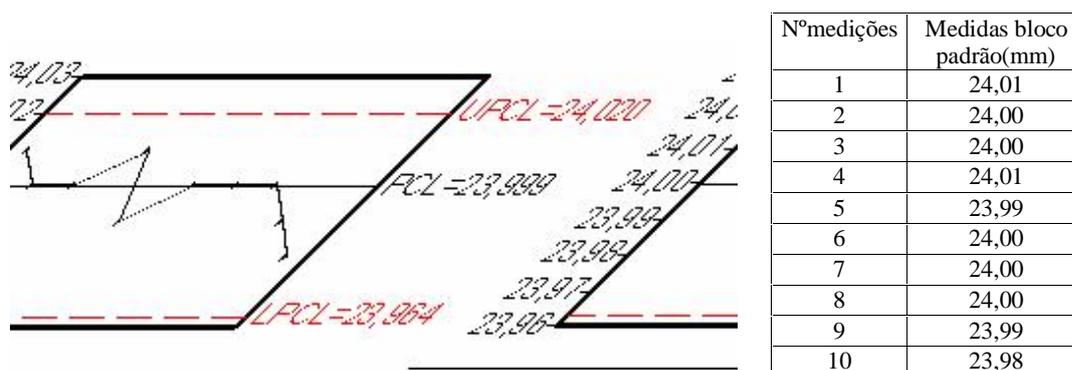


Figura 3.6 – Carta de Controle das Medições do Bloco-Padrão

Confirmou-se que os pontos, da Carta de Controle da figura 3.6, estão todos dentro dos limites de controle e não há problema com o Paquímetro Digital utilizado.

## 4. RESULTADOS E ANÁLISES

### 4.1 LEITURAS

Os valores medidos do Diâmetro Externo Maior dos Eixos são mostrados na Tabela 5. Utilizando-se o software ProCEP, que possui rotinas utilizadas no Controle Estatístico de Processo, foram colocados os valores medidos, obtendo-se a carta de controle mostrada na Figura 4. Comparando-se os resultados deste estudo com os problemas detectados anteriormente, nota-se a indicação da existência de causas especiais que precisam ser identificadas e eliminadas.

Nº Amostra	Diâmetro Externo Maior (mm)						
1	24,11	16	24,1	31	24,09	46	24,08
2	24,11	17	24,09	32	24,12	47	24,07
3	24,09	18	24,08	33	24,1	48	24,07
4	24,09	19	24,11	34	24,07	49	24,09
5	24,16	20	24,1	35	24,08	50	24,07
6	24,11	21	24,09	36	24,09	51	24,12
7	24,07	22	24,1	37	24,06	52	24,15
8	24,08	23	24,08	38	24,06	53	24,12
9	24,1	24	24,1	39	24,06	54	24,1
10	24,09	25	24,12	40	24,06	55	24,11
11	24,09	26	24,1	41	24,07	56	24,09
12	24,1	27	24,08	42	24,07	57	24,08
13	24,11	28	24,11	43	24,09	58	24,12
14	24,1	29	24,1	44	24,09	59	24,13
15	24,11	30	24,09	45	24,1	60	24,11

Tabela 5 – Tabela de Controle do Diâmetro Externo Maior do Eixo Guia

### 4.2 GRÁFICOS

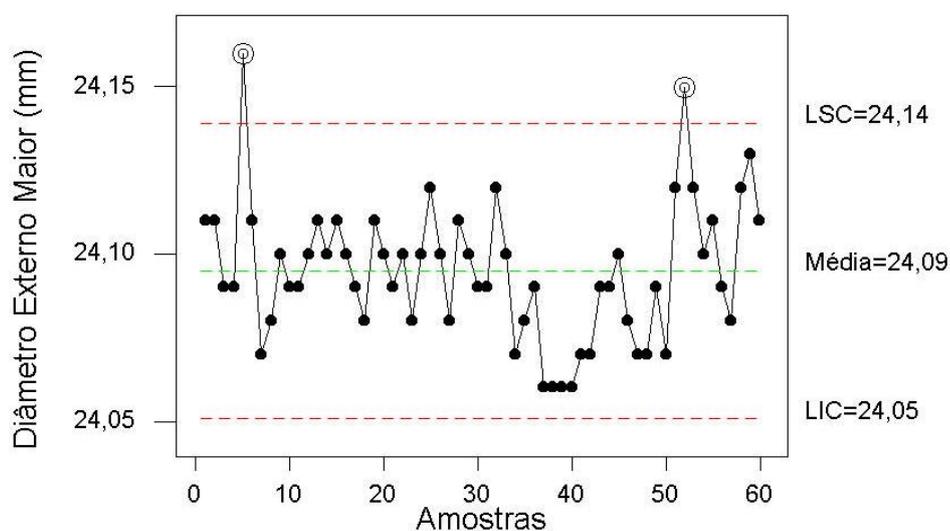


Figura 4 – Carta de Controle do Diâmetro Externo Maior do Eixo Guia do RL-27079

Com o auxílio do mesmo aplicativo citado anteriormente, obteve-se o histograma da Figura 4.1 com a indicação de uma distribuição que não segue o modelo normal. Sugere-se, nesse caso, que em futuros trabalhos seja também analisada a Distribuição de Weibull.

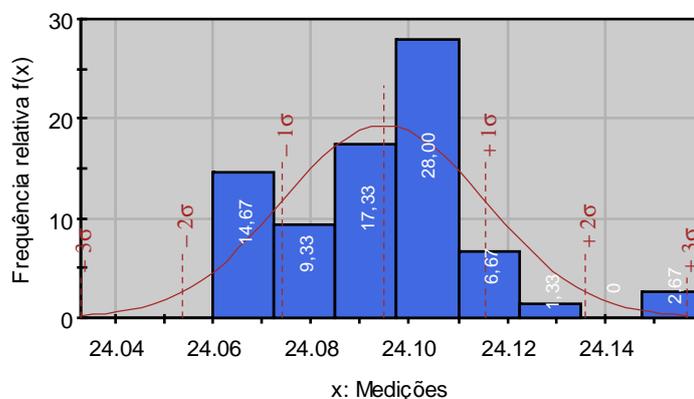


Figura 4.1 – Histograma do Diâmetro Externo Maior do Eixo Guia do RL-27079

Ainda utilizando o ProCEP, fez-se também o estudo de Capacidade do Processo na Figura 4.2. O estudo foi feito apesar da falta de estabilidade do processo e da falta de aderência dos dados à curva normal, apenas para se ter uma idéia do potencial do processo. O percentual de defeituosos estimado (considerando distribuição normal) foi de 55,4%.

CAPACIDADE (CAPABILIDADE) DO PROCESSO	
Intervalo de Análise: amostra 1 até 60 (14/09/2004 13:31 até 15/09/2004 15:54)	
-Especificação Inferior = 24,08	
-Alvo = 24,08	
-Especificação Superior = 24,10	
-Média = 24,0948	
-Desvio padrão = 0,0162	
Média deslocada para cima do alvo.	
CP = 0,2058 → Processo potencialmente não capaz.	
Cpk superior = 0,107	
Cpk inferior = 0,3045 Processo efetivamente não capaz.	
% acima das especificações = 37,4113	
% abaixo das especificações = 18,0466	
% fora das especificações = 55,4579	
% dentro das especificações = 44,5421	

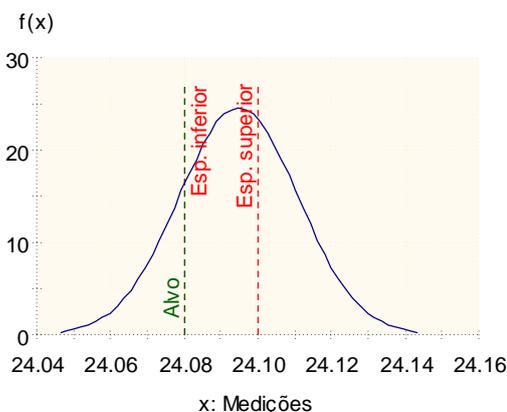


Figura 4.2 – Estudo da Capacidade do Processo

### 4.3 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

No período que compreendeu este estudo, o processo não se mostrou estável, pois, apresentou pontos fora dos limites de controle caracterizando causas especiais, como mostrou a figura 3.7 com a carta de controle para a média.

Após os estudos realizados, não foram desenvolvidas ações corretivas para as causas especiais, devido ao período curto de realização na tomada dos problemas, mas na continuidade do CEP que permanecerá em uso na empresa, estas ações serão efetivadas.

#### 4.3.1 CAUSAS ESPECIAIS

Avaliando-se a carta de controle para média (Figura 4) apresentada no item 4.2, observou-se a presença de causas especiais por pontos fora dos limites de controle (amostras 5 e 52).

Serão, posteriormente, tomadas ações corretivas sobre as causas especiais, inicialmente, foram identificados alguns dos possíveis motivos causadores como: erro no registro dos dados, erro de cálculo, erro de medição, ação incorreta realizada pelo operador ou defeito no equipamento (torno C.N.C, retífica).

#### 4.4 ANÁLISE DE CAPACIDADE DO PROCESSO E DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

O instrumento de medição, fornecido pela empresa, responsável pelo levantamento de dados para o monitoramento do CEP é um Paquímetro.

Visando avaliar o sistema de medição, o Paquímetro foi submetido a uma análise de Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R).

Para a realização da análise foram utilizados 5 Eixos Guia. Cada Eixo foi medido aleatoriamente quatro vezes por cada um dos dois operadores envolvidos na análise.

A tabela 5 apresenta os dados obtidos na análise de R&R do Paquímetro.

	Operador 1						Operador 2							
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Xbar	R	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Xbar	R		
Eixo 1	24,08	24,12	24,11	24,09	24,1	0,04	24,09	24,09	24,11	24,07	24,09	0,04		
Eixo 2	24,07	24,15	24,11	24,08	24,1	0,08	24,12	24,06	24,07	24,07	24,08	0,06		
Eixo 3	24,07	24,12	24,09	24,12	24,1	0,05	24,1	24,06	24,08	24,09	24,08	0,04		
Eixo 4	24,09	24,1	24,09	24,13	24,1	0,04	24,07	24,06	24,1	24,09	24,08	0,04		
Eixo 5	24,07	24,11	24,16	24,11	24,11	0,09	24,08	24,06	24,09	24,1	24,08	0,04		
	média					24,1	0,06						24,08	0,044

Tabela 5 – Dados obtidos na análise R&R.

A amplitude entre as médias ( $R_o$ ) é igual a 0,021, a amplitude média ( $R_{bar}$ ) é igual a 0,052 e a amplitude entre as médias das peças ( $R_p$ ) é igual a 0,011. Efetuando os cálculos, de acordo com as equações 11 à 26, obtém-se os seguintes resultados:

- O desvio-padrão ( $\sigma_e$ ) do dispositivo de medição é igual a 0,025 e a repetitividade do equipamento (VE) é de 0,1294.
- O desvio-padrão estimado para a reprodutibilidade ( $\sigma_o$ ) é igual a 0,01. A reprodutibilidade estimada para o equipamento (VO) é 0,043.
- A variabilidade do sistema de medição (R&R) é de 0,136.
- A variabilidade entre peças (VP) é de 0,03 e a variabilidade total do processo (VT) é 0,1393, e o desvio-padrão ( $\sigma_t$ ) é 0,027.
- Avaliando o sistema de medição em termos percentuais, R&R = 97,63%.

Para aceitação do Sistema de Medição, segundo Ribeiro & Caten (2001), é usual utilizar os critérios:

R&R% < 10% - Sistema de Medição ACEITO

10% < R&R < 30% - Sistema de Medição PODE SER ACEITO

R&R% > 30% - Sistema de Medição REJEITADO

- Verifica-se que R&R é maior que 30% , logo o sistema de medição não é adequado para o monitoramento do CEP, não classifica se as peças estão ou não dentro das especificações.
- O número de níveis distintos (NC) é igual a 0,28, logo o sistema de medição não tem utilidade para o controle do processo pois NC menor que 2. Para que o sistema de medição seja aceitável no controle do processo, NC deve ser maior que 5.

Com esse estudo pode-se concluir que a não aceitação do sistema de medição está relacionada à falta de qualidade dos eixos usados na análise e não no Paquímetro utilizado.

Visando obter uma primeira idéia do potencial do processo, foi feito um estudo de capacidade, apesar da existência de causas especiais. Para avaliar a capacidade do processo, é necessário conhecer a distribuição de probabilidade dos valores individuais da variável em estudo (Diâmetro Externo Maior da Bucha Guia). O histograma apresentado na figura 4.1 mostra que a distribuição não segue modelo normal, logo os valores de capacidade apresentados são aproximados.

Conforme pode ser observado na figura 4.2, o processo é potencialmente e efetivamente não capaz, uma vez que os limites naturais de variação apresentam maior amplitude que os limites de especificação. A capacidade do processo está associada às causas comuns de variabilidade, desta forma o estudo de capacidade se inicia após a eliminação das causas especiais. Ao constatar-se a falta de capacidade do processo fica clara a necessidade de implementação de estudos de melhorias da qualidade que serão efetivadas na continuidade do CEP que permanecerá em uso na empresa. Uma dessas ações será a Definição das Responsabilidades.

Nesta fase, de acordo com as funções desempenhadas, serão definidos os responsáveis por todas as etapas que são demandadas para o funcionamento do CEP.

Os estudos iniciais de treinamento, cálculo dos limites de controle, estudos de estabilidade e capacidade estarão sob responsabilidade do departamento técnico, coordenado pelo seu supervisor. O departamento técnico, também coordenará, a equipe de apoio ao CEP que será chamada toda vez que o pessoal da produção não eliminar as possíveis causas especiais. A coleta de dados e registro nas cartas será de responsabilidade do operador, sendo o mesmo acompanhado permanentemente pelo encarregado da linha de processo. O operador será responsável pela identificação de problemas e pela respectiva ação corretiva.

O facilitador da implantação do CEP será o Supervisor de Produção, que irá atuar juntamente com o encarregado e o operador, no caso do processo sair de controle e na tomada de ações preventivas, para evitar repetição de problemas.

#### 4.4.1 CAUSAS COMUNS

Após o desenvolvimento deste trabalho, questionou-se a continuação das ações para correção das causas comuns, avaliando-se mais detalhadamente os custos envolvidos que são bastante elevados. Optou-se pelo cancelamento das ações corretivas das causas comuns.

#### 4.4.2 JUSTIFICATIVA DA NÃO CENTRALIZAÇÃO DO PROCESSO

Constatado que o processo não é capaz, ações, no sentido de centralização do mesmo, são cogitadas. Neste item analisa-se a viabilidade do procedimento. Considerando os valores

$C_p = 0,2058$  e  $C_{pk} = 0,107$ , ambos menores do que 1 constata-se que é difícil atuar sobre o processo, portanto, a sua centralização é normalmente onerosa e de difícil obtenção.

## 5. CONCLUSÕES

Constatou-se que o processo não é capaz de atender às especificações das características de qualidade analisadas e identificou-se que o sistema de medição atende às necessidades, reforçando-se que há uma grande variação nas dimensões do eixo do Rolamento estudado.

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

Como prosseguimento do trabalho e das constatações feitas, sugere-se: definição do projeto, planejamento da implantação do CEP, treinamento, implantação efetiva, acompanhamento e consolidação.

A implantação do CEP deve auxiliar na busca de satisfação do cliente através da otimização de seus processos, garantia de qualidade de seus processos produtivos e, com isso, qualidade dos produtos manufaturados.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**GRAÇA JR., J.C.** O CEP acaba com as Variações?. *Revista Controle da Qualidade*. São Paulo: Editora Bannas, 1996.

**HRADESKY, J.L.** Productivity & Quality Improvement – A Practical Guide to Implementing Statistical Process Control. *New York: McGraw-Hill*, 1998.

**KANE, V.E.** Process Capability Indices. *Journal of Quality Technology*, 18, 41-52, 1986.

**MONTGOMERY, D.C.** Introduction to Statistical Quality Control. *New York: Second Edition, John Wiley & Sons*, 1991.

**RIBEIRO, J. L., TEN CATEN, C.** Série Monográfica Qualidade: Controle Estatístico de Processo. *Porto Alegre: FEENG*, 2001.

**SIQUEIRA, L.G.P.** Controle Estatístico de Processo. *São Paulo: Pioneira*, 1997.

**WERKEMA, M.C.C.** Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos. *Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni*, 1995.

## 7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

**BAPTISTA, N.** Introdução ao Estudo do Controle Estatístico de Processo. **Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996.**

**BRASSARD, M.** Qualidade – Ferramentas para uma Melhoria Contínua: The Memory Jogger. **Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 1985.**

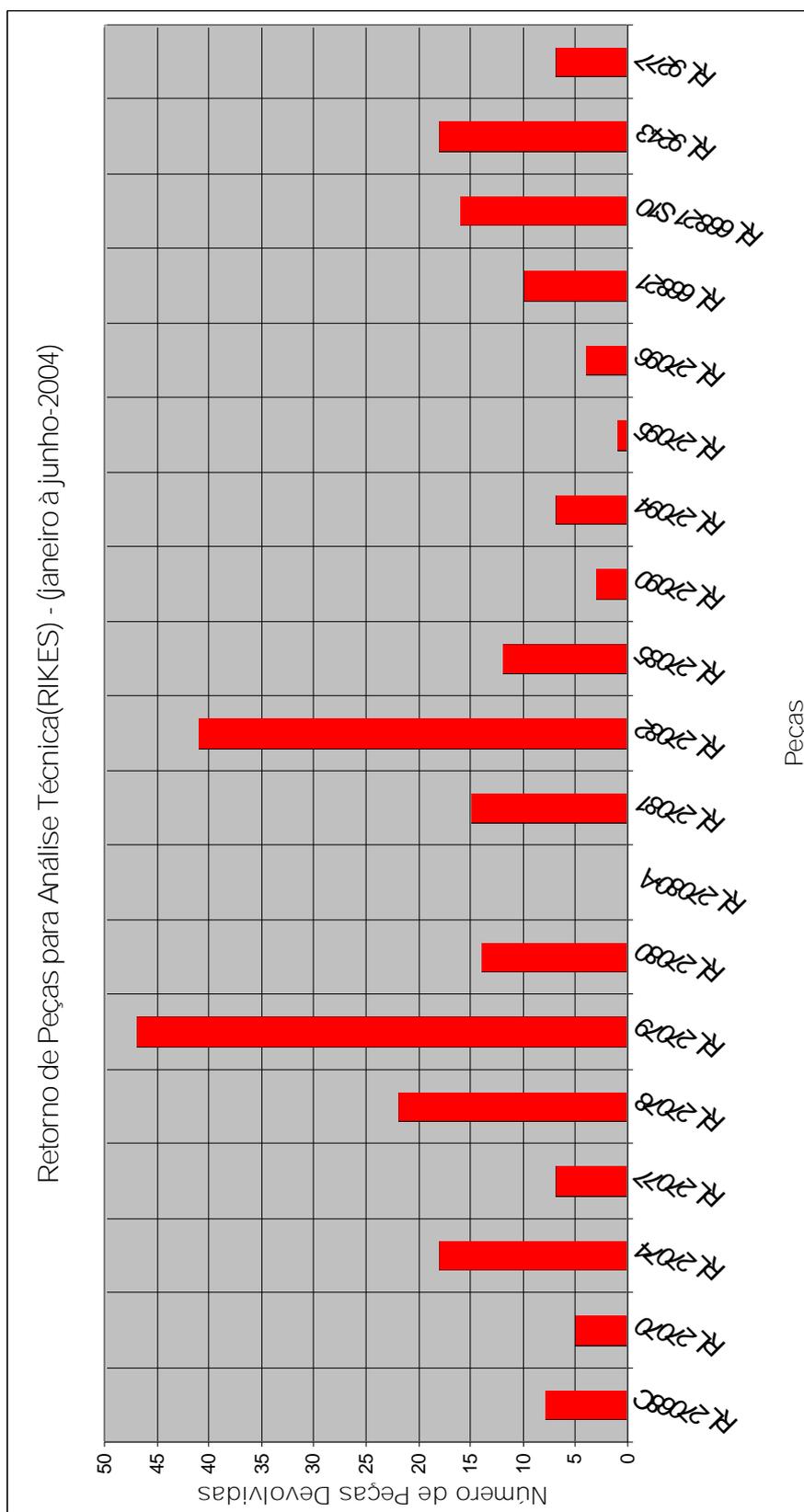
**GRANT, E. L. & LEAVENWORTH, R.S.** Statistical Quality Control. 6. ed. New York: McGraw-Hill International Editions, 1998.

Manual de Referência QS 9000, CEP, Fundamentos do Controle Estatístico de Processo, Referência QS 9000; Chrysler, GM, Ford.

**OAKLAND, J.S.** Statistical Process Control. **Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999.**

## ANEXOS

ANEXO 1 – Gráfico de Retorno de Peças para Análise Técnica (RIKES)



ANEXO 2 – Gráfico de Vendas do Rolamento RL-27079 (RIKES)

